

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

**Юго-Западного
государственного
университета**

**Том 22
№ 5 (80)
2018**

Курск



2018. Т. 22, № 5 (80)

Научный рецензируемый журнал

Основан в 1997 г.

Выходит один раз в два месяца

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-42691 от 16.11.10).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК Минобрнауки России

01.12.2015 г. по группам научных специальностей:

05.02.00 – машиностроение и машиноведение

05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление

05.23.00 – строительство и архитектура

Редакционный совет

С. Г. Емельянов (председатель, главный редактор), д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;

Л. М. Червяков (зам. председателя), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ;

Т. Бертрам, д-р техн. наук, профессор (Германия);

К. П. Грабовый, д-р экон. наук, профессор;

С. Ю. Гриднев, д-р техн. наук, доцент;

И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор;

А. Г. Ивахненко, д-р техн. наук, профессор;

В. С. Ежов, д-р техн. наук, профессор;

В. И. Колмыков, д-техн. наук, профессор;

Вл. И. Колчунов, член РААСН, д-р техн. наук, профессор;

Н. А. Корневский, д-р техн. наук, профессор;

Р. А. Латыпов, д-р техн. наук, профессор;

О. Г. Локтионова, д-р техн. наук, профессор;

Р. Шах, д-р техн. наук, профессор (Германия)

С.Ф. Яцун, д-р техн. наук, профессор

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ 6

Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Сысоев А.А., Осьминина А.С.
Рентгеноструктурный анализ аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков 6

Елисеев С.В., Миронов А.С., Выонг К.Ч.
Особенности формирования контактных взаимодействий в составном твердом теле при вынужденных колебаниях 14

Горленко А.О., Шевцов М.Ю., Агеева Е.В.
Формирование в поверхности трения деталей машин градиентных износостойких структур с помощью комбинированной электромеханической обработки 24

Агеева Е.В., Пыхтин А. И., Королев М.С.
Внедрение датчиков пассажиропотока для осуществления пассажирских перевозок автомобильным транспортом в г. Курске 36

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА 47

Смоляго Г.А., Фролов Н.В.
Экспериментальные исследования конструкций сборных железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания 47

Ломова Л.А., Косинова Н.А.
Оценка состояния земель города Суджа в разрезе специфики ландшафта 58

Морозов В. А., Морозов А. В., Морозова Е. Н.
Исследование реологических характеристик осадков сточных вод 66

Никулина М.Ф., Калужских А.П., Шлеенко А.В.
Решение проблем в строительной отрасли России с учетом опыта стран зарубежья 73

Редакционная коллегия:

С. Г. Емельянов (главный редактор),
д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;

Е. В. Агеев, д-р техн. наук, профессор;
Ю. В. Алексеев, д-р архитектуры, профессор;
М. В. Бобьрь, д-р техн. наук, доцент;
В. В. Бредихин, советник РААСН, д-р экон.
наук, доцент;
Т. Бок, д-р техн. наук, профессор (Германия);
С. В. Дегтярев, д-р техн. наук, профессор;
Л. В. Димитров, д-р техн. наук, профессор
(Болгария);
Ж. Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор;
С. Н. Кузнецов, д-р техн. наук, доцент;
Н. С. Кобелев, д-р техн. наук, профессор;
В. И. Колчунов, академик РААСН, д-р техн.
наук, профессор;
В. В. Куц, д-р техн. наук, доцент;
В. Я. Мищенко, д-р техн. наук, профессор;
Х. Г. Надырова, д-р архитектуры, доцент;
Г. Я. Пановко, д-р техн. наук, профессор;
В. А. Плотников, д-р экон. наук, профессор;
А. С. Сизов, д-р техн. наук, профессор;
В. С. Титов, д-р техн. наук, профессор;
А. В. Турков, д-р техн. наук, профессор;
Л. М. Червяков, д-р техн. наук, профессор;
В. И. Щербаков, д-р техн. наук, доцент

Адрес редакции: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 22-25-26
Факс: (4712) 50-48-00. E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен Е.В. Мельник

Подписано в печать 08.10.18. Формат 60x84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 15,8.
Тираж 1000 экз. Заказ 78. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия
Юго-Западного государственного университета»
41219 в объединенном каталоге
«Пресса России»

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ 82

Коломиец Е. А., Николаев В. Н.
Автоматизированная обработка и формирование
геопространственной информации
в социальных системах 82

Машкова А.Л., Савина О.А., Маматов А.В., Новикова Е.В.
Компьютерное моделирование процессов
экономической динамики в отраслевом разрезе 96

Корнаева Е.П., Корнаев А.В., Савин Л.А.
Моделирование неизотермического течения
вязкой жидкости в конфузорных каналах в условиях
многозонной подачи смазочного материала 109

Буркова И.В., Уандыков Б.К., Халин Ю.А.
Применение метода сетевого программирования
в задачах календарного планирования 119

Петросов Д.А., Петросова Н.В., Бажанов А.Г., Бажанова О.И.
Имитационная модель графического мультипроцессора
на основе теории сетей Петри 127

К сведению авторов 136

© Юго-Западный государственный университет, 2018



2018. V. 22, № 5 (80)

Scientific journal

Published once per two months

Founder: Southwest State University

Registered in the Registrar of the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Media (Roskomnadzor) (Certificate of mass media registration № FS77-42691 of November 16, 2010).

Included in the official list of top scientific journals of the Higher Attestation Commission of the RF Ministry of Science and Education of

01.12.2015. Scientific Specialities Groups:

05.02.00 – Mechanical Engineering and Engineering Science

05.13.00 – Informatics, Computer Engineering, and Control

05.23.00 – Construction and Architecture

Editorial Board

S.G. Yemelianov, Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Southwest State University (Chairman);

L.M. Chervyakov, Doctor of Engineering, Professor, (Deputy Editor-in-Chief);

T. Bertram, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

K. P. Grabow, Doctor of Engineering, Professor;
S. Yu. Gridnev, Doctor of Engineering, Associate Professor;

I. V. Zotov, Doctor of Engineering, Professor;
A. G. Ivakhnenko, Doctor of Engineering, Professor;

V. S. Ezhov, Doctor of Engineering, Professor;
V. I. Kolmykov, Doctor of Engineering, Professor;

VI. I. Kolchunov, Doctor of Engineering, Professor;

H. A. Korenevsky, Doctor of Engineering, Professor;

R. A. Latypov, Doctor of Engineering, Professor;

O. G. Loktionova, Doctor of Engineering, Professor;

R. Schah, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

S. F. Yatsun, Doctor of Engineering, Professor

PROCEEDINGS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY

CONTENT

MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE 6

Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Sysoev A. A., Osminina A. S.
X-ray Diffraction Analysis of the Additive Products
of Electrical Discharge Machining of Cobalt Powders 6

Eliseev S. V., Mironov A. S., Vuong Quang Truc
The Peculiarities of the Formation of Contact Interactions
in a Composite Solid under Forced Oscillations 14

Gorlenko O. A., Shevtsov M. Yu., Ageeva E. V.
The Formation of the Friction Surface of Machine Parts
of Wear Resistant Gradient Structures by Means
of Combined Electromechanical Processing 24

Ageeva E. V., Pyhtin A. I., Korolev M. S.
The Introduction of Sensors in Passenger Traffic
for Passenger Road Transport in the City of Kursk 36

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE 47

Smolyago G. A., Frolov N. V.
Experimental Investigations of Reinforced Concrete Beams
of Civil Building External Walls 47

Lomova L. A., Kosinova N. A.
Evaluation of the Condition of Lands of Suja
City Specific Landscape 58

Morozov V. A., Morozov A. V., Morozova E. N.
Research of Rheological Characteristics of Rainfall
of Sewage 66

Nikulina M. F., Kalujskih A. P., Shleenko A. V.
Solving Problems in the Construction Industry in Russia,
Taking into Account the Experience of Foreign Countries 73

Editors

S. G. Yemeljanov, Doctor of Engineering, Professor, Rector of Southwest State University (Editor-in-Chief);

Y. V. Ageyev, Doctor of Engineering, Professor;

Yu. V. Alekseev, Doctor of Architecture, Professor;

M. V. Bobyr, Doctor of Engineering, Professor;

T. Bock, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

V. V. Bredikhin, Doctor of Engineering, Professor;

L. M. Chervyakov, Doctor of Engineering, Professor;

S. V. Degtyaryov, Doctor of Engineering, Professor;

L. V. Dimitrov, Doctor of Engineering, Professor, (Bulgaria);

N. S. Kobelev, Doctor of Engineering, Professor;

S. N. Kuznetsov, Doctor of Engineering, Associate Professor;

V. I. Koltchunov, Doctor of Engineering, Professor;

V. V. Kuts, Doctor of Engineering, Associate Professor;

V. Ya. Mishchenko, Doctor of Engineering, Professor;

H. G. Nadyrova, Doctor of Architecture, Associate Professor;

G. Y. Panovko, Doctor of Engineering, Professor;

V. A. Plotnikov, Doctor of Economics, Professor;

A. S. Sizov, Doctor of Engineering, Professor;

V. S. Titov, Doctor of Engineering, Professor;

A. V. Turkov, Doctor of Engineering, Professor;

Zh. T. Zhusubaliyev, Doctor of Engineering, Professor;

V. I. Shcherbakov, Doctor of Engineering, Associate Professor

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT 82

Kolomiets E. A., Nikolaev V. N.
Automated Processing and the Formation of Geospatial Information in Social Systems 82

Mashkova A.L., Savina O.A., Mamatov A.V., Novikova E.V.
Computer Modeling of Sectoral Economic Dynamics 96

Kornaeva E.P., Kornaev A.V., Savin L.A.
Modelling of the Nonisothermal Current of Viscous Liquid in Konfuzorny Channels in the Conditions of Multizonal Giving Lubricant 109

Burkova I. V., Uandykov B. K., Khalin Yu.A.
The Network Programming Method Application in the Scheduling Tasks 119

Petrosov D.A., Petrosova N.V., Bazhanov A.G., Bazhanova O.I.
Simulation Model of Graphic Multiprocessor Based on the Petri Nets Theory 127

Information for Authors 136

УДК 621.762

Е.В. Агеева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

А.Ю. Алтухов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: alt997@yandex.ru)

А.А. Сысоев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: evoking09@rambler.ru)

А.С. Осьминина, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: osminina-as @yandex.ru)

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ АДДИТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ КОБАЛЬТОХРОМОВЫХ ПОРОШКОВ

Главным преимуществом технологии электроэрозионного диспергирования является применение в качестве исходных материалов отходов, которые значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет получать порошки-сплавы.

Широкое использование метода электроэрозионного диспергирования для переработки металло-отходов в порошки с целью их повторного использования и применения в аддитивных технологиях сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования электроэрозионных порошков и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью работы являлось проведение рентгеноструктурного анализа аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости использовали спирт бутиловый (бутанол-1). Для получения кобальтохромовых порошков использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. Параметры диспергирования: напряжение 100 В, емкость 48 мкФ, частота следования импульсов 120 Гц.

Исследование фазового состава образцов проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV в излучении Cu-K α (длина волны $\lambda = 0.154178$ нм) с использованием щелей Соллера.

По результатам проведенных исследований рентгеноструктурного анализа аддитивных изделий, полученных из порошков, изготовленных электроэрозионным диспергированием кобальтохромовых отходов, экспериментально установлено, что основными фазами в спеченных образцах являются Co, Cr и Co₃C.

Ключевые слова: кобальтохромовый сплав; отходы; электроэрозионное диспергирование; порошок; аддитивное изделие; рентгеноструктурный анализ.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-6-13

Ссылка для цитирования: Рентгеноструктурный анализ аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, А.А. Сысоев, А.С. Осьминина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 6-13.

Введение

Аддитивные технологии (АТ) производства изделий из материалов на основе металлов и сплавов на сегодняшний день одно из самых перспективных и активно развивающихся направлений производства.

Основным требованием к порошкам для аддитивных 3d-технологий является сферическая форма частиц. Такие частицы наиболее компактно укладываются в определенный объем и обеспечивают «текучесть» порошковой композиции в

системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Кроме того, порошок должен содержать минимальное количество растворенного газа. Микроструктура порошка должна быть однородной и мелкодисперсной (с равномерным распределением фазовых составляющих) [1-9].

Главным преимуществом технологии электроэрозионного диспергирования является применение в качестве исходных материалов отходов, которое значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет получать порошки-сплавы [10-29].

Широкое использование метода ЭЭД для переработки металлоотходов в порошки с целью их повторного использования и применения в аддитивных технологиях сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования электроэрозионных порошков и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью работы являлось проведение рентгеноструктурного анализа аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости использовали спирт бутиловый (бутанол-1). Для

получения кобальтохромовых порошков использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. Параметры диспергирования: напряжение 100 В, емкость 48 мкФ, частота следования импульсов 120 Гц.

Исследование фазового состава образцов проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV в излучении Cu-K α (длина волны $\lambda = 0.154178$ нм) с использованием щелей Соллера. Съемку дифракционного спектра для фазового анализа проводят по схеме θ -2 Θ сканирования с фокусировкой по Брегу-Брентано в интервале углов 5...100 град. 2 Θ . Съемку осуществляют в поточечном режиме с шагом сканирования $\Delta(2\theta) = 0,02$ град, скоростью 0,6 град/мин., рабочее напряжение 45 кВ, ток 200 мА. Для уточнения профиля экспериментальных рентгенограмм использовали программный пакет PDXL RIGAKU. Вычитание фона проводили – методом Сонневельда–Виссера, сглаживание экспериментального профиля – методом Савицкого–Голая, разделение компонент $k\alpha_1$ и $k\alpha_2$ – методом Рачингера. Для описания дифракционных максимумов использовали суперпозицию функции Гаусса и функции Лоренца. Аппроксимация каждого из рефлексов на дифрактограммах исследуемых образцов функцией псевдо – Войгта позволила точно определить положение рефлексов с учетом смещения, вызванного перекрытием рефлексов, на половине максимума интенсивности (FWHM) и интенсивность. Фазовый состав покрытий определяли с помощью БД ICDD PDF-2 (2014).

Рентгенограммы исследуемых образцов приведены на рисунке и в таблице.

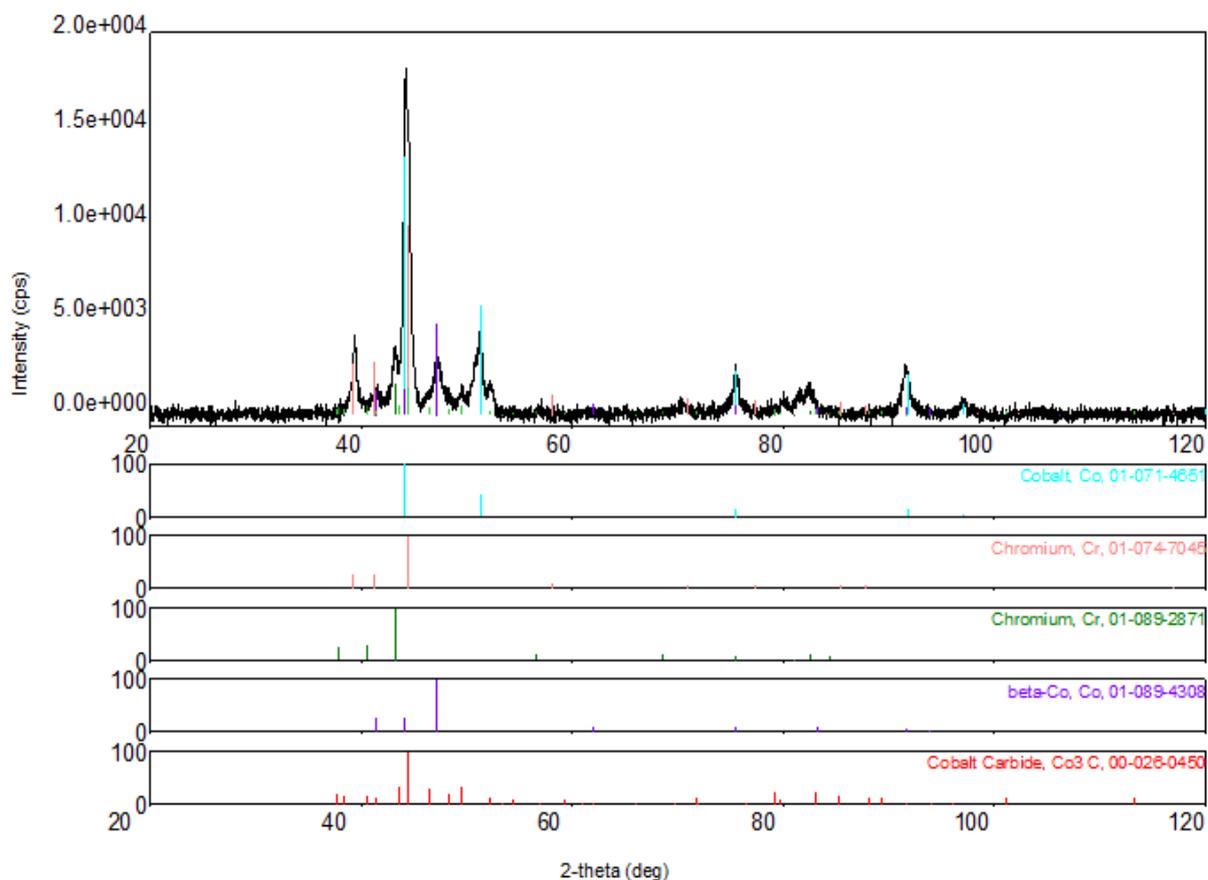


Рис. Дифрактограмма образца

Периоды решеток фаз

Фаза	Cobalt (Co)	beta-Co	Chromium (Cr)	Cobalt Carbide (Co ₃ C)	Chromium (Cr)
Тип решетки	Кубическая кристаллическая решётка	Гексагональная кристаллическая решётка	Гексагональная кристаллическая решётка	Орторомбическая кристаллическая решётка	Гексагональная кристаллическая решётка
Период решетки, Å	a = b = c = 3.558471	a = b = 2.519881	a = b = 2.738459 Å, c = 4.55078 Å	a = b = 4.455931 Å, c = 6.86598 Å	a = b = 2.655079 Å, c = 4.381041 Å

Заключение

По результатам проведенных исследований рентгеноструктурного анализа аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков экспериментально установлено, что основны-

ми фазами в спеченных образцах являются Co, Cr и Co₃C.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда. Номер проекта 17-79-20336.

Список литературы

1. Gu D.D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms // *International Materials Reviews*. 2012. Vol. 57 (3). P. 133-164.
2. Biamino S., Penna A., Ackelid U et al. Electron beam melting of Ti-48Al-2Cr-2Nb alloy: microstructure and mechanical properties investigation // *Intermetallics*. 2011. Vol. 19. P. 776-781.
3. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of Selective Laser and Electron Beam Melted Titanium Aluminides. Conference paper of 22nd International symposium "Solid freeform fabrication proceedings", University of Texas, Austin, 2011. P. 547-556.
4. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V // *Materials & Design*. 2012. Vol. 35. P. 120-125.
5. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and microstructure characterization of selective laser melted FeAl intermetallic parts // *Surface and Coatings Technology*. 2012. Vol. 206. P. 4704-4709.
6. Safdar A., He H.Z., Wei L.Y., Snis A. et al. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti-6Al-4V // *Rapid Prototyping Journal*. 2012. Vol. 18 (5). P.401-408.
7. Wang Z., Guana K., Gaoa M. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting // *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. Vol. 513. P. 518-523.
8. Safdar A., Wei L.Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti-6Al-4V // *Materials Characterization*. 2012. Vol. 65. P. 8-15.
9. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Khardikov S.V., Gulidin S.S., Novikov A.N. Electroerosive Powder Obtained from Alloy VK8 Waste into Butanol // *Journal of nano- and electronic physics*. 2015. Vol. 7. No 4. Part 2. P. 04080(3).
10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pikalov S.V., Vorobiev E.A., Novikov A.N. X-ray Analysis of the Powder of Micro- and Nanometer Fractions, Obtained from Wastes of Alloy T15K6 in Aqueous Medium // *Journal of nano- and electronic physics*. 2015. Vol. 7. No 4. Part 2. P. 04058(2).
11. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Studing Tungsten-containing Electroerosion Powders and Alloys Synthesized from Them // *Journal of nano- and electronic physics*. 2014. Vol. 3. P. 03049-1- 03049-3.
12. Ageeva E.V., Ageev E.V., Horyakova N.M., Malukhov V.S. Production of copper electroerosion nanopowders from wastes in kerosene medium // *Journal of nano- and electronic physics*. 2014. Vol. 3. P. 03011-1 - 03011-3.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Investigation into the properties of electroerosive powders and hard alloy fabricated from them by isostatic pressing and sintering // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2015. Vol. 56. № 1. P. 52-62.
14. Переплетчиков Е.Ф. Применение порошков кобальтовых и никелевых сплавов для плазменной наплавки выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания // *Автоматическая сварка*. 2012. № 7 (711). С. 7-12.
15. Размерные характеристики бронзового электроэрозионного порошка, полученного в воде / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Чаплыгин, А.А. Горохов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 30-35.
16. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов: монография / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева. Курск, 2011. 122 с.

17. Исследование физико-технологических свойств порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, В.Б. Тригуб., В.В. Самойлов, Е.В. Агеева // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 12-2. С. 336-340.

18. Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Пикалов С.В. Исследование микротвердости синтезированной порошковой быстрорежущей стали из электроэрозионных порошков, полученных в водной среде // *Современные материалы, техника и технологии*. 2015. № 1 (1). С. 13-16.

19. Агеева Е.В., Хорьякова Н.М., Агеев Е.В. Исследование распределения микрочастиц по размерам в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием медных отходов // *Вестник машиностроения*. 2014. № 9. С. 63-64.

20. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. М., 2011. 468 с.

21. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Хорьякова Н.М. Состав и свойства медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием: монография. Курск, 2014. 144 с.

22. Агеева Е.В., Агеев Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных систем // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2011. № 3. С. 503-509.

23. Фазовый состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С., Гулидин Е.В. Агеев, А.А. Горохов // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2016. № 1 (18). С. 20-25.

24. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов - перспективный материал для восстановления деталей автотракторной техники / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Е.В. Агеева, Р.В. Бобрышев // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2012. № 1-1 (40). С. 182-189.

25. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных методом электроэрозионного диспергирования / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2010. № 7. С. 2-6.

26. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Метод получения наноструктурных порошков на основе системы WC-Co и устройство для его осуществления // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. № 5. С. 39-42.

27. Рентгеноспектральный микроанализ нихромового порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в среде керосина / Е.В. Агеев, А.А. Горохов, А.Ю. Алтухов, А.В. Щербаков, С.В. Хардинов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 1 (64). С. 26-31.

28. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. 2011. № 1 (46). С. 78-80.

29. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники плазменно-порошковой наплавкой с использова-

нием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов спеченных твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, Б.А. Семенихин,

Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Ю.П. Гнездилова. Курск, 2010. 91 с.

Поступила в редакцию 25.06.18

UDC 621.762

E.V. Ageeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

A.Yu. Altukhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: alt997@yandex.ru)

A.A. Sysoev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: evoking09@rambler.ru)

A.S. Osminina, Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: osminina-as @yandex.ru)

X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS OF THE ADDITIVE PRODUCTS OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF COBALT POWDERS

The main advantage of the technology of electroerosion dispersion is the use of waste as raw materials, which is much cheaper than the clean components used in traditional technologies. In addition, this technology is powder, which allows powder-alloys.

The widespread use of the method of electroerosion dispersion for the processing of metal waste into powders for their reuse and application in additive technologies is constrained by the lack of scientific and technical literature full information on the effect of the initial composition, modes and medium on the properties of powders and technologies of practical application. Therefore, the development of technologies for the reuse of electroerosion powders and evaluation of the effectiveness of their use requires complex theoretical and experimental studies.

The aim of this work was to carry out x-ray diffraction analysis of the additive products of electrical discharge machining of cobalt powders.

For the proposed studies selected waste cobalt alloy brand CHMS "CELLET". Butyl alcohol (butanol-1) was used as a working liquid. To obtain the cobalt powders used for the installation of AED dielectric materials. Dispersion parameters: voltage 100 V, capacity 48 UF, pulse repetition rate 120 Hz.

The phase composition of the samples was studied by x-ray diffraction using Rigaku Ultima IV diffractometer in Cu-K α radiation (wavelength $\lambda = 0.154178$ nm) using Soller slots.

According to the results of studies of x-ray diffraction analysis of additive products obtained from powders made by electroerosion dispersion of cobalt-chromium waste, it was experimentally established that the main phases in sintered samples are Co, Cr and Co₃C.

Key words: cobalt-chrome alloy; waste; electroerosion dispersion; powder; additive product; x-ray structural analysis.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-6-13

For citation: Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Sysoev A.A., Osminina A.S. X-Ray Diffraction Analysis of the Additive Products of Electrical Discharge Machining of Cobalt Powders. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 6-13 (in Russ.).

Reference

1. Gu D.D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes

and mechanisms. *International Materials Reviews*, 2012, vol. 57 (3), pp. 133-164.

2. Biamino S., Penna A., Ackelid U et al. Electron beam melting of Ti-48Al-2Cr-2Nb alloy: microstructure and mechanical

properties investigation. *Intermetallics*, 2011, vol. 19, pp. 776–781.

3. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of Selective Laser and Electron Beam Melted Titanium Aluminides. Conference paper of 22nd International symposium “Solid freeform fabrication proceedings”, University of Texas, Austin, 2011, pp. 547-556.

4. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V. *Materials & Design*, 2012, vol. 35, pp. 120–125.

5. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and microstructure characterization of selective laser melted FeAl intermetallic parts. *Surface and Coatings Technology*, 2012, vol. 206, pp. 4704–4709.

6. Safdar A., He H.Z., Wei L.Y., Snis A. et al. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti–6Al–4V. *Rapid Prototyping Journal*, 2012, vol. 18 (5), pp.401–408.

7. Wang Z., Guana K., Gaoa M. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, vol. 513, pp. 518–523.

8. Safdar A., Wei L.Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti–6Al–4V. *Materials Characterization*, 2012, vol. 65, pp. 8–15.

9. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Khardikov S.V., Gulidin S.S., Novikov A.N. Electroerosive Powder Obtained from Alloy VK8 Waste into Butanol. *Journal of nano- and electronic physics*, 2015, vol. 7, no. 4, part 2, pp. 04080(3).

10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pikalov S.V., Vorobiev E.A., Novikov A.N. X-ray Analysis of the Powder of Micro- and Nanometer Fractions, Obtained from Wastes of Alloy T15K6 in Aqueous Medium. *Journal*

of nano- and electronic physics, 2015, vol. 7, no. 4, part 2, p. 04058(2).

11. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Studing Tungsten-containing Electroerosion Powders and Alloys Synthesized from Them. *Journal of nano- and electronic physics*, 2014, vol. 3, pp. 03049-1– 03049-3.

12. Ageeva E.V., Ageev E.V., Horyakova N.M., Malukhov V.S. Production of copper electroerosion nanopowders from wastes in kerosene medium. *Journal of nano- and electronic physics*, 2014, vol. 3, pp. 03011-1 - 03011-3.

13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Investigation into the properties of electroerosive powders and hard alloy fabricated from them by isostatic pressing and sintering. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2015, vol. 56, no. 1, pp. 52-62.

14. Perepletchikov E.F. Primenenie poroshkov kobaltovykh i nikelovykh splavov dlya plazmennoj naplavki vypusknnykh klapanov dvigatelej vnutrennego sgoraniya. *Avtomaticheskaya svarka*, 2012, no. 7 (711), pp. 7-12.

15. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.Yu., Goroxov A.A. Razmernye kharakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35.

16. Ageev E.V., Latypov R.A., Semenixin B.A., Ageeva E.V. Sostav i svojstva poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdyykh splavov. Kursk, 2011, 122 p.

17. Ageev E.V., Gadalov V.N., Romanenko D.N., Trigub V.B., Samojlov V.V., Ageeva E.V. Issledovanie fiziko-texnologicheskix svojstv poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2011, no. 12-2, pp. 336-340.

18. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Pikalov S.V. Issledovanie mikrotverdosti sintezirovannoj poroshkovej bystrorezhushhej stali iz elektroerozionnyx poroshkov, poluchennyx v vodnoj srede. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*, 2015, no. 1 (1), pp. 13-16.
19. Ageeva E.V., Xoryakova N.M., Ageev E.V. Issledovanie raspredeleniya mikrochastic po razmeram v poroshkax, poluchennyx elektroerozionnym dispergировaniem mednyx otxodov. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 9, pp. 63-64.
20. Gadlov V.N., Salnikov V.G., Ageev E.V., Romanenko D.N. Metallografiya metallov, poroshkovyx materialov i pokrytij, poluchennyx elektroiskrovymi sposobami. Moscow, 2011, 468 p.
21. Ageev E.V., Ageeva E.V., Xoryakova N.M. Sostav i svojstva mednyx poroshkov, poluchennyx elektroerozionnym dispergированием. Kursk, 2014, 144 p.
22. Ageeva E.V., Ageev E.V. Povyszenie kachestva remonta i vosstanovleniya detalej sovremennyx transportnyx sistem. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2011, no. 3, pp. 503-509.
23. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Gulidin S.S., Ageev E.V., Goroxov A.A. Fazovyj sostav chastic poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergированием splava VK8 v butilovom spirte. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*. 2016, no. 1 (18), pp. 20-25.
24. Ageev E.V., Gadlov V.N., Ageeva E.V., Bobryshev R.V. Poroshki, poluchennye elektroerozionnym dispergированием otxodov tverdyyx splavov - perspektivnyj material dlya vosstanovleniya detalej avto-traktornoj tehniki. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189.
25. Vaniyaelev A.B., Ageev E.V., Semenixin B.A. Svojstva poroshkov iz otxodov tverdyyx splavov VK8 i T15K6, poluchennyx metodom elektroerozionnogo dispergiro. *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik*, 2010, no. 7, pp. 2-6.
26. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanostrukturnyx poroshkov na osnove sistemy WC-Co i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*, 2010, no. 5, pp. 39-42.
27. Ageev E.V., Goroxov A.A., Altuxov A.Yu., Shherbakov A.V., Xardikov S.V. Rentgenospektralnyj mikroanaliz nixromovogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergированиya v srede kerosina. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 1 (64), pp. 26-31.
28. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennyx elektroerozionnym dispergированием tverdogo splava. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina*, 2011, no. 1 (46), pp. 78-80.
29. Ageev E.V., Serebrovskij V.I., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Gnezdilova Yu.P. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej avtotraktornoj texniki plazmenno-poroshkovej naplavkoj s ispolzovaniem poroshkov, poluchennyx elektroerozionnym dispergированием otxodov spechennyx tverdyyx splavov. Kursk, 2010, 91 p.

УДК 629.4.015, 621.534, 62.752

С.В. Елисеев, д-р техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС) (Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15) (e-mail: eliseev_s@inbox.ru)

А.С. Миронов, соискатель, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС) (Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15) (e-mail: art.s.mironov@mail.ru)

К.Ч. Выонг, аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС) (Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15) (e-mail: trucvq1990@gmail.com)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СОСТАВНОМ ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Предлагается концепция оценки динамических состояний в механических колебательных системах, создаваемых взаимодействиями сочлененных элементов. Предполагается, что в реальных конструктивных решениях упругие, диссипативные и массоинерционные элементы не всегда соединяются кинематическими парами, обеспечивающими удерживающие или двухсторонние связи. Такие ситуации характерны для многих транспортных и технологических вибрационных машин. Цель статьи заключается в разработке и детализации метода построения математических моделей взаимодействия типовых элементов (или звеньев) механических колебательных систем для определения возникающих в соединениях динамических реакций связей. Методы достижения цели построены на использовании техники и приемов структурного математического моделирования, когда сопоставляется эквивалентная, в динамическом отношении, система автоматического управления. Разработана технология преобразования структурных моделей, позволяющая для характерных контактирующих точек сформировать динамические реакции связей, как произведения динамической жесткости системы в определенной точке на ее динамическое смещение. Используются понятия передаточных функций систем. Показано, что динамические реакции в отдельных точках системы представляют собой дробно-рациональные выражения, значения которых могут изменяться в широких пределах в зависимости от частот внешнего возмущения. Нулевые значения реакций связей определяют режимы, при которых возможен «разрыв» кинематической связи. При наличии или учете постоянных сил, предельное состояние достигается при условиях, учитывающих действие дополнительных силового фактора. Авторами предлагается введение понятия об отношении динамических реакций в различных точках системы, что формирует определенные информационные пространства. Предлагаются методика и приемы оценки динамических состояний в соединениях элементов систем в задачах оценки возможного спектра ожидаемых динамических состояний.

Ключевые слова: *неудерживающие связи; передаточные функции системы; структурные схемы; динамические реакции связей; коэффициент передачи динамических связей.*

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-14-23

Ссылка для цитирования: Елисеев С.В., Миронов А.С., Выонг К.Ч. Особенности формирования контактных взаимодействий в составном твердом теле при вынужденных колебаниях // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 14-23.

Введение

Особенности действия вибраций в соединениях элементов технологических и транспортных машин отличаются большим разнообразием, что нашло отражение во многих задачах динамики технических объектов, в том числе и в задачах вибрационной защиты [1, 2].

Наиболее развитые подходы в оценке динамических свойств основаны на использовании физических моделей технических объектов в виде механических колебательных систем с сосредоточенными параметрами. Теоретический базис в решении задач динамики механических колебательных систем различной природы и его развитие ориентированы на учет специфики и особенностей динамических

состояний упругих механических систем и связаны с разработкой различных направлений в современной теории колебаний [2, 3].

Внимание к механическим колебательным системам как физическим моделям технических объектов, работающих при интенсивном динамическом нагружении, вполне оправдано и позволяет с достаточной достоверностью оценивать динамические возможности создаваемых машин [4]. Переход от механических колебательных систем к математическим моделям может быть реализован на основе различных методов, отражающих, в том числе, особенности электрических и механических цепей, а также и систем автоматического управления [2, 3, 5].

В большинстве случаев, математические модели, создаваемые на основе механических колебательных систем, совершающих малые колебания относительно положения устойчивого равновесия, рассматриваются в классе линейных дифференциальных уравнений, получаемых в результате упрощения объектов. Вместе с тем, контактные взаимодействия, возникающие между элементами, не всегда являются двусторонними или удерживающими, что может приводить к эффектам, нежелательным в работе машин, оборудования и аппаратуры.

Неудерживающие (или односторонние) связи – достаточно известное и распространенное динамическое явление, получившее применение и в практических реализациях вибрационных технологических процессов [5, 6]. Если динамика обычных механических колебательных систем, в которых доминируют двусторонние связи, достаточно изучена, то эффекты, создаваемые при контактировании элементов систем при неудержива-

ющих связях, еще не получили должного уровня детализации представлений, хотя многие особенности динамических взаимодействий нашли отражение в работе [6].

В предлагаемой статье рассматриваются возможности создания метода построения математических моделей линейных систем с неудерживающими связями, основанного на использовании понятий о динамических реакциях связей, возникающих под действием различных внешних возмущений и создающих при определенных сочетаниях параметров системы условия для нарушения контактов.

I. Некоторые общие положения

Рассматривается механическая колебательная система с одной степенью свободы, которая совершает вынужденные вертикальные колебания в системе координат, связанной с неподвижным базисом. Объект в виде массоинерционного элемента (m) состоит из двух частей (m_1 , m_2) общей массой m ; упругими элементами являются линейные пружины с жесткостями k_1 , k_2 . В качестве внешних возмущений рассматривается внешняя гармоническая сила $Q(t)$, приложенная к объекту (m), а также кинематические возмущения $z_1(t)$, $z_2(t)$, создаваемые гармоническими колебаниями опорных поверхностей (I , II – рис. 1).

Особенностью объекта m является то, что он разделен на две части m_1 и m_2 , которые находятся в состоянии контакта по поверхности, перпендикулярной оси вертикального движения. Колебания системы происходят относительно положения статического равновесия; в характерных точках системы тт. (A), (A_1), (A_2), (A_3), в которых возникают статические и динамические реакции связей.

При рассмотрении возникающих колебательных движений используется математическая модель в виде дифференциального уравнения в операторной форме, полученная в соответствии с методикой, приведенной в [2, 3],

$$\bar{y}mp^2 + \bar{y}(k_1 + k_2) = k_1\bar{z}_1 + k_2\bar{z}_2 + \bar{Q}, \quad (1)$$

где $p = j\omega$ – комплексная переменная ($j = \sqrt{-1}$); значок « $\bar{}$ » над переменной означает ее изображение по Лапласу.

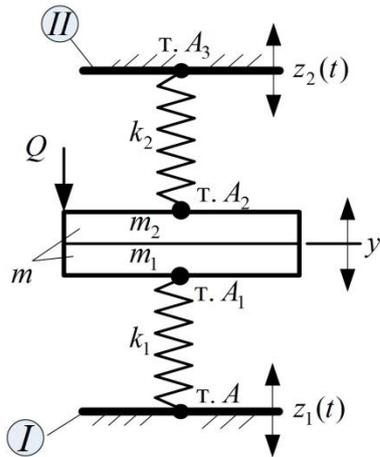


Рис. 1. Принципиальная схема системы при наличии неудерживающей связи в зоне контакта массоинерционных элементов m_1 и m_2

Передаточные функции системы, используя структурные схемы на рис. 2, а, б, можно представить в следующем виде:

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}}{\bar{Q}} = \frac{1}{mp^2 + k_1 + k_2}, \quad (2)$$

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}}{\bar{z}_1} = \frac{k_1}{mp^2 + k_1 + k_2}, \quad (3)$$

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}}{\bar{z}_2} = \frac{k_2}{mp^2 + k_1 + k_2}, \quad (4)$$

что обеспечивает возможности оценки и статических и динамических реакций связей системы.

Структурная схема (или структурная математическая модель) эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления приведена на рис. 2, и состоит из объекта m в виде интегрирующего звена второго рода, охваченного цепями обратных отрицательных связей. На рис. 2, а, б показаны общая (а) и детализированная (б) структурные схемы.

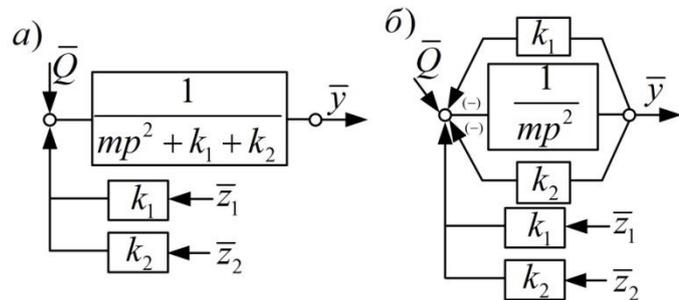


Рис. 2. Структурная схема (структурная математическая модель) исходной системы по рис. 1: а – схема общего вида; б – детализированная схема

II. Оценка динамических свойств

1. Рассматривается случай, когда на объект действует внешняя гармоническая сила $Q(t)$. Статические реакции оцениваются в характерных точках (т.т. $(A) \div (A_3)$) при действии силы тяжести $G = mg$, где $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ (земное ускорение). В силу специфики механической колебательной системы статические реакции обладают свойствами

$$|\bar{R}_A| = |\bar{R}_{A_1}| \quad (5)$$

$$|\bar{R}_{A_2}| = |\bar{R}_{A_3}|. \quad (6)$$

В свою очередь, с учетом передаточной функций (2), полагая, что $\bar{z}_1 = 0$, $\bar{z}_2 = 0$, получим

$$\bar{R}_{\text{Аст}} = \frac{\bar{G} \cdot k_1}{k_1 + k_2} = \frac{mgk_1}{k_1 + k_2}, \quad (7)$$

$$\bar{R}_{\text{А2ст}} = \frac{\bar{G} \cdot k_2}{k_1 + k_2} = \frac{mgk_2}{k_1 + k_2}. \quad (8)$$

Что касается динамических реакций связей в характерных точках, то они определяются соответственно

$$\bar{R}_{\text{Адин}} = \frac{\bar{Q} \cdot k_1}{mp^2 + k_1 + k_2}, \quad (9)$$

$$\bar{R}_{\text{А2дин}} = \frac{\bar{Q} \cdot k_2}{mp^2 + k_1 + k_2}. \quad (10)$$

Из выражений (9), (10) следует, что динамические реакции связей в характерных точках зависят от частоты внешней силы и могут принимать отрицательные и положительные значения. На частоте

$$\omega_{\text{соб}}^2 = \frac{k_1 + k_2}{m}, \quad (11)$$

система может входить в резонансный режим, в котором динамические реакции меняют свой знак и при прохождении резонанса достигают больших значений. Общие или полные реакции в характерных точках систем представляют собой сумму двух компонент. Поскольку динамические реакции могут принимать отрицательные и положительные значения, то, при определенных условиях, можно ожидать, что и полные реакции могут «обнуляться» и принимать отрицательные значения.

2. Для оценки динамического состояния объекта m , состоящего из двух контактирующих частей m_1 и m_2 , введем понятие об отношении полных динамических реакций в характерных точках системы – тт. (А) и (А₂). Обозначим такой

коэффициент как $N(\omega)$, который можно понимать как характеристику динамичности через отношение полных реакций связей:

$$N(\omega) = \frac{\bar{R}_{\text{А2полн}}}{\bar{R}_{\text{А1полн}}}, \quad (12)$$

где числитель и знаменатель (12) могут быть представлены выражениями:

$$\bar{R}_{\text{А2полн}} = \frac{(k_1 + k_2)k_2(mg \pm Q_0) + k_2mgmp^2}{(k_1 + k_2)(mp^2 + k_1 + k_2)}, \quad (13)$$

$$\bar{R}_{\text{А1полн}} = \frac{(k_1 + k_2)k_1(mg \pm Q_0) + k_1mgmp^2}{(k_1 + k_2)(mp^2 + k_1 + k_2)}, \quad (14)$$

здесь Q_0 – максимальная амплитуда гармонического силового воздействия.

Таким образом, можно построить выражение для определения коэффициента динамичности реакций связей:

$$N(\omega)_{\text{полн}} = \frac{(k_1 + k_2)k_2 \left(1 \pm \frac{Q_0}{mg}\right) + k_2mp^2}{(k_1 + k_2)k_1 \left(1 \pm \frac{Q_0}{mg}\right) + k_1mp^2}. \quad (15)$$

Из анализа (15) следует, что числитель и знаменатель могут принимать нулевые значения, а также положительные и отрицательные. В данном случае в числителе и знаменателе всегда будут различные знаки, поскольку динамические реакции $\bar{R}_{\text{А1дин}}$ и $\bar{R}_{\text{А2дин}}$ направлены в противоположные стороны.

3. Введем в рассмотрение коэффициент связи силовых факторов $V = 1 - Q_0 / mg$. Если $V = 0$ ($mg = Q_0$), то выражение (15) принимает соответственно вид

$$N(\omega)_{\text{полн}} = \frac{k_2}{k_1}. \quad (16)$$

Определение условий нарушения контакта в соединении инерционных элементов полных m_1 и m_2 , связано с рассмотрением реакций в характерных точках

ках (A_1) и (A_2). Если полная реакция $\bar{R}_{A_1 \text{полн}}$, то в этом случае движению элемента m_2 препятствий не оказывается и на частоте «зануления» полной реакции $\bar{R}_{A_1 \text{полн}}$ становится возможным «разблокирование» контакта. Аналогичная ситуация может рассматриваться и для полной реакции в характерной точке (A_2). В этом случае частота «обнуления» $\bar{R}_{A_2 \text{полн}}$ предопределяет возможности нарушения контакта в соединении элементов m_1 и m_2 , поскольку для движения элемента m_1 устраняется препятствие в виде полной реакции связи в т. (A_2).

Общая схема движения объекта m такова, что при любом движении (вверх или вниз – рис. 1) динамические реакции всегда будут отличаться друг от друга динамическими состояниями (либо сжимается упругий элемент с жесткостью k_1 , и второй упругий элемент с жесткостью k_2 – растягивается; либо ситуация конвертируется). Поэтому в выражениях (13) и (14) предусматривается возможность выбора соответствующих знаков (+) или (-). Это означает, что в выражениях $N(\omega)$ должно соблюдаться соотношение: либо числитель $N(\omega)$ имеет знак (+) и знаменатель – знак (-) в полиномах, состоящих из двух частей, либо будет другая комбинация со сменой расположения знаков в числителе и знаменателе.

Если в контакте между элементами m_1 и m_2 имеется некоторая упругость, реализуемая специальной пружиной или упругой прослойкой, то система в этом случае приобретает еще одну степень свободы. Таким образом, расчетной схемой становится механическая колебательная система с двумя степенями свободы. При этом в предельных соотноше-

ниях параметров (при жесткости упругого взаимодействия элементов бесконечно больших значений), должны проявляться признаки соответствия результатов оценки динамических состояний.

III. Динамические свойства составных твердых тел: предельные переходы

1. Если в предыдущем разделе рассматривалось твердое тело массой m , составные элементы которого m_1 и m_2 , представляет особое «некоторое цельное» соединение, то продолжение исследования производится для случая, когда элементы m_1 и m_2 связаны линейной пружиной с коэффициентом жесткости k_0 , как показано на рис. 3.

Система имеет две степени свободы и описывается двумя координатами y_1 и y_2 в неподвижном базисе. К каждому из массоинерционных элементов прикладывается сила тяжести: соответственно $G_1 = m_1g$, $G_2 = m_2g$, что в соответствующих характерных точках (т. (A) ÷ (A_5)) вызывает формирование статических составляющих полных реакций связей.

В механической колебательной системе (рис. 3) внешние воздействия представлены гармоническими колебаниями $z_1(t)$ и $z_2(t)$ опорных поверхностей I и II (рис. 3). Силы тяжести G_1 и G_2 приложены непосредственно к массоинерционным элементам (на рис. 3 силы G_1 и G_2 не показаны). Внешние гармонические силы $Q_1(t)$ и $Q_2(t)$ являются синфазными, имеют одну частоту колебаний так же, как и кинематические возмущения $z_1(t)$ и $z_2(t)$. Внешние силы $Q_1(t)$ и $Q_2(t)$ также приложены к соответствующим массоинерционным элементам. Система дифференциальных уравнений движения в координатах y_1 и y_2 во временной области может быть построена на основе известных подходов [2, 3] и имеет вид

$$m_1 \ddot{y}_1 + y_1(k_1 + k_0) - y_2 k_0 = G_1 + Q_1(t) + k_1 z_1(t), \quad (17)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + y_2(k_2 + k_0) - y_1 k_0 = G_2 + Q_2(t) + k_2 z_2(t). \quad (18)$$

Используя преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях, система уравнений (17), (18) может быть трансформирована в операторную форму

$$\bar{y}_1(m_1 p^2 + k_1 + k_0) - \bar{y}_2 k_0 = \bar{G}_1 + \bar{Q}_1 + k_1 \bar{z}_1, \quad (19)$$

$$\bar{y}_2(m_2 p^2 + k_2 + k_0) - \bar{y}_1 k_0 = \bar{G}_2 + \bar{Q}_2 + k_2 \bar{z}_2. \quad (20)$$

Структурная схема (структурная математическая модель) системы по рис. 3 представлена на рис. 4.

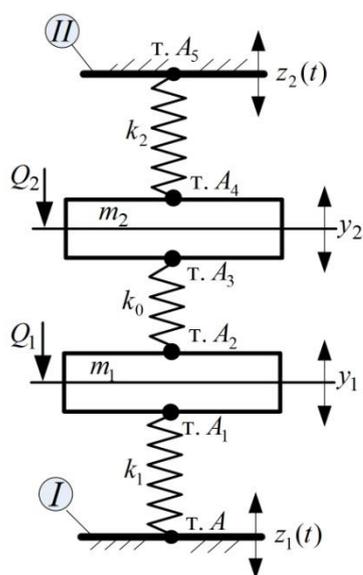


Рис. 3. Принципиальная схема системы с двумя степенями свободы

На основе структурной схемы (рис. 4) могут быть построены передаточные функции при соответствующих внешних воздействиях:

$$W_1(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{Q}_1} = \frac{m_2 p^2 + k_2 + k_0}{A(p)}, \quad (21)$$

$$W_2(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{Q}_2} = \frac{k_0}{A(p)}, \quad (22)$$

$$W_1'(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{Q}_2} = \frac{k_0}{A(p)}, \quad (23)$$

$$W_2'(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{Q}_1} = \frac{m_1 p^2 + k_1 + k_0}{A(p)}, \quad (24)$$

$$W_1''(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{z}_1} = \frac{k_1(m_2 p^2 + k_2 + k_0)}{A(p)}, \quad (25)$$

$$W_2''(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{z}_1} = \frac{k_0 k_1}{A(p)}, \quad (26)$$

$$W_1'''(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{z}_2} = \frac{k_0 k_2}{A(p)}, \quad (27)$$

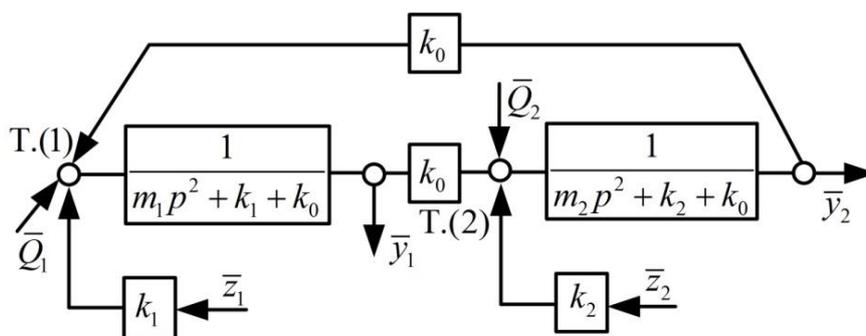


Рис. 4. Структурная схема (структурная математическая модель) исходной системы по рис. 3

$$W_2''(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{z}_2} = \frac{k_2(m_1 p^2 + k_1 + k_0)}{A(p)}, \quad (28)$$

$\bar{z}_1=0$
 $\bar{z}_2=0$
 $\bar{Q}_2=0$

$$\text{где } A(p) = (m_1 p^2 + k_1 + k_0)(m_2 p^2 + k_2 + k_0) - k_0^2 \quad (29)$$

– частотное характеристическое уравнение системы.

Выражения (21) ÷ (28) используются для определения реакций связей в характерных точках системы в соответствии с методикой, приведенной в работе [7]. Определим статические реакции, вызванные действием сил тяжести \bar{G}_1 и \bar{G}_2 (эти силы приложены на входах в структурной схеме, приведенной на рис. 3). Полагая, что $|\bar{R}_A|_{\text{ст}} = |\bar{R}_{A_1}|_{\text{ст}}$, а $|\bar{R}_{A_4}|_{\text{ст}} = |\bar{R}_{A_5}|_{\text{ст}}$, найдем реакции связей

$$\bar{R}_{A_{\text{ст}}} = \frac{k_1(k_2 + k_0)m_1 g + k_0 m_2 g k_1}{A_1}, \quad (30)$$

$$\bar{R}_{A_{5\text{ст}}} = \frac{k_2(k_1 + k_0)m_2 g + k_0 m_1 g k_2}{A_1}, \quad (31)$$

$$\text{где } A_1 = (k_1 + k_0)(k_2 + k_0) - k_0^2 = k_1 k_2 + k_1 k_0 + k_0 k_2. \quad (32)$$

Таким образом, статические составляющие полных реакций связей в характерных точках системы т. (А) и т. (А₅) определяются выражениями

$$\bar{R}_{A_{\text{ст}}} = \frac{g[k_1(k_2 + k_0)m_1 + k_0 k_1 m_2]}{k_1 k_2 + k_0(k_1 + k_2)}, \quad (33)$$

$$\bar{R}_{A_{5\text{ст}}} = \frac{g[k_2(k_1 + k_0)m_2 + k_0 k_2 m_1]}{k_1 k_2 + k_0(k_1 + k_2)}. \quad (34)$$

Сложность выражений (33), (34) определяется тем, что величины статических реакций в т. (А) и т. (А₅) формируются под действием двух сил тяжести $G_1 = m_1 g$ и $G_2 = m_2 g$ (на структурной схеме, приведенной на рис. 4 силы \bar{G}_1 и \bar{G}_2 не показаны).

2. Динамические реакции связей в тт. (А) и (А₅) определяются действием внешних возмущений \bar{Q}_1 , \bar{Q}_2 и \bar{z}_1 , \bar{z}_2 . В

отличие от действия сил тяжести \bar{G}_1 и \bar{G}_2 , которые действуют совместно, внешние возмущения могут действовать каждое по отдельности или в соответствующих совместных формах. Отметим, что каждая из форм совместных одновременных возмущений будет сопровождаться своим набором параметров. Далее рассматриваются несколько случаев.

3. Полагая, что $\bar{Q}_1 \neq 0$, $\bar{Q}_2 = 0$, $\bar{z}_1 = 0$, $\bar{z}_2 = 0$, получим выражения для динамических составляющих полных реакций связей в характерных точках (А) и (А₅):

$$\bar{R}_{A_{\text{дин}}} = \frac{k_1(m_2 p^2 + k_2 + k_0)}{A(p)} \bar{Q}_{10}, \quad (35)$$

$\bar{z}_1=0$
 $\bar{z}_2=0$
 $\bar{Q}_2=0$

$$\bar{R}_{A_{5\text{дин}}} = \frac{k_2 k_0}{A(p)} \bar{Q}_{10}, \quad (36)$$

$\bar{z}_1=0$
 $\bar{z}_2=0$
 $\bar{Q}_2=0$

где \bar{Q}_{10} – представляет собой максимальную амплитуду колебаний гармонического внешнего воздействия. Таким образом, полная реакция связи в точках (А) и (А₅) составит:

$$\bar{R}_{A_{\text{полн}}} = \frac{g[k_1(k_2 + k_0)m_1 + k_0 k_1 m_2]}{A_1} \pm \frac{k_1(m_2 p^2 + k_2 + k_0) \bar{Q}_{10}}{A(p)}, \quad (37)$$

$$\bar{R}_{A_{5\text{полн}}} = \frac{g[k_2(k_1 + k_0)m_2 + k_0 k_2 m_1]}{A_1} \pm \frac{k_2 k_0 \bar{Q}_{10}}{A(p)}. \quad (38)$$

Найдем коэффициент динамичности реакций связи $N(\omega)$:

$$N(\omega) = \frac{\bar{R}_{A_{5\text{полн}}}}{\bar{R}_{A_{\text{полн}}}} = \frac{A(p)g[k_2(k_1 + k_0)m_2 + k_0 k_2 m_1] \pm \pm k_2 k_0 \bar{Q}_{10} A_1}{A(p)g[k_1(k_2 + k_0)m_1 + k_0 k_1 m_2] \pm \pm k_1(m_2 p^2 + k_2 + k_0) \bar{Q}_{10} A_1}. \quad (39)$$

$\bar{z}_1=0$
 $\bar{z}_2=0$
 $\bar{Q}_2=0$

Дальнейший шаг заключается в том, чтобы осуществить переход к $k_0 \rightarrow \infty$, то есть две части m_1 и m_2 соединяются в одну массу m

$$N(\omega) = \frac{k_2 m p^2 + k_2 (k_1 + k_2) \left(1 \pm \frac{\bar{Q}_{10}}{mg}\right)}{k_1 m p^2 + k_1 (k_1 + k_2) \left(1 \pm \frac{\bar{Q}_{10}}{mg}\right)}. \quad (40)$$

4. Рассматривается случай возмущения $\bar{Q}_2 \neq 0$ при $\bar{Q}_1 = 0$, $\bar{z}_1 = 0$, $\bar{z}_2 = 0$. Определим динамические реакции связей с учетом особенностей действия $\bar{Q}_2 \neq 0$

$$\bar{R}'_{\substack{\text{Адин} \\ \bar{z}_1=0 \\ \bar{z}_2=0 \\ \bar{Q}_1=0}} = \frac{k_1 k_0}{A(p)} \bar{Q}_{20}, \quad (41)$$

$$\bar{R}'_{\substack{\text{А5дин} \\ \bar{z}_1=0 \\ \bar{z}_2=0 \\ \bar{Q}_1=0}} = \frac{k_2 (m_1 p^2 + k_1 + k_0)}{A(p)} \bar{Q}_{20}. \quad (42)$$

Полная реакция связи в точках (А) и (А5) составит:

$$\bar{R}'_{\text{Аполн}} = \frac{g[k_1(k_2 + k_0)m_1 + k_0 k_1 m_2]}{A_1} \pm \frac{k_1 k_0 \bar{Q}_{20}}{A(p)}, \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \bar{R}'_{\text{А5полн}} &= \frac{g[k_2(k_1 + k_0)m_2 + k_0 k_2 m_1]}{A_1} \pm \\ &\pm \frac{k_2 (m_1 p^2 + k_1 + k_0) \bar{Q}_{20}}{A(p)}. \end{aligned} \quad (44)$$

Найдем коэффициент динамичности реакций связей при $\bar{Q}_2 \neq 0$

$$\begin{aligned} N'(\omega) &= \frac{\bar{R}'_{\text{А5полн}}}{\bar{R}'_{\text{Аполн}}} = \\ &= \frac{A(p)g[k_2(k_1 + k_0)m_2 + k_0 k_2 m_1] \pm \pm k_2 (m_1 p^2 + k_1 + k_0) \bar{Q}_{20} A_1}{A(p)g[k_1(k_2 + k_0)m_1 + k_0 k_1 m_2] \pm \pm k_1 k_0 \bar{Q}_{20} A_1}. \end{aligned} \quad (45)$$

Если $k_0 \rightarrow \infty$, то

$$N'(\omega) = \frac{k_2 m p^2 + k_2 (k_1 + k_2) \left(1 \pm \frac{\bar{Q}_{20}}{mg}\right)}{k_1 m p^2 + k_1 (k_1 + k_2) \left(1 \pm \frac{\bar{Q}_{20}}{mg}\right)}. \quad (46)$$

5. Для случая силовых возмущений $\bar{Q}_1 \neq 0$, $\bar{Q}_2 \neq 0$, запишем передаточные функции системы, полагая при $\bar{z}_1 = 0$, $\bar{z}_2 = 0$. Полагаем, что между внешними силовыми факторами Q_1 и Q_2 существует связь, определяемая соотношением

$$\bar{Q}_2 = \beta \cdot \bar{Q}_1, \quad (47)$$

где β – коэффициент связности внешних силовых воздействий.

В этом случае:

$$W_1^{IV}(p) = \frac{\bar{y}_1}{\bar{Q}_1} = \frac{m_2 p^2 + k_2 + k_0 + \beta k_0}{A(p)}, \quad (48)$$

$$W_2^{IV}(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{Q}_1} = \frac{k_0 + \beta(m_1 p^2 + k_1 + k_0)}{A(p)}. \quad (49)$$

Динамические реакции связей в тт. (А) и (А5) определяются выражениями

$$\bar{R}''_{\substack{\text{Адин} \\ \bar{z}_1=0 \\ \bar{z}_2=0}} = \frac{k_1 (m_2 p^2 + k_2 + k_0 + \beta k_0) \bar{Q}_{10}}{A(p)}, \quad (50)$$

$$\bar{R}''_{\substack{\text{А5дин} \\ \bar{z}_1=0 \\ \bar{z}_2=0}} = \frac{k_2 [k_0 + \beta(m_1 p^2 + k_1 + k_0)] \bar{Q}_{10}}{A(p)}. \quad (51)$$

Перейдем к коэффициенту динамичности реакций связей

$$\begin{aligned} N''(\omega) &= \frac{\bar{R}''_{\text{А5полн}}}{\bar{R}''_{\text{Аполн}}} = \\ &= \frac{A(p)g[k_2(k_1 + k_0)m_2 + k_0 k_2 m_1] \pm \pm k_2 [k_0 + \beta(m_1 p^2 + k_1 + k_0)] \bar{Q}_{10} A_1}{A(p)g[k_1(k_2 + k_0)m_1 + k_0 k_1 m_2] \pm \pm k_1 (m_2 p^2 + k_2 + k_0 + \beta k_0) \bar{Q}_{10} A_1}. \end{aligned} \quad (52)$$

Если $k_0 \rightarrow \infty$, то

$$N''(\omega) = \frac{k_2 m p^2 + k_2 (k_1 + k_2) \left(1 \pm \frac{(1+\beta)\bar{Q}_{10}}{mg} \right)}{k_1 m p^2 + k_1 (k_1 + k_2) \left(1 \pm \frac{(1+\beta)\bar{Q}_{10}}{mg} \right)}. \quad (53)$$

Отметим, что выражение (53), так же, как в выражении (46), в полиномах числителя и знаменателя знаки сложения двух составных частей приводятся так, чтобы в числителе и знаменателе знаки были различными. В физическом смысле это означает, что частоты критических ситуаций в системе с двумя степенями свободы могут быть найдены из условия «обнуления» полных реакций динамических связей в характерных точках (A) и (A_5).

Заключение

В механических колебательных системах с сосредоточенными параметрами соединение составляющих элементов (упругие и инерционные элементы, а также диссипативные звенья и устройства для преобразования движения) происходит в так называемых характерных точках.

Нормальная работа соединения в условиях вибрационных возмущений, сопровождается возникновением соответствующих реакций связей. Если такие связи являются неустойчивыми, то возможны разъединения контактов, что нежелательно с точки зрения обеспечения надежности и безопасности эксплуатации систем.

1. Предлагается метод построения математических моделей формирования динамических реакций в соединениях элементов систем, в том числе и для контактов с неустойчивыми связями.

2. Показаны возможности использования структурных математических моделей в виде структурных схем эквивалентных в динамическом отношении систем автоматического управления.

3. Реакции связей определяются на основе применения передаточных функций систем. Предложены технологии

определения статических, динамических и полных реакций связей.

4. Для оценки возможностей нарушения контактов в системах с неустойчивыми связями получены аналитические соотношения для определения частот нарушения связей. Общий подход связан с представлениями об «обнулении» полной реакции связи как предельного случая.

5. В статье предлагаются алгоритмы проведения соответствующих оценок на основе вводимого понятия о коэффициенте динамичности реакций связей, учитывающем особенности нарушения упругих элементов.

Список литературы

1. Clarence W., De Silva Vibration. Fundamentals and Practice. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2000. 957 p.
2. Karnovsky I.A., Lebed E. Theory of vibration protection. Switzerland: Springer, 2016. 708 p.
3. Елисеев С.В., Артюнин А.И. Прикладная теория колебаний в задачах динамики линейных механических систем. Новосибирск: Наука, 2016. 459 с.
4. Моделирование прочности и разрушения несущих конструкций технических систем / С.В. Доронин, А.М. Лупехин, В.В. Москвичев, Ю.И. Шокин. Новосибирск: Наука, 2005. 250 с.
5. Коловский М.З. Автоматическое управление виброзащитными системами. М.: Наука, 1976. 320 с.
6. Елисеев А.В., Сельвинский В.В., Елисеев С.В. Динамика вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неустойчивых связей. Новосибирск: Наука, 2015. 332 с.
7. Кашуба В.Б., Елисеев С.В., Большаков Р.С. Динамические реакции в соединениях элементов механических колебательных систем. Новосибирск: Наука, 2017. 331 с.

Поступила в редакцию 10.08.18

UDC 629.4.015, 621.534, 62.752

S.V. Eliseev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Irkutsk State Transport University (Russia, 664074, Irkutsk, Chernyshevskogo Str., 15) (e-mail: eliseev_s@inbox.ru)

A.S. Mironov, Applicant, Irkutsk State Transport University (Russia, 664074, Irkutsk, Chernyshevskogo Str., 15) (e-mail: art.s.mironov@mail.ru)

Quang Truc Vuong, Post-Graduate Student, Irkutsk State Transport University (Russia, 664074, Irkutsk, Chernyshevskogo Str., 15) (e-mail: trucvq1990@gmail.com)

THE PECULIARITIES OF THE FORMATION OF CONTACT INTERACTIONS IN A COMPOSITE SOLID UNDER FORCED OSCILLATIONS

The concept of rating dynamic states is proposed in mechanical oscillatory systems created by the interactions of articulated elements. It is assumed that in real constructive solutions elastic, dissipative and mass-inertial elements are not always connected by kinematic pairs providing retaining or two-sided ties. Such situations are typical for many transport and technological vibration machines. The purpose of the article is to develop and detail a method for constructing mathematical models of the interaction of typical elements (or links) of mechanical oscillatory systems in order to determine the resulting coupling reactions in dynamic compounds. Methods of achieving the goal are based on the use of technology and methods of structural mathematical modeling, when the equivalent automatic control system is compared in a dynamic relation. A technology has been developed for the transformation of structural models, which allows for characteristic contact points to form dynamic coupling reactions, as the product of the system's dynamic stiffness at a certain point and its dynamic displacement. The concepts of transfer functions of systems are used. It is shown that dynamic reactions at certain points of the system are fractional rational expressions, the values of which can vary widely depending on the frequencies of the external disturbance. Zero values of the coupling reactions determine the regimes in which the "rupture" of the kinematic coupling is possible. In the presence or accounting of standing forces, the limiting state is reached under conditions that take into account the effect of an additional force factor. The authors propose the introduction of the concept of the relationship of dynamic reactions at various points in the system, which forms certain information spaces. Methods and techniques for estimating dynamic states in compounds of system elements in problems of estimating a possible spectrum of expected dynamic states are proposed.

Key words: non-retentive ties; transfer functions of system; structural diagrams; dynamic reactions of ties; transmission coefficient of dynamic ties.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-14-23

For citation: Eliseev S.V., Mironov A.S., Quang Truc Vuong. The Peculiarities of the Formation of Contact Interactions in a Composite Solid under Forced Oscillations. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 14-23 (in Russ.).

Reference

1. Clarence W. De Silva Vibration. Fundamentals and Practice. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2000, 957 p.

2. Karnovsky I.A., Lebed E. Theory of vibration protection. Switzerland, Springer Publ., 2016, 708 p.

3. Eliseev S.V., Artjunin A.I. Prikladnaja teorija kolebanij v zadachah dinamiki linejnyh mehanicheskikh sistem. Novosibirsk, Nauka Publ., 2016, 459 p.

4. Doronin S.V., Lupehin A.M., Moskvichev V.V., Shokin Ju.I. Modelirovanie prochnosti i razrushenija nesushhih kon-

strukcij tehniceskikh sistem. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 250 p.

5. Kolovskij M.Z. Avtomaticheskoe upravlenie vibrozashhitnymi sistemami. Moscow, Nauka Publ., 1976, 320 p.

6. Eliseev A.V., Sel'vinskij V.V., Eliseev S.V. Dinamika vibracionnyh vzaimodejstvij jelementov tehnologicheskikh sistem s uchetom neuderzhivajushhih svjazej. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015, 332 p.

7. Kashuba V.B., Eliseev S.V., Bol'shakov R.S. Dinamicheskie reakcii v soedinenijah jelementov mehanicheskikh kolebatel'nyh sistem. Novosibirsk, Nauka Publ., 2017, 331 p.

УДК 621.2.082.18

А.О. Горленко, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (Россия, 241035, Брянск, бул. 50 лет Октября, 7) (e-mail: bugi12@bk.ru)

М.Ю. Шевцов, аспирант, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (Россия, 241035, Брянск, бул. 50 лет Октября, 7) (e-mail: mih09mmo@yandex.ru)

Е.В. Агеева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

ФОРМИРОВАНИЕ В ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГРАДИЕНТНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Целью проведения исследований в данной работе является повышение износостойкости поверхностей трения деталей машин имплантацией материалов на основе карбида вольфрама, обеспечивающих получение модифицированных поверхностных слоев, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами в сравнении с износостойкими покрытиями, полученными традиционными методами обработки.

Технология имплантации комбинированной электромеханической обработкой реализуется на специальной установке, представляющей собой технологический комплекс, состоящий: из универсального станка (применяемого для механической обработки заготовок) с соответствующими инструментами и приспособлениями для закрепления обрабатываемой детали и подвода электрического тока большой силы и малого напряжения; силового блока для преобразования промышленного электрического тока; блока управления режимами обработки; средств коммутации и подвода смазывающе-охлаждающей технологической среды; блока сопряжения с ПЭВМ.

В процессе имплантации частицы карбида вольфрама внедрялись в формируемый поверхностный слой, армируя его. Затем на этой же поверхности проводилась электромеханическая обработка на упрочняющих режимах.

Экспериментально установлено, что фактически поверхностный слой углеродистой стали 45 представляет собой градиентную структуру, похожую на структуру инструментальной стали P18, причем с более высокой твердостью как следствие композиционного упрочнения выделяющимися карбидными фазами различной морфологии. Градиентная структура представляет собой ячеистый переохлажденный аустенит, стабилизированный вольфрамом и армированный карбидной сеткой, состоящей из агрегатированных высокодисперсных (менее 1 мкм) нитевидных и округлых частиц карбида вольфрама. Наличие градиентной структуры, имеющей плавный переход в основную металлическую матрицу стали 45, обеспечивает монолитную сцепляемость упрочненных слоев, которые не отслаиваются друг от друга в процессе изнашивания.

Ключевые слова: *поверхностный слой; износостойкость; электромеханическая обработка; упрочнение; карбид вольфрама; качество поверхностного слоя; триботехнические испытания.*

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-24-35

Ссылка для цитирования: Горленко А.О., Шевцов М.Ю., Агеева Е.В. Формирование в поверхности трения деталей машин градиентных износостойких структур с помощью комбинированной электромеханической обработки // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 24-35.

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности достаточно широко и эффективно применяются карбиды вольфрама W_2C и WC при получении различных функциональных материалов. Данные карбиды обладают высокой твер-

достью, износостойкостью и тугоплавкостью, что является исключительным сочетанием свойств для создания износостойких и жаропрочных сплавов [1–7].

Целью проведения исследований в данной работе является повышение износостойкости поверхностей трения дета-

лей машин имплантированием материалов на основе карбида вольфрама, обеспечивающих получение модифицированных поверхностных слоев, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами в сравнении с износостойкими покрытиями, полученными традиционными методами обработки.

Материалы и методики

Перед проведением экспериментальных исследований были подготовлены образцы и инструментальная оснастка. Технология имплантирования комбинированной электромеханической обработкой (ИКЭМО) реализуется на специаль-

ной установке, представляющей собой технологический комплекс, состоящий: из универсального станка (применяемого для механической обработки заготовок) с соответствующими инструментами и приспособлениями для закрепления обрабатываемой детали и подвода электрического тока большой силы и малого напряжения; силового блока для преобразования промышленного электрического тока; блока управления режимами обработки; средств коммутации и подвода смазывающе-охлаждающей технологической среды; блока сопряжения с ПЭВМ [8–12].

Общий вид установки для ИКЭМО представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид установки для ИКЭМО

Установка предназначена для поверхностного упрочнения и отделочной обработки цилиндрических поверхностей деталей машин, изготовленных из средне-, высокоуглеродистых, легированных сталей и высокопрочного чугуна. Применение переменного тока промышленной частоты (от управляемого источника питания) обеспечивает плавный переход твердости от поверхности к сердцевине, большую глубину упрочнения (до 2 мм),

высокую микротвердость упрочненного слоя (до 1000 HV), шероховатость поверхности (без отделочной обработки) в пределах $Ra = 0,8 - 3,2$ мкм. Обработка цилиндрических поверхностей постоянным током производится, когда не требуется большая глубина упрочнения (до 0,6 мм), а необходимо значительное уменьшение значений параметров исходной шероховатости (до $Ra = 0,2 - 0,4$ мкм).

Детали с наружными цилиндрическими поверхностями трения (валы, оси, втулки, ролики, поршни) в основном изготавливают из конструкционных и легированных сталей, к которым предъявляются следующие требования: высокая прочность, хорошая обрабатываемость, малая чувствительность к концентрации напряжений, а также способность подвергаться термической обработке. Одной из наиболее часто применяемых сталей для таких деталей является сталь 45.

При выборе инструмента для электромеханической обработки были проанализированы существующие схемы обработки и инструментальное обеспечение к ним. В каждой схеме и в каждом инструменте были найдены как положительные моменты, так и отрицательные. Учитывая это, была разработана и изготовлена вдвоенная инструментальная головка (рис. 2).



Рис. 2. Инструментальная оснастка для электромеханической обработки

Из-за соображений электробезопасности и потери энергии, особенно при обработке крупных деталей, подвод тока осуществляется через два ролика-электрода. Так как горизонтальное положение роликов не обеспечивает обработку в начале детали (контактирует только один ролик) и значительно увеличивает ширину инструмента, было выбрано вертикальное расположение роликов. Токоподводящие шины изолированы от штоков. Под напряжением находятся только токоподводящие шины, оси роликов и сами ролики. Направляющие, корпус, резцедержатель и станок изолированы.

Так как инструмент для упрочнения деталей электромеханической обработкой

работает в жестких условиях (высокие температурные и силовые нагрузки), а так же при этом способе воздействия необходима высокая электрическая проводимость материала инструмента, теплопроводность и достаточная твердость и износостойкость контактной поверхности, то наиболее целесообразным является применение в качестве материала инструмента тугоплавких металлов с насыщением объема материалами на основе меди (псевдосплавы). Был применен псевдосплав, который представляет собой пористый «каркас» в виде «губки» из карбида вольфрама, пропитанный медью.

Основываясь на полученном опыте при создании инструментальной оснастки

для электрохимической обработки, была разработана и изготовлена инструментальная оснастка для имплантации порошка карбида вольфрама. Она также состоит из двух роликов, только вместо псевдосплава применены ролики из жаропрочной стали 95X18.

Перед проведением эксперимента была установлена зависимость между перемещением суппорта на токарном станке и создаваемой нагрузкой на инструментальной головке. Измерения проводились на динамометре цифровом *PCE FM-200*. Рабочая поверхность образцов перед проведением экспериментов обрабатывалась точением.

Для чистовой обработки образцов после упрочнения была разработана и изготовлена шлифовальная головка, применяемая для установки на токарный станок. Она состоит из углошлифовальной машины мощностью 1300 Вт с настройкой режимов резания, прикрепленной к оправке для установки в резцедержатель

станка, вместо отрезного круга закрепляется шлифовальный круг.

Имплантация карбидов вольфрама в поверхностный слой при электрохимической обработке [8, 9] производится на определенных режимах. На поверхность перед обработкой наносится обмазка, предварительно размешанные в определенной пропорции с консистентным графитным смазочным материалом на основе литиевого мыла.

При имплантации карбида вольфрама применялись следующие режимы обработки: выходная сила тока 0,9 кА; напряжение 2,6 В; давление, создаваемое на поверхности детали 100 Н/мм².

Процесс имплантации показан на рис. 3. Частицы карбида вольфрама внедряются в формируемый поверхностный слой, армируя его. Затем на этой же поверхности проводится электрохимическая обработка (ЭМО) на упрочняющих режимах (рис. 4).

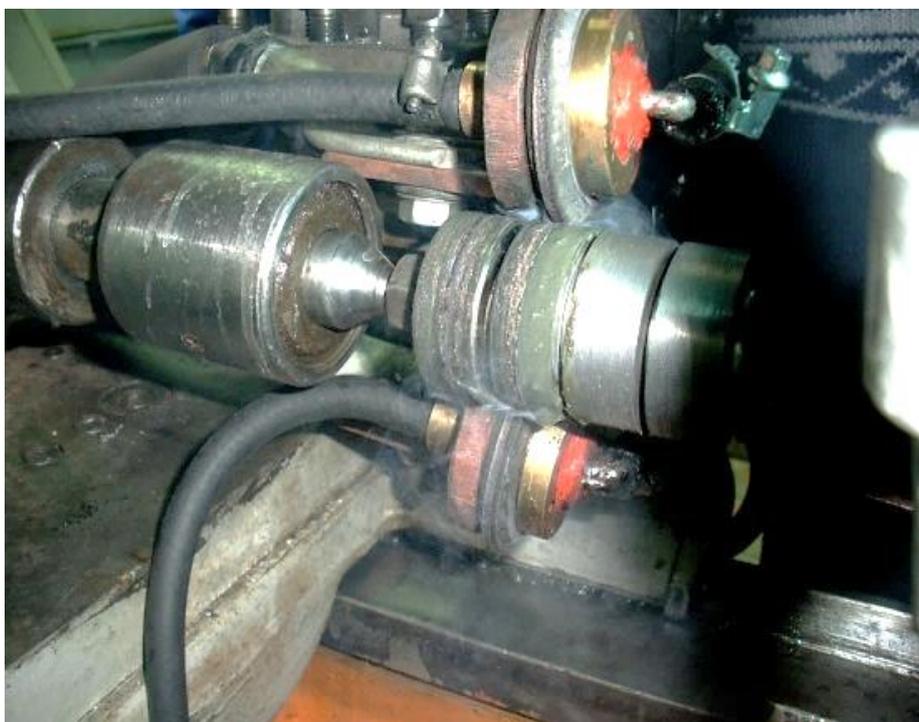


Рис. 3. Процесс имплантации карбида вольфрама

При ЭМО были использованы следующие режимы: сила тока 1,4 кА; напряжение 2,9 В; давление, создаваемое на поверхности детали 110 Н/мм². Эффект упрочнения при ЭМО достигается благодаря тому, что реализуются высокие скорости нагрева и охлаждения, и дости-

гается высокая степень измельченности аустенитного зерна, которая обуславливает мелкокристаллические структуры закалки поверхностного слоя, обладающего высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами [10, 11].



Рис. 4. Упрочнение при ЭМО

Результаты и их обсуждение

В результате проведения эксперимента установлено, что при комбинированной электромеханической обработке после проведения измерений, диаметр образца остается в пределах поля допуска.

В результате обработки на поверхности формируется трехслойная градиентная структура, состоящая из упрочненного слоя толщиной (180...220) мкм (рис. 5, слой 1), первого нижнего подслоя толщиной (200...250) мкм (рис. 5, слой 2), второго нижнего подслоя толщиной (20...40) мкм (рис. 5, слой 3) и матрицы, состоящей из нормализованной стали 45.

Слой 1 (рис. 5) представляет собой смесь частиц карбида вольфрама WC в стальной основе. Следовательно, в процессе имплантирования происходит пластическое перемешивание карбида вольфрама в объеме стали в твердофазном состоянии.

Слой 2 (рис. 5) представляет собой слабонасыщенный вольфрамом феррит, по границам зерен которого выделяется сетка карбида вольфрама. Следовательно, в процессе имплантирования и упрочнения в слое 2 выделяется максимальное количество энергии, которое переводит систему в метастабильное состояние с последующим образованием ячеистой структуры (рис. 6).

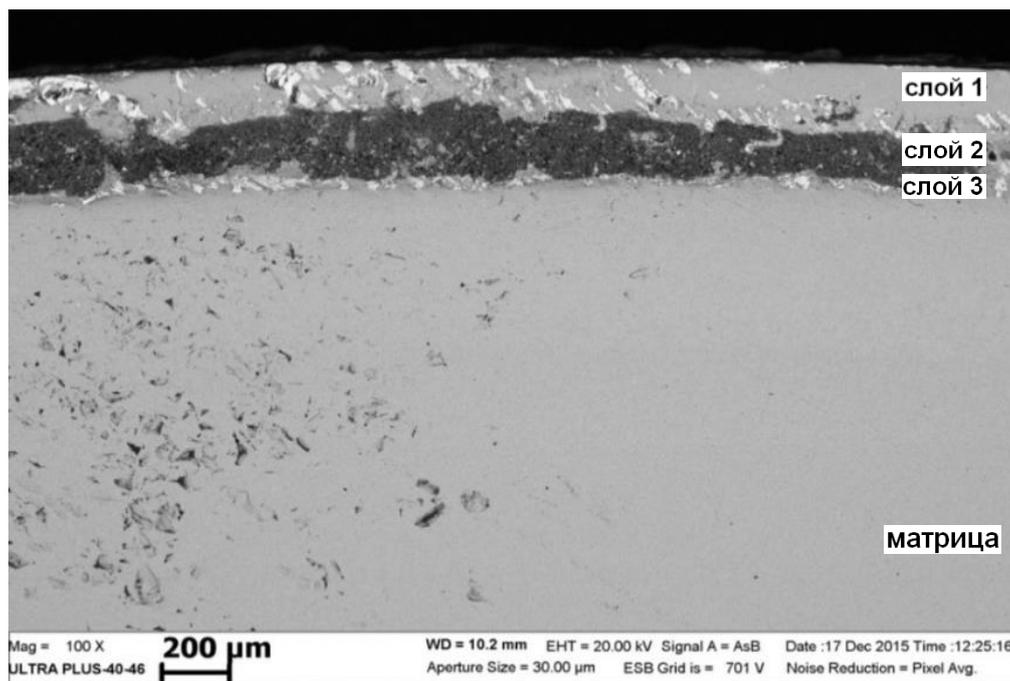


Рис. 5. Структура поверхности стального образца, упрочненного карбидом вольфрама, $\times 100$

Данные ячеистые структуры имеют ярко выраженное эвтектическое строение, однако сетка состоит из нитевидных кристаллов карбида вольфрама, чередующихся с изолированными глобулярными высокодисперсными частичками

карбида вольфрама (менее 1 мкм). Причем, сами нити эвтектической сетки состоят из коагулировавших дисперсных глобулей карбида вольфрама, образуя в целом единую композиционную структуру.

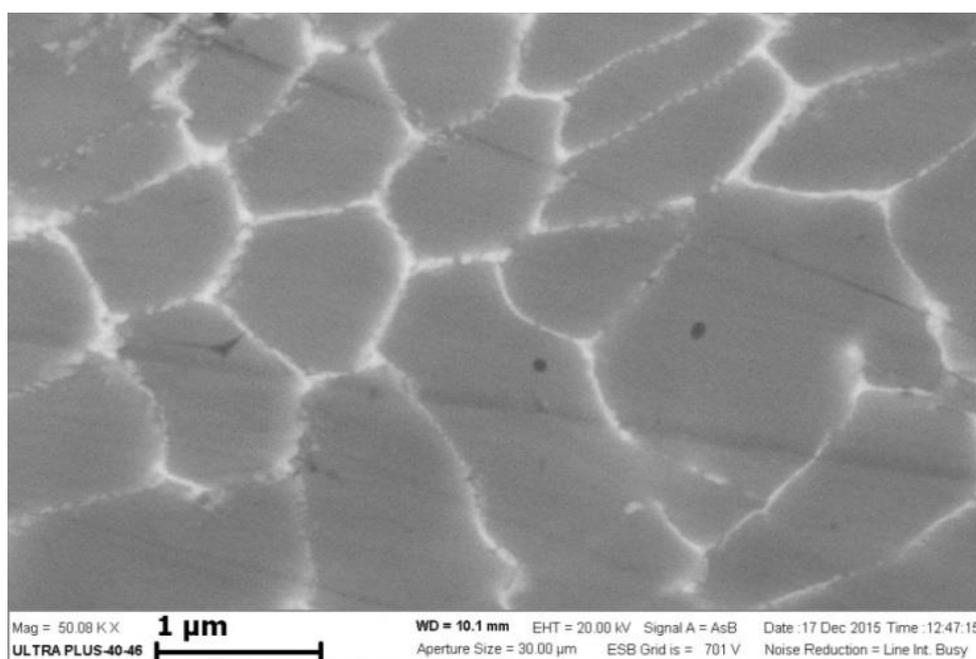


Рис. 6. Ячеистая структура переохлажденного аустенита в слое 2 (сетка карбида вольфрама по границам аустенитных зерен), $\times 50800$

В соответствии с известной диаграммой $Fe - W$, температура слоя 2 в процессе обработки превышает температуру $1060^{\circ}C$, соответствующую перитектоидной реакции. В этих температурных условиях протекает полиморфное превращение железа с образованием аустенита и растворением карбида вольфрама в аустените

Аналогичная структура наблюдается при переходе слоя 2 в слой 3 (рис. 5), который намного тоньше слоя 1, но также насыщен частицами карбида вольфрама.

Микротвердость по Виккерсу измерялась на микротвердомере мод. ПМТ-3М. Измерение диагоналей отпечатков проводилось на микроскопе металлографическом инвертированном мод. Метам ЛВ-34 с применением автоматизированной системы анализа «Микро-Анализ View». В табл. 1 приведены значения микротвердости по Виккерсу для многослойной упрочненной градиентной структуры износостойкой поверхности.

Таблица 1
Микротвердость поверхностного слоя стали 45, упрочненного карбидом вольфрама

Микротвердость слоев, HV			
Слой 1	Слой 2	Слой 3	Матрица
741...846	546...633	431...525	304...332

Для определения триботехнических показателей были проведены комплексные сравнительные испытания на трение и изнашивание конструкционной стали 45 с градиентной структурой упрочненной поверхности и достаточно дорогих и технологически сложных в получении современных износостойких покрытий и материалов.

Для комплексных сравнительных испытаний износостойкости исследовались наружные цилиндрические поверхности образцов, изготовленных из сталей P18 и 45, с применением следующих технологий:

– объемная закалка, низкотемпературный отпуск (сталь P18);

– объемная закалка, низкотемпературный отпуск (сталь P18) + покрытие с твердо-растворным упрочнением из соединений с разным типом межатомных связей системы $Ti-Al-N$ толщиной 3 мкм, нанесенное с применением технологии PVD (в вакууме с помощью электродугового источника плазмы и сепарации плазменного потока);

– объемная закалка, низкотемпературный отпуск (сталь P18) + покрытие с многофазной структурой системы $Mo-Cr-N$ толщиной 3 мкм, нанесенное с применением технологии PVD (в вакууме с помощью электродугового источника плазмы и сепарации плазменного потока);

– комбинированная электромеханическая обработка (ИКЭМО) – формирование имплантированного карбидами вольфрама поверхностного слоя на поверхности не термообработанной стали 45 и последующее электромеханическое упрочнение обрабатываемой поверхности.

Образцы с покрытиями на основе $Ti-Al-N$ и $Mo-Cr-N$ были изготовлены в ООО «НПФ «Плазмацентр» (г. Санкт-Петербург).

Комплексные сравнительные испытания образцов в условиях граничной смазки проводились на автоматизированной установке, созданной на базе машины трения МИ-1М, нормализованным методом с использованием нагружающего устройства оригинальной конструкции [5].

По результатам анализа регистрируемых параметров определялись следующие показатели триботехнических свойств: время приработки t_0 , ч; приработочный износ h_0 , мкм; среднее значение коэффициента трения в период нормального изнашивания f ; отношение максимального значения коэффициента трения в период приработки f_0 к f ; среднее значение интенсивности изнашивания в период нормального изнашивания $I_h = (h - h_0) / (L - L_0)$, где h , мкм – суммарная величина износа образца за время испытаний; L , мкм – путь трения, пройденный поверхностью образца за время испытаний; L_0 – путь трения, пройденный поверхностью образца за время приработки; значение интенсивности изнашивания за общее время испытаний $I_{h\Sigma} = h / L$.

Испытания образцов проводились при следующих условиях: скорость скольжения $v = 1$ м/с; нормальное усилие нагружения $N = 100 \pm 0,5$ %, Н (соответствует давлению, рассчитанном по Герцу, порядка 150 МПа); вид первоначального контакта – пластический насыщенный; вид смазки – граничная; вид смазывания – окунанием; ведущий вид изнашивания – усталостное; смазочный мате-

риал – масло индустриальное И – 20А (ГОСТ 20799 – 88); материал индентора – твердый сплав ВК8; общее время испытаний каждого образца – 6 ч.

Результаты испытаний образцов, обработанных с применением вышеописанных технологий на модернизированной установке МИ-1М, представлены в табл.2.

На рис. 7 в качестве примера приведены результаты испытаний образца с графиками изменения износа и коэффициента трения в режиме реального времени для стали 45, обработанной методом ИКЭМО. Сравнение результатов триботехнических испытаний образцов нормализованным методом показало, что минимальными значениями коэффициента трения, времени приработки и износа обладает сталь 45 с градиентной структурой поверхностного слоя с имплантированными карбидами вольфрама и последующим электромеханическим упрочнением. Кривые износа для образцов стали P18 и с покрытиями систем *Ti-Al-N* и *Mo-Cr-N* характеризуются ускоренным ростом износа после износа покрытия. Кривая износа для образца стали 45 после ИКЭМО более стабильна.

Таблица 2

Результаты триботехнических испытаний на модернизированной установке МИ-1М

Триботехническое свойство	Показатель	Значение показателя для образца			
		Сталь P18	Сталь P18 + <i>Ti-Al-N</i>	Сталь P18 + <i>Mo-Cr-N</i>	Сталь 45 + ИКЭМО
Прирабатываемость	t_0 , ч	1,12	0,58	0,75	0,45
	h_0 , мкм	7,5	1,30	1,50	1,70
	f_0/f	1,61	1,42	1,46	1,19
Антифрикционность	f	0,31	0,32	0,25	0,24
Износостойкость	h , мкм	16,1	9,70	9,60	4,6
	$I_h \cdot 10^{-10}$	3,44	3,12	3,09	1,44
	$I_{h\Sigma} \cdot 10^{-10}$	5,55	3,35	3,32	2,03

По результатам триботехнических испытаний установлено, что интенсивность изнашивания поверхности трения образцов, изготовленных из стали 45 с градиентной структурой поверхностного слоя после имплантирования карбидами вольфрама и последующим электромеханическим упрочнением в период нормального изнашивания меньше по срав-

нению (в скобках указаны значения для общего времени испытаний):

- с термообработанными образцами – в 2,4 (2,7) раза;
- с образцами после PVD (покрытие системы *Ti-Al-N*) – в 2,2 (1,7) раза;
- с образцами после PVD (покрытие системы *Mo-Cr-N*) – в 2,1 (1,6) раза.

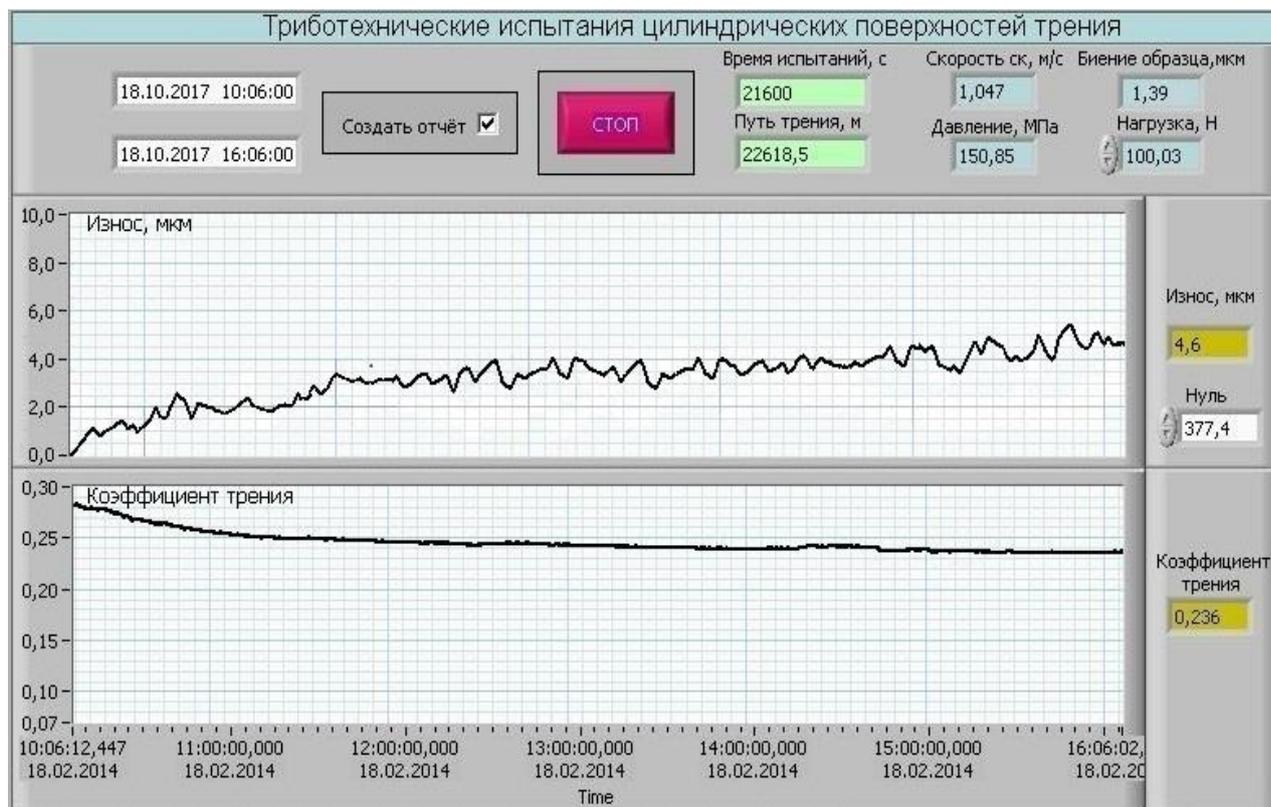


Рис. 7. Результаты испытаний образца стали 45 после формирования имплантированного карбидами вольфрама слоя и последующего электромеханического упрочнения (ИКЭМО)

Таким образом, высокие показатели износостойкости градиентной структуры поверхностного слоя стали 45 с имплантированными карбидами вольфрама являются следствием композиционного упрочнения за счет формирования высокодисперсных карбидных структур на основе карбидов вольфрама (менее 1 мкм) различной морфологии (ячеистая сетка, нить, зерно) и как следствие, более высокие значения микротвердости.

Выводы

1. Фактически поверхностный слой углеродистой стали 45 представляет собой градиентную структуру, похожую на структуру инструментальной стали P18, причем с более высокой твердостью как следствие композиционного упрочнения выделяющимися карбидными фазами различной морфологии.

2. Градиентная структура представляет собой ячеистый переохлажденный аустенит, стабилизированный вольфрамом и армированный карбидной сеткой, состоящей из агрегатированных высокодисперсных (менее 1 мкм) нитевидных и округлых частиц карбида вольфрама.

3. Наличие градиентной структуры, имеющей плавный переход в основную металлическую матрицу стали 45, обеспечивает монолитную сцепляемость упрочненных слоев, которые не отслаиваются друг от друга в процессе изнашивания.

4. Модификация поверхности трения стали 45 за счет имплантирования и композиционного упрочнения порошком карбида вольфрама методом ИКЭМО позволяет существенно повысить износостойкость поверхностей трения, что подтверждается триботехническими испытаниями.

Список литературы

1. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных методом электроэрозионного диспергирования / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 2-6.

2. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Метод получения наноструктурных порошков на основе системы WC-Co и устройство для его осуществления // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 5. С. 39-42.

3. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения

высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2011. № 1 (46). С. 78-80.

4. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов: монография / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева. Курск, 2011. 122 с.

5. Исследование физико-технологических свойств порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, В.Б., Тригуб В.В. Самойлов, Е.В. Агеева // Фундаментальные исследования. 2011. № 12-2. С. 336-340.

6. Фазовый состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, Е.В. Агеев, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 20-25.

7. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов - перспективный материал для восстановления деталей тракторной техники / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Е.В. Агеева, Р.В. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1-1 (40). С. 182-189.

8. Горленко А.О., Давыдов С.В. Технология создания износостойких поверхностных слоев с имплантированными материалами на основе карбида вольфрама // Справочник: Инженерный журнал. 2017. №1 (238). С. 3 – 10.

9. Горленко А.О., Давыдов С.В. Технология имплантирования материалов на основе карбида вольфрама с целью повышения износостойкости поверхностей

трения // Научные технологии в машиностроении. 2016. № 9 (63). С. 3 – 9.

10. Горленко А.О. Упрочнение поверхностей трения деталей машин при электромеханической обработке // Вестник БГТУ. 2011. № 3. С. 4 – 8.

11. Gorlenko A.O., Shevtsov M.Y. Improving technology combined electromechanical processing // Journal of Advanced Research in Technical Science. North

Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace, 2018. Issue 9-1. P. 56 – 61.

12. Горленко А.О., Прудников М.И. Триботехнические испытания поверхностей деталей нормализованным методом // Справочник: Инженерный журнал. 2009. Прил. 10. С. 22 – 24.

Поступила в редакцию 06.09.18

UDC 621.2.082.18

O. A. Gorlenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Bryansk State Technical University (Russia, 241035, Bryansk, 50 Let Oktyabrya boul., 7) (e-mail: bugi12@bk.ru)

M. Yu. Shevtsov, Post-Graduate Student, Bryansk State Technical University (Russia, 241035, Bryansk, 50 Let Oktyabrya boul., 7) (e-mail: mih09mmo@yandex.ru)

E. V. Ageeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: ageev-ev@yandex.ru)

THE FORMATION OF THE FRICTION SURFACE OF MACHINE PARTS OF WEAR RESISTANT GRADIENT STRUCTURES BY MEANS OF COMBINED ELECTROMECHANICAL PROCESSING

The purpose of research in this work is to increase the wear resistance of friction surfaces of machine parts by implanting materials based on tungsten carbide, providing a modified surface layers with improved physical and mechanical properties in comparison with wear-resistant coatings obtained by traditional methods of processing.

The technology of implanting a combined Electromechanical treatment is implemented on a special installation, which is a technological complex consisting of: a universal machine (used for machining workpieces) with the appropriate tools and devices for fixing the workpiece and the supply of electric current of high power and low voltage; power unit for the conversion of industrial electric current; control unit processing modes; means of switching and supply of lubricating-cooling technological medium; unit interface with PC.

In the process of implanting tungsten carbide particles were introduced into the formed surface layer, reinforcing it. Then, on the same surface, Electromechanical treatment was carried out on the reinforcing modes.

It is experimentally established that in fact the surface layer of carbon steel 45 is a gradient structure similar to the structure of tool steel P18, and with a higher hardness as a consequence of the composite hardening of the released carbide phases of different morphology. The gradient structure is a cellular supercooled austenite stabilized by tungsten and reinforced with a carbide mesh consisting of aggregated highly dispersed (less than 1 μm) filamentous and rounded tungsten carbide particles. The presence of a gradient structure with a smooth transition to the main metal matrix of steel 45 provides monolithic adhesion of hardened layers that do not peel off from each other during wear.

Key words: surface layer; wear resistance; Electromechanical treatment; hardening; tungsten carbide; surface layer quality; tribotechnical testing.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-24-35

For citation: Gorlenko O. A., Shevtsov M. Yu., Ageeva E. V. The Formation of the Friction Surface of Machine Parts of Wear Resistant Gradient Structures by Means of Combined Electromechanical Processing. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 24-35 (in Russ.).

Reference

1. Latypov R.A., Korostelev A.B., Ageev E.V., Semenixin B.A. Svoystva poroshkov iz otkodov tverdyx splavov VK8 i T15K6, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya. *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik*, 2010, no. 7, pp. 2-6.
2. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanostrukturnykh poroshkov na osnove sistemy WC-Co i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2010, no. 5, pp. 39-42.
3. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina*, 2011, no. 1 (46), pp. 78-80.
4. Ageev E.V., Latypov R.A., Semenixin B.A., Ageeva E.V. Sostav i svoystva poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkodov tverdyx splavov. *Kursk*, 2011, 122 p.
5. Ageev E.V., Gadalov V.N., Romanenko D.N., Trigub V.B., Samojlov V.V., Ageeva E.V. Issledovanie fiziko-tekhnologicheskix svoystv poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2011, no. 12-2, pp. 336-340.
6. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Gulidin S.S., Ageev E.V., Goroxov A.A. Fazovyy sostav chastic poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava VK8 v butilovom spirte. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25.
7. Ageev E.V., Gadalov V.N., Ageeva E.V., Bobryshev R.V. Poroshki, poluchennyye elektroerozionnym dispergirovaniem otkodov tverdyx splavov - perspektivnyj material dlya vosstanovleniya detalej avtotraktornoj tekhniki. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189.
8. Gorlenko A.O., Davydov S.V. Tekhnologiya sozdaniya iznosostojkix poverxnostnykh sloev s implantirovannymi materialami na osnove karbida volframa. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2017, no.1 (238), pp. 3 – 10.
9. Gorlenko A.O., Davydov S.V. Tekhnologiya implantirovaniya materialov na osnove karbida volframa s celyu povysheniya iznosostojkosti poverxnostej treniya. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2016, no. 9 (63), pp. 3 – 9.
10. Gorlenko A.O. Uprochnenie poverxnostej treniya detalej mashin pri elektromexanicheskoj obrabotke. *Vestnik BGTU*, 2011, no. 3, pp. 4 – 8.
11. Gorlenko A.O., Shevtsov M.Y. Improving technology combined electromechanical processing. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace, 2018, is. 9-1, pp. 56 – 61.
12. Gorlenko A.O., Prudnikov M.I. Tribotexnicheskie ispytaniya poverxnostej detalej normalizovannym metodom. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2009, pr. 10, pp. 22 – 24.

УДК 656.132

Е.В. Агеева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

А. И. Пыхтин, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: sephiroth@mail.ru)

М.С. Королев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: korolev37-31-72@mail.ru)

ВНЕДРЕНИЕ ДАТЧИКОВ ПАССАЖИРОПОТОКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В Г. КУРСКЕ

В г. Курске обработкой навигационных данных занимается МУП «ЦДС гор. Курска», это предприятие устанавливает на транспортные средства навигационное оборудование следующего типа: GalileoSky, АвтоГРАФ–GSM, а также навигатор с переговорным устройством Гранит 2.07.

Внедрение технологии мониторинга транспорта способствует повышению качества обслуживания. Расширение функциональных возможностей терминала на транспорте в настоящее время достаточно велико и достигается оно за счет установки дополнительных датчиков. Крупные компании по производству ГЛОНАСС/GPS оборудования такие, как «Gurtam», «ТС автоматика», «АвтоГРАФ» и прочие помимо навигационного оборудования готовы предоставить десятки датчиков, которые дополняют стандартные терминалы мониторинга и способствуют улучшению работы транспорта.

Целью настоящей работы являлось внедрение датчиков пассажиропотока для осуществления пассажирских перевозок автомобильным транспортом в г. Курске.

В работе представлена действующая в городе Курске схема контроля за движением городского пассажирского транспорта. Описаны перспективы развития существующей системы контроля за транспортом. На основе деятельности предприятия МУП «ЦДС гор. Курска» представлены навигационные устройства, эксплуатируемые на городском пассажирском транспорте, и сопоставлены два вида датчиков пассажиропотока, а так же произведен расчет стоимости оснащения всего подвижного состава автомобилей марки ПАЗ в городе Курске датчиками пассажиропотока, описаны их преимущества и механизмы извлечения прибыли. Представлены результаты расчета себестоимости перевозок, предложена новая система налогообложения на основе данных датчиков пассажиропотока, которая позволит увеличить поступление денежных средств в муниципальный бюджет, и произведен расчет периода окупаемости внедрения нововведения.

Ключевые слова: GPS/ГЛОНАСС; датчики пассажиропотока; пассажирские перевозки; диспетчеризация; подвижной состав; терминал; программное обеспечение.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-36-46

Ссылка для цитирования: Агеева Е.В., Пыхтин А. И., Королев М.С. Внедрение датчиков пассажиропотока для осуществления пассажирских перевозок автомобильным транспортом в г. Курске // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 36-46.

Введение

В современном мире установка терминалов ГЛОНАСС/GPS на транспортные

средства является неотъемлемой частью пассажирских перевозок. Спутниковые системы мониторинга транспорта включают в себя три сегмента (табл. 1) [1-19].

Таблица 1

Сегменты систем спутникового позиционирования

Тип сегмента	Перспективы развития
Космические аппараты	усовершенствование точности и области передачи сигнала со спутника
Наземные вычислительные комплексы	усовершенствование методов и оборудования компьютерных комплексов и вычислительных машин
Терминалы на транспорте	расширение возможностей навигационных терминалов

Каждый из сегментов развивается и улучшается, благодаря чему возрастает точность определения местоположения, увеличиваются функциональные и технологические возможности данных систем.

Сигнал со спутника поступает на оборудование, установленное на транспортном средстве, терминал производит расчет координат его нахождения и отправляет радиосигнал в диспетчерский пункт, где происходит обработка полученной информации.

В г. Курске обработкой навигационных данных занимается МУП «ЦДС гор. Курска», это предприятие устанавливает на транспортные средства навигационное оборудование следующего типа: GalileoSky, АвтоГРАФ–GSM, а также навигатор с переговорным устройством Гранит 2.07.

Внедрение технологии мониторинга транспорта способствует повышению качества обслуживания. Расширение функциональных возможностей терминала на транспорте в настоящее время достаточно велико и достигается оно за счет установки дополнительных датчиков. Крупные компании по производству ГЛОНАСС/GPS оборудования, такие, как «Gurtam», «ТС автоматика», «АвтоГРАФ» и прочие помимо навигационного оборудования готовы предоставить десятки датчиков, которые дополняют стандартные терминалы мониторинга и способствуют улучшению работы транспорта [20-25].

Целью настоящей работы являлось внедрение датчиков пассажиропотока для осуществления пассажирских перевозок автомобильным транспортом в г. Курске.

Материалы и методики

Одним из ключевых датчиков в пассажирских перевозках является датчик

учета пассажиропотока. Он необходим для подсчета пассажиров, входящих в общественный транспорт (автобус, троллейбус и т.п.) или выходящих из него. Существуют два варианта расположения датчиков этого типа: по линии дверного проема транспортного средства, под потолок в районе механизма открывания дверей или в дверной проем транспортного средства в механизме открывания/закрывания дверей. Передача данных осуществляется через ГЛОНАСС/GPS терминал средствами GSM передачи данных. Использование данного датчика позволит выбрать оптимальные транспортные средства для того или иного маршрута, определить, не допускает ли водитель перевозку стоящих пассажиров в автобусах, не имеющих накопительных площадок, обеспечить сохранность кассы от недобросовестных кондукторов.

В состав системы входят:

- 1) управляющий бортовой компьютер;
- 2) электронно–оптические сенсоры различных типов для установки в дверных проемах транспортных средств различной конфигурации;
- 3) контроллер регистрации открытия/закрытия дверей транспортного средства.

Основные задачи, решаемые системой:

- 1) учет и анализ пассажиропотоков;
- 2) оптимизация расписания движения, маршрутной сети, тарифной политики, типов используемого подвижного состава;
- 3) контроль выручки, сдаваемой персоналом;
- 4) обеспечение автоматического контроля уровня оплаты проезда (совместно с системой оплаты проезда).

На рисунке 1 изображена схема расположения датчиков пассажиропотока.



Рис. 1. Установка датчиков пассажиропотока в салоне автобуса

Датчики, устанавливаемые в общественный транспорт, бывают двух видов:

1. ИК датчик пассажиропотока. Он устанавливается в проем двери, сверху. Инфракрасный луч светит сверху вниз на ИК приемник. Пассажир, заходя в автобус, прерывает свет луча и датчик срабатывает. Сигнал передается на блок ГЛОНАСС. В цепи датчик – блок присутствует геркон, который не дает работать датчику при закрытой двери. Дверь открывается и датчик начинает считать. Для него вход и выход это одно и то же действие, поэтому итоговую цифру вы-

числяют с учетом двукратного срабатывания счетчика.

2. Контактная платформа. Это специальный коврик, который крепится на ступеньке при входе в автобус. Он выполнен в пыле-влажностонепроницаемом корпусе. Принцип работы датчика заключается в том, что пассажир, наступая на ступень, приводит в действие механизм подсчета, который передает сигнал на бортовой компьютер. На рисунке 2 изображена схема расположения датчиков пассажиропотока типа платформа.



Рис. 2. Схема расположения датчиков пассажиропотока типа платформа в салоне автомобиля

Внедрение датчиков типа ступенька является нерациональным. Это выяснилось в результате эксплуатации данного оборудования в некоторых регионах РФ. При определенной наполняемости автобуса пассажиры могут находиться на ступеньке, пропуская входящих или выходящих пассажиров. Это не дает возможности системе учитывать каждого пассажира. Платформа быстро изнашивается, в дождливую погоду может не срабатывать и требует частого обслуживания. Поэтому для установки нами предлагается использовать ИК-датчики.

Внедрение датчиков пассажиропотока обеспечит пополнение муниципального бюджета за счет перехода с вмененного налога на налог на прибыль предприятия. Появится система учета денежных средств, полученных с каждого пассажира. Исчезнет необходимость в проведении исследования пассажиропотока вручную. Произойдет оптимизация городской маршрутной сети.

Для внедрения системы датчиков пассажиропотока потребуется ряд капиталовложений, срок окупаемости которых предстоит рассчитать. Для более эффективного внедрения мы решили выбрать автобусы марки ПАЗ, которых в городе Курске насчитывается порядка 243 единиц.

Результаты и их обсуждение

Для предварительного расчета нами выбран российский высокопольный автобус малого класса ПАЗ 3205. Он является базовой и классической моделью с 1989 года. Модификация ПАЗ 32053 обозначает автобус с передней автоматической дверью и задней механической. ПАЗ 3206 представляет собой полноприводную версию ПАЗ 32053. Данные автобусы

имеют вместимость 42 пассажира и 25 посадочных мест.

Стоимость оснащения транспортного средства датчиком пассажиропотока будет складываться из закупочной стоимости приборов и стоимости их установки. Автобусы средней вместимости марки ПАЗ обладают двумя одностворчатыми дверьми, следовательно, требуют установки двух датчиков. Датчик пассажиропотока ПП-01 является оптимальным для использования, он имеет возможность подключаться к навигационным терминалам «АвтоГРАФ» и «GalileoSky». Изготовитель датчиков пассажиропотока, АО Концерн "Автоматика", заявляет, что погрешность прибора последней версии составляет – 3–5%. Согласно сайту официального дистрибьютера, стоимость датчика ПП-01 v.3.0 составляет 7400 рублей, его установка 2500 рублей, такую цену рекомендует дистрибьютер. Исходя из этого, стоимость оснащения одного транспортного средства датчиками пассажиропотока составит 19800 руб.

Рассчитанная нами стоимость оснащения датчиками всего автомобильного парка марки ПАЗ в городе составит 4811400 руб.

Так же стоит учитывать стоимость эксплуатации данного прибора. Потребуются сотрудники для осуществления ремонта оборудования и обработки информации, расходы на содержание серверов для сбора и хранения данных, на аренду и оснащение рабочего места. Чтобы избежать лишних издержек, мы считаем рентабельным обслуживание перенести на базу организации МУП «ЦДС гор. Курска», которая осуществляет обслуживание навигационного оборудования на городском пассажирском транспорте, а также мониторинг данных с

транспортных средств. Мы полагаем, что данная организация могла бы производить установку и обслуживание датчиков пассажиропотока.

Стоимость обслуживания будет ниже рыночной, так как данные услуги организация сможет оказывать в дополнение к диспетчерским услугам по обработке информации с приборов спутниковой навигации. На сегодняшний день стоимость услуг на диспетчеризацию составляют 1685 рублей в месяц. Мы считаем целесообразным установить тариф обслуживания данных приборов, а именно выделение дополнительных серверов для хранения данных в пределах 350 рублей в месяц, ремонт производить за отдельную плату. Таким образом, стоимость обслуживания всего автопарка в течение года 947700 руб.

Устанавливая датчики пассажиропотока, мы сможем узнать точное количество перевезенных пассажиров и, соответственно, доход от перевозок. В связи с этим, увеличить поступление в бюджет города денежных средств мы считаем возможным за счет замены единого налога на вмененный доход, упрощенную систему налогообложения. В настоящий момент, в связи с невозможностью посчитать каждого пассажира, перевезенного на транспорте, в сфере пассажирских перевозок введен вмененный налог (ЕНВД).

Таким образом, налог на перевозочную деятельность за один месяц с одного автомобиля в городе Курске при существующей системе налогообложения составляет 2185,56 руб. Сумма налогообложения всех автомобилей марки ПАЗ в городе Курске за годовой период составит 6373092,96 руб.

Зная количество перевезенных пассажиров и собранное количество денежных средств, можно вводить упрощенную систему налогообложения доходы - расходы, к списку его плательщиков относятся индивидуальные предприниматели, которые функционируют на общих принципах налогообложения. Взыскание налога устанавливается Налоговым кодексом РФ. Упрощенная система налогообложения – один из наиболее экономически целесообразных налоговых режимов, позволяющих минимизировать налоговые платежи и сократить объем представляемой документации. Ставка по системе налогообложения составит – 15 %.

Для того чтобы определить экономический эффект от внедрения датчиков пассажиропотока и смены системы налогообложения, необходимо рассчитать доходы и расходы, связанные с перевозкой пассажиров в условиях города Курска.

Пассажиропоток в городе Курске отличается в зависимости от маршрута и графика движения, поэтому для упрощения системы расчета мы возьмем усредненную цифру 717 пасс/сутки. Данная цифра выбрана исходя из данных пассажиропотока, собранных по маршрутам, представленным в таблице 2.

В году 365 дней, однако так как выпуск автомобилей на линию в будни и выходные дни отличается, то расчет прибыли произвели на основе рабочих и нерабочих дней. Согласно производственному календарю 2018 года, в России насчитывается 247 рабочих дней и 118 выходных и праздников. Некоторое количество транспортных средств осуществляет перевозку льготных пассажиров, поэтому ниже также представлены расчеты для коммерческого и льготного транспорта.

Таблица 2

Данные по пассажиропотоку на маршрутах города Курска

Номер маршрута	Пассажиропоток, пасс.	Государственный номер автомобиля, на котором проводилось исследование	Дата исследования
80	621	ПАЗ Е086УН	07.11.2017г.
89	730	ПАЗ Н133СН	19.12.2017г.
98	711	ПАЗ Н676ВО	11.02.2018г.
58	684	ПАЗ Н696РМ	20.03.2018г.
85	840	ПАЗ М133УТ	18.05.2018г.

Количество выездов на линию для всего парка подвижного состава коммерческих автомобилей в течение года составляет 62701 автомобиле–дней; количество выездов на линию для всего парка подвижного состава льготных автомобилей в течение года соответственно 1954 автомобиле–дней.

Автомобили марки ПАЗ осуществляют перевозку пассажиров по коммерческому маршрутному тарифу – 18 рублей за взрослого человека, льготный про-

езд составляет 15 рублей. Таким образом, годовой усредненный доход от осуществления перевозочной деятельности составляет 830234376 руб.

Для того, чтобы рассчитать расходы, мы рассчитали годовой пробег каждого автомобиля. Для этого использовали данные о протяженности маршрутов, представленные в таблице 3.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 3

Данные по протяженности маршрутов в г. Курске

Номер маршрута	80	89	98	58	85
Длина маршрута в прямом направлении, км	12,9	24,9	15,6	18,8	7,6
Длина маршрута в обратном направлении, км	11,8	24,4	15,1	19,4	8,4
Нулевой пробег, км	5,6/10,3	12,9/8,4	8,3/8,9	6,2	5,5

Таблица 4

Данные по пробегу транспортных средств на маршрутах в г. Курске

Номер маршрута	80	89	98	58	85
Пробег ТС за оборот, км	24,7	49,3	30,7	38,2	16
Количество рейсов в прямом направлении	10	5	7	6	9
Количество рейсов в обратном направлении	9	4	6	6	9
Нулевой пробег, км	15,9	21,3	17,2	12,4	11

В таблице 5 приведены данные по суточному пробегу транспортного средства на маршруте.

Для того, чтобы определить срок окупаемости внедрения датчиков пассажиропотока, нами были приведены рас-

четы затрат на перевозку, результаты которых представлены на рисунке 3.

Сумма затрат на осуществление пассажирских перевозок всем подвижным составом марки ПАЗ равна 541781318 руб.

Таблица 5

Данные по суточному пробегу транспортных средств на маршрутах в г. Курске

Номер маршрута	80	89	98	58	85
Пробег ТС на маршруте в прямом направлении, км	129	124,5	109,2	112,8	68,4
Пробег ТС на маршруте в обратном направлении, км	106,2	97,6	90,6	116,4	75,6
Общий пробег ТС на маршруте, км	235,2	222,1	199,8	229,2	144
Общий пробег ТС за смену	251,1	243,4	217	241,6	155

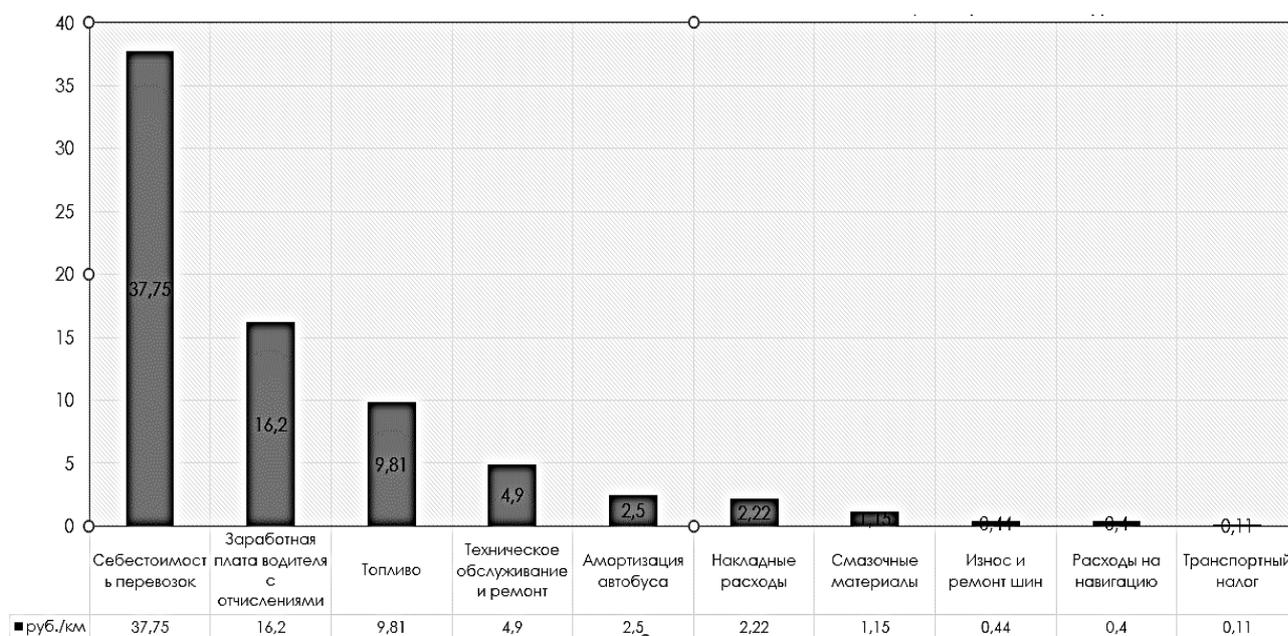


Рис. 3. Затраты на осуществление пассажирских перевозок для автомобиля ПАЗ–32053 в условиях г. Курска

Имея данные по расходам и доходам, мы рассчитали прибыль, которая в нашем случае равна 288453058 руб.

Далее мы рассчитали доходы от введения новой системы налогообложения: 43267958,7 руб.

Чтобы найти срок окупаемости нововведения, нам понадобилось выяснить месячную прибыль по отношению к ста-

рой системе налогообложения, она составила 3074572 руб.

Таким образом, опираясь на данные расчетов, срок окупаемости установки приборов составит $\text{ток} = 4811400/4276460 = 1,5$ мес.

По результатам расчетов, мы можем заметить, что внедрение датчиков пассажиропотока и новой системы налогооб-

ложения позволит привнести в государственный бюджет дополнительные денежные средства. Срок окупаемости нововведений составит от 1,5 до 2 месяцев.

Погрешность датчиков, заявленная изготовителем, находится в пределах от 3–5%, однако исследование, проводимое Московской транспортной компанией

«ВЕЛЕС» в течение 5 месяцев, показало погрешность – 6%. Возьмем погрешность, равную 6%, и будем определять её в пользу перевозчика, и делать поправки на неё.

В таблице 6 представлены результаты внедрения датчиков пассажиропотока и новой системы налогообложения.

Таблица 6

Результаты внедрения датчиков пассажиропотока и новой системы налогообложения

	Ед. изм.	Единый налог на вмененный доход в год	Упрощенная система налогообложения	Подходный налог с предприятий в год с учетом погрешности 6 %
Доходы	руб.	830234376	830234376	780420313,44
Расходы	руб.	540346135,95	541781318	541781318
Прибыль предприятия + налог	руб.	289888241	283641658	238638995,44
Налоговые отчисления	руб.	6373092,96	43267958,7	40671881,17
Срок окупаемости вложений	мес.	–	1,5	2

В результате расчетов, приведенных в таблице 6, мы можем сделать вывод о том, что срок окупаемости датчиков пассажиропотока составит 1,5 месяца. Однако учтенная нами погрешность в 6% увеличивает срок окупаемости до 2 месяцев.

Заключение

Таким образом, внедрение датчиков пассажиропотока на автомобили марки ПАЗ–32053, ПАЗ–3206 позволит увеличить поступление денежных средств в муниципальный бюджет, улучшить качество обслуживания пассажиров, увеличить заинтересованность водителей в соблюдении графика движения и увеличении числа перевозимых пассажиров как в дневное, так и в вечернее время.

Список литературы

1. Кошелев А.В. Физические принципы работы GPS/ГЛОНАСС. Новосибирск: СГГА, 2009. 110 с.
2. Афраймович Э.Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ РБХ ВСНЦ СО РАМН, 2014. 479 с.
3. Бонч-Бруевич А.М. Системы спутниковой связи. М.: Радио и связь, 1992. 552 с.
4. Одуан К.И. Измерение времени основы GPS. М.: Техносфера, 2012. 332 с.
5. Никитенко Ю.И. Глобальная спутниковая радионавигационная система «НАВСТАР». М.: В/О Мортехинформреклама, 2009. 103 с.
6. Геннике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы опре-

деления местоположения и их применение в геодезии. М., 2014. 564 с.

7. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: Картогеоцентр, 2005. 333 с.

8. Лахова Е.В. Пассажирские перевозки. Курск, 2007. 156 с.

9. Миротин Л.Б. Логистика: общественный пассажирский транспорт. М.: Экзамен, 2003. 224 с.

10. Аппаратура спутниковой навигации ГЛОНАСС / В.Г. Лялевич, А.А. Рогожин [и др.]. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2012. 74 с.

11. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 7 марта 1995 г. N 239 «О мерах по упорядочению государственного регулирования цен (тарифов)» [Электронный ресурс]: проект Постановления Правительства РФ от 08.02.2018. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». (09.05.2018г.).

12. Зог Ж.М. Основы спутниковой навигации. М.: U-BLOX, 2007. 132 с.

13. Мищенко В.Н. Системы спутниковой навигации. М.: БГУИР, 2011. 56 с.

14. Функции геоинформационной системы, предназначенной для мониторинга, управления и планирования [Электронный ресурс]. URL: <http://dereksiz.org/analiz-blizosti--1-prostranstvenno-analiticheskaya-operaciya-o.html>, свободный (09.03.2018г.).

15. Липкин И.А. Спутниковые навигационные системы. М., 2016. 348 с.

16. Официальный сайт информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.glonass-iac.ru/GPS/rtgps.php>, свободный (12.05.2018г.).

17. Налоговый кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральное Собрание от 01.01.2018 г. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (20.04.2018г.).

18. Пассажирские автомобильные перевозки / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. М.: Горячая линия: Телеком, 2004. 448 с.

19. Королев М.С. Диспетчеризация трамвайного сообщения в городе Курске // Проблемы фундаментальной и прикладной информатики в управлении, автоматизации и мехатронике: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2017. 142 с.

20. Агеев, Е.В. Теоретические и нормативные основы технической эксплуатации автомобилей. Курск, 2008. 195 с.

21. Агеев Е.В. Технология технического обслуживания и ремонта автомобилей. Курск, 2008. 216 с.

22. Агеев Е.В. Управление производством и материально-техническое обеспечение на автомобильном транспорте. Курск, 2008. 174 с.

23. Агеев Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. Курск, 2008. 212 с.

24. Оптимизация складского хозяйства предприятий автомобильного транспорта использованием игровых методов / Е.В. Агеева, С.В. Пикалов, И.П. Емельянов, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 1 (14). С. 21-28.

25. Исследование взаимосвязей коэффициента технической готовности с организацией технического обслужива-

ния и ремонта автомобилей / Е.В. Агеева, С.В. Пикалов, И.П. Емельянов, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государ-

ственного университета. 2015. № 1 (58). С. 36-43.

Поступила в редакцию 17.09.18

UDC 656.132

E. V. Ageeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

A.I. Pyhtin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: sephiroth@mail.ru)

M. S. Korolev, Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let OKtyabrya Str., 94) (e-mail: korolev37-31-72@mail.ru)

THE INTRODUCTION OF SENSORS IN PASSENGER TRAFFIC FOR PASSENGER ROAD TRANSPORT IN THE CITY OF KURSK

In Kursk, the processing of navigation data is engaged in MUP "CDS Gor. Kursk", this company installs on vehicles navigation equipment of the following type: GalileoSky, Autograph-GSM, as well as Navigator with intercom Granite 2.07.

The introduction of transport monitoring technology helps to improve the quality of service. The expansion of the functionality of the terminal in transport is currently quite large and it is achieved through the installation of additional sensors. Large companies for the production of GLONASS / GPS equipment such as "Gurtam", "TC automation", "Autograph" and other in addition to navigation equipment are ready to provide dozens of sensors that complement the standard monitoring terminals and contribute to the improvement of transport.

The purpose of this work was the introduction of sensors of passenger traffic for passenger transport by road in Kursk.

The paper presents the current in the city of Kursk scheme of control over the movement of urban passenger transport. The prospects of development of the existing system of transport control are described. On the basis of activity of the enterprise MUP "CDS mountains. Kursk" presented navigation devices operated on urban passenger transport, and compared two types of sensors of passenger traffic, as well as the calculation of the cost of equipping the entire rolling stock of cars brand PAZ in the city of Kursk sensors of passenger traffic, describes their advantages and mechanisms for profit. the results of the calculation of the cost of transportation, proposed a new system of taxation based on the data of the sensors of passenger traffic, which will increase the flow of funds to the municipal budget, and the calculation of the payback period of the introduction of innovations.

Key words: GPS / GLONASS; passenger flow sensors; passenger transportation; dispatching; rolling stock; terminal; software.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-36-46

For citation: Ageeva E. V., Pyhtin A.I., Korolev M. S. The Introduction of Sensors in Passenger Traffic for Passenger Road Transport in the City of Kursk. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 36-46 (in Russ.).

Reference

1. Koshelev A.V. Fizicheskie principy raboty GPS/GLONASS. Novosibirsk, SGGA Publ., 2009, 110 p.
2. Afrajmovich E.L. GPS-monitoring verxnej atmosfery Zemli. Irkutsk, 2014, 479 p.
3. Bonch-Bruevich A.M. Sistemy sputnikovoj svyazi, Moscow, Radio i svyaz Publ., 1992, 552 p.
4. Oduan K.I. Izmerenie vremeni osnovy GPS. Moscow, Texnosfera Publ., 2012, 332 p.

5. Nikitenko Yu.I. Globalnaya sputnikovaya radionavigacionnaya sistema "NAVSTAR". Moscow, 2009, 103 p.
6. Gennike A.A., Pobedinskij G.G. Globalnye sputnikovyе sistemy opredeleniya mestopolozheniya i ix primenenie v geodezii. Moscow, 2014, 564 p.
7. Antonovich. K.M. Ispolzovanie sputnikovyx radionavigacionnyx sistem v geodezii. Moscow, 2005, 333 p.
8. Laxova E.V. Passazhirskie perevozki. Kursk, 2007, 156 p.
9. Mirotin L.B. Logistika: obshhestvennyj passazhirskij transport. Moscow, Ekzamen Publ., 2003, 224 p.
10. Lyalevich V.G., Rogozhin A.A. i dr. Apparatura sputnikovoj navigacii GLONASS Voronezh, 2012, 74 p.
11. O vnesenii izmenenij v postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 7 marta 1995 g. N 239 «O merax po uporyadocheniyu gosudarstvennogo regulirovaniya cen (tarifov). Proekt Postanovleniya Pravitelstva RF ot 08.02.2018. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPljus» (09.05.2018 g.).
12. Zog Zh.M. Osnovy sputnikovoj navigacii. Moscow, 2007, 132 p.
13. Mishhenko V.N. Sistemy sputnikovoj navigacii, Moscow, BGUIR Publ., 2011, 56 p.
14. Funkcii geoinformacionnaya sistema, prednaznachennaya dlya monitoringa, upravleniya i planirovaniya. URL: <http://dereksiz.org/analiz-blizosti--1-prostranstvenno-analiticheskaya-operaciya-o.html>, svobodnyj (09.03.2018g.).
15. Lipkin I.A. Sputnikovyе navigacionnye sistemy. Moscow, 2016, 348 p.
16. Oficialnyj sajt informacionno-analiticheskogo centra koordinatno-vremennogo i navigacionnogo obespecheniya. URL: <https://www.glonass-iac.ru/GPS/rtgps.php>, svobodnyj (12.05.2018g.).
17. Nalogovyj kodeks Rossijskoj Federacii. Federalnoe Sobranie ot 01.01.2018 g. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant» (20.04.2018g.).
18. Gudkov V.A., Mirotin L.B., Velmozhin A.V., Shiryaev S.A. Passazhirskie avtomobilnye perevozki. Moscow, 2004, 448 p.
19. Korolev M.S. Dispetcherizaciya tramvajnogo soobshheniya v gorode Kurske. Problemy fundamentalnoj i prikladnoj informatiki v upravlenii, avtomatizacii i mexatronike. Sbornik nauchnyx trudov Mezhduнародnoj nauchno-texnicheskoy konferencii. Kursk, 2017, 142 p.
20. Ageev E.V. Teoreticheskie i normativnye osnovy texnicheskoy eksploatacii avtomobilej. Kursk, 2008, 195 p.
21. Ageev E.V. Texnologiya texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej. Kursk, 2008. 216 p.
22. Ageev E.V. Upravlenie proizvodstvom i materialno-texnicheskoe obespechenie na avtomobilnom transporte. Kursk, 2008, 174 p.
23. Ageev E.V. Osobyе usloviya texnicheskoy eksploatacii i ekologicheskaya bezopasnost avtomobilej. Kursk, 2008, 212 p.
24. Ageeva E.V., Pikalov S.V., Emeljanov I.P., Ageev E.V. Optimizaciya skladского хozyajstva predpriyatij avtomobilnogo transporta ispolzovaniem igrovyx metodov. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2015, no. 1 (14), pp. 21-28.
25. Ageeva E.V., Pikalov S.V., Emeljanov I.P., Ageev E.V. Issledovanie vzaimosvyazej koefficienta texnicheskoy gotovnosti s organizaciej texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 1 (58), pp. 36-43.

УДК 624.07

Г.А. Смоляго, д-р техн. наук, профессор, БГТУ им. В.Г. Шухова (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail: tpk-psv@yandex.ru)

Н.В. Фролов, аспирант, БГТУ им. В.Г. Шухова (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail: frolov_pgs@mail.ru)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК НАРУЖНЫХ НЕСУЩИХ СТЕН ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

До сих пор в строительных нормативных документах отсутствует методика оценки остаточного ресурса железобетонных конструкций. Объясняется это тем, что разработанные методики не позволяют в полной мере комплексно учитывать многие факторы, связанные с длительной эксплуатацией конструктивных элементов: происходит изменение нагрузок как по величине, так и по режиму и направленности действия, возможны не предусмотренные проектом технологические воздействия, проявляются и накапливаются коррозионные повреждения, изменяются первоначальные деформативно-прочностные свойства бетона и арматуры. При решении данной проблемы отмечается важность результатов натурных обследований и испытаний конструкций, работа которых под нагрузкой осуществлялась в условиях реальной окружающей среды. Разработка, апробация и включение в нормативные документы комплексных инженерных методов прогнозирования и методик расчетной оценки остаточного ресурса железобетонных конструкций является актуальной научной задачей, стоящей перед исследователями в области строительства. Создание современной практической методики позволит повысить конструктивную безопасность при длительной эксплуатации объектов инфраструктуры, и даст возможность более эффективно управлять капиталовложениями на рынке недвижимости. В данной статье представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований сборных железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания. Описан характер деформирования образцов вплоть до разрушения при контрольных испытаниях на статический изгиб. Приведены обнаруженные дефекты изготовления и накопленные за время эксплуатации коррозионные повреждения материалов, указана степень их влияния на работу конструкций. Отмечено, что при производстве железобетонных конструкций необходимо повышать уровень контроля качества изготовления арматурных каркасов и обеспечивать их проектное положение при бетонировании.

Ключевые слова: железобетонная перемычка; экспериментальное исследование; остаточный ресурс; испытание на изгиб; разрушение.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-47-57

Ссылка для цитирования: Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Экспериментальные исследования конструкций сборных железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 47-57.

Введение

На сегодняшний день в практике строительства отсутствует единый стандартный подход к оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций. Разработанные до этого методики при расчетах приводят к многофакторной неопределенности, поскольку не позволяют в

полной мере совместно учесть свойства материалов, особенности и дефекты конструкций, их напряженно-деформированное состояние, а также воздействие окружающей среды [1-3].

При длительной эксплуатации происходит изменение нагрузок как по величине, так и по режиму и направленности действия, возможны не предусмотренные

проектом технологические воздействия, проявляются и накапливаются коррозионные повреждения, изменяются первоначальные свойства бетона и арматуры. Кроме того, в отдельных случаях силовые и коррозионные повреждения связей и соединений приводят к изменению расчетно-статических схем сооружений [4].

Разработка, апробация и включение в нормативные документы комплексных инженерных методов прогнозирования и методик расчетной оценки остаточного ресурса железобетонных конструкций является актуальной научной задачей, стоящей перед исследователями в области строительства, поскольку значительная часть зданий и сооружений из железобетона возведена еще 60-80 лет назад и находится в изношенном состоянии. Как справедливо отмечено в работах [5, 6], создание современной практической методики позволит повысить конструктивную безопасность при длительной эксплуатации объектов инфраструктуры, и даст возможность более эффективно управлять капиталовложениями на рынке недвижимости.

По мнению авторов, в научных исследованиях по разработке методики расчета остаточного ресурса определяющую роль должны играть результаты натуральных обследований и испытаний конструкций, работа которых под нагрузкой осуществляется в реальных условиях внешней и внутренней среды. В связи с этим, в программу диссертационных исследований [2], были включены контрольные испытания нагружением до разрушения нескольких серий изгибаемых элементов, полученных в ходе ликвидаций зданий различного функционального назначения Белгородской области. В частности, в данной статье приводятся сводный отчет по экспериментальным

исследованиям конструкций железобетонных перемычек общественного здания.

Основная часть

Исследуемые железобетонные перемычки являлись сборными конструктивными элементами наружных несущих стен 4-этажного здания родильного дома, расположенного в Восточном административном округе города Белгород по ул. Некрасова, д. 28. По архивным записям выявлено, что на постоянной основе в качестве медицинского учреждения здание использовалось с 1984 г., а до этого как общественное. Период возведения относится к 60-м годам XX века.

По степени воздействия на конструкции среда помещений рассматриваемого здания определена как неагрессивная с нормальной относительной влажностью воздуха.

Конструктивная система здания – стеновая, с продольными и поперечными несущими стенами из кирпича. Перекрытия были выполнены из сборных многопустотных железобетонных плит.

Решение о сносе здания и возведении на его месте многоквартирного жилого дома было принято в 2015 г. Демонтаж конструкций производился в 2015-2016 гг. в щадящем режиме, ввиду развитой вокруг жилой застройки. Поэтому, после демонтажа все перемычки имели хорошую целостность.

По маркировочным надписям на торцовых поверхностях перемычек установлено, что они были изготовлены в 1966 г. по ГОСТ 948-58 типа БУ (несущие нагрузку от собственного веса, от кладки над ними, от междуэтажных перекрытий и других элементов здания). Таким образом, на момент испытаний возраст железобетонных перемычек составил 52 года.

Общее количество образцов перемычек, отобранных для исследований, составило 7 штук (рис 1, а), поделенных в зависимости от длины l на 3 серии: 1-я серия – 3 образца длиной 1800 мм; 2-я серия – 3 образца длиной 1600 мм; 3-я серия – 1 образец длиной 1400 мм. Проектные размеры поперечных сечений всех образцов 120x220 мм (bхh). Проектная прочность бетона на сжатие соответствует классу В12,5.

В процессе подготовки к испытаниям поверхности перемычек были очищены, осмотрены, а затем покрыты известковым раствором для лучшей визуализации раскрытия и развития трещин; замерены фактические размеры поперечных сечений образцов; с помощью склерометра «ОНИКС-2.3» неразрушающим методом определена фактическая прочность бетона на сжатие и его соответствующий класс. Стоит отметить, разброс значений поверхностной прочности находился в узком диапазоне измерений (\pm ступень класса), что свидетельствует об однородности бетонной матрицы конструкций.

Внешний визуальный и инструментальный осмотр очищенных от слоев штукатурки, пыли и грязи образцов позволил зафиксировать: искривление поверхностей и ребер до 5 мм на всю длину перемычек; местные наплывы и неровности бетона высотой до 10 мм; сколы ребер шириной до 15 мм, длиной до 40 мм; раковины диаметром до 10 мм и глубиной до 5 мм в количестве не более 3 шт. на 1 пог. м. Остаточный прогиб у всех перемычек составил до 1,0 мм. Остаточные трещины в середине пролета не обнаружены либо находились в закрытом состоянии.

Армирование перемычек произведено плоскими сварными каркасами, изготовленными из горячекатаной стали по ГОСТ 5781-61. Продольная растянутая

арматура класса АШ (А400). Продольная сжатая и поперечная арматура класса АІ (А240). Шаг поперечных стержней в средних четвертях пролета 200 мм, в крайних 100 мм.

Данные по принятой маркировке образцов и подробная информация об армировании и размерах сечений приведены в таблице 1.

Для получения наибольшего объема информации железобетонные перемычки были испытаны кратковременной нагрузкой на статический изгиб вплоть до разрушения в соответствии с основными положениями ГОСТ 8829. Хотя в последнее время находят применение и другие методы испытаний изгибаемых элементов [7, 8].

Схема опирания и нагружения образцов при испытаниях – однопролетная балка, свободно опертая по двум сторонам (расстояние между осями опор l_0) и симметрично нагруженная двумя сосредоточенными силами с образованием в пролете зоны чистого изгиба длиной 250-300 мм.

Нагружение образцов осуществлялось ступенчато (до 10-15% от разрушающей нагрузки) с выдержкой на каждом этапе по 10-15 минут при помощи испытательной гидромеханической установки, показанной на рис. 1, б. Прогиб в середине пролета фиксировался прогибомером 6-ПАО-0,01, на опорах индикаторами часового типа ИЧ-10. Относительные деформации сжатого и растянутого бетона в зоне чистого изгиба определялись с использованием многооборотных индикаторных головок МИГ-1 на базе 200 мм, закрепленных по обеим сторонам перемычек. Ширина раскрытия трещин измерялась микроскопом МПБ-2, высота их развития – металлической линейкой. Результаты испытаний всех образцов железобетонных перемычек на изгиб после аналитической обработки сведены в таблицу 2.

Таблица 1

Информация по исследуемым образцам перемычек

№ серии образцов перемычек / Марка по ГОСТ 948-58	Маркировка образца при испытаниях	Поперечное сечение образца	Фактический класс бетона по прочности на сжатие в середине пролета
1 / БУ 18	ПБ-1,8-1		B20
	ПБ-1,8-2		B20
	ПБ-1,8-3		B20
2 / БУ 16	ПБ-1,6-1		B15
	ПБ-1,6-2		B15
	ПБ-1,6-3		B15
3 / БУ 14	ПБ-1,4-1		B15



Рис. 1. Исследуемые перемычки (а) и общий вид их испытаний (б)

Таблица 2

Основные результаты исследований железобетонных перемычек

Исследуемый параметр	1 серия образцов перемычек			2 серия образцов перемычек			3 серия образцов перемычек
	ПБ-1,8-1	ПБ-1,8-2	ПБ-1,8-3	ПБ-1,6-1	ПБ-1,6-2	ПБ-1,6-3	ПБ-1,4-1
Разрушающая нагрузка $R_{разр}$, кН	56,25	73,75	76,88	97,50	93,75	55,63	81,25
Контрольная разрушающая нагрузка $R_{контр}$ по ГОСТ 948-58, кН	84,60			71,40			45,10
Изгиб. момент при разрушении M_{max} , кН·м	16,88	22,13	23,06	25,83	24,84	14,74	19,29
Расчетный изгиб. момент $M_{расч}$ по ГОСТ 948-58, кН·м	12,10			9,80			5,30
Расчетная поперечная $Q_{расч}$ сила по ГОСТ 948-58, кН	33,00			27,00			19,00
Трещиностойкость $M_{срс}$, кН·м	3,56	3,75	3,91	4,31	3,41	2,75	4,14
Изгиб. момент при ширине раскрытия трещины $a_{срс}=0,3$ мм, кН·м	15,94	18,94	19,68	22,19	21,20	9,44	18,70
Прогиб при разрушении f_{ult} , мм	11,12	10,04	10,62	8,45	8,65	7,59	7,58
Прогиб при $0,7 \cdot M_{max}$, мм	4,98	4,67	4,74	3,75	3,55	3,84	2,57
Высота развития нормальных трещин, мм	130-160	130-160	140-150	140-170	120-160	150-180	120-150
Кол-во трещин в пролете, шт.	10	10	9	10	8	8	6
Расстояние между трещинами, мм	50-170	60-170	90-180	70-150	80-160	70-160	40-120

Характер трещинообразования и разрушения образцов перемычек показан на рис. 2.

В ходе испытаний установлено, что у железобетонных перемычек в растянутой зоне первые нормальные трещины появлялись при нагрузках равных 13,7-21,4%

от разрушающей, наклонные при нагрузках 45,7 – 61,2 % от разрушающей. При дальнейшем нагружении все образцы 1-й и 3-й серий разрушились по нормальным сечениям, при этом наблюдался выкол бетона на сжатой зоне (разрушение по бетону).



Рис. 2. Характер трещинообразования и разрушения образцов перемычек (масштаб изменен)

Образцы 2-й серии разрушились по наклонным сечениям, что также происходило в схожих исследованиях [9]. У всех рассматриваемых изгибаемых элементов было зафиксировано от 6 до 10

трещин на расстоянии 40-180 мм друг от друга. Значения прогибов в середине пролета при нагрузке равной разрушающей находилось в диапазоне (1/134-1/177) l_0 .

Как видно из табл. 1 фактическая разрушающая нагрузка образцов перемычек марок ПБ-1,6-1, ПБ-1,6-2 и ПБ-1,4-1 выше (на 31,3-80,2%) соответствующего контрольного значения, регламентируемого ГОСТ 948-58; у всех остальных образцов $R_{\text{разр}}$ ниже $R_{\text{контр}}$ (на 9,1-33,5%), что может быть связано с выявленными дефектами армирования: перемычки марок ПБ-1,8-2, ПБ-1,8-3 и ПБ-1,6-3 имеют смещения растянутых арматурных стержней от центральной оси поперечного сечения к боковой грани, что на высоких этапах нагружения приводило к косому изгибу образцов; у перемычки ПБ-1,8-1 номинальный диаметр растянутого стержня равен 16 мм, когда у других образцов этой серии имеет величину 18 мм.

Значение расчетного изгибающего момента по ГОСТ 948-58 во всех случаях ниже (в 1,40-3,64 раза) фактического значения изгибающего момента при разрушении перемычек (M_{max}). Аналогичная ситуация, за исключением образца ПБ-1,8-1, наблюдается со значением расчетной поперечной силы (значение поперечной силы, которую воспринимает образец при принятой схеме приложения нагрузок равно $0,5 R_{\text{разр}}$). При этом, если сравнивать значение расчетного изгибающего момента со значением изгибающего момента, возникающего при предельно допустимой ширине продолжительного раскрытия трещин равной 0,3 мм, у всех образцов, за исключением ПБ-1,6-3, есть запас прочности (24,1-71,6 %).

Прогибы от действия изгибающего момента равного $0,7 \cdot M_{\text{max}}$ для всех образцов не превышают предельно допустимых значений ($l_0/150$).

После испытаний железобетонных перемычек на статический изгиб до разрушения, были дополнительно исследо-

ваны бетон и стержни растянутой арматуры.

Индикаторным методом с применением 1%-го раствора фенолфталеина определена величина водородного показателя pH бетона. Установлено, что наименьшей щелочной средой обладают наружные слои бетона, особенно на границах контакта с растянутой арматурой, где $\text{pH} \approx 10$, что свидетельствует о частичной нейтрализации защитного слоя углекислым газом CO_2 по причине длительной эксплуатации перемычек на границе сред помещений и наружной атмосферы [10]. Величина защитного слоя растянутой арматуры у всех образцов равна 10 мм, вместо проектного значения 20 мм.

Продольные арматурные стержни нижней зоны перемычек были извлечены из бетона, обследованы и испытаны на осевое растяжение до разрыва на специализированной машине WEW-600D (рис. 3). Зафиксированы локальные коррозионные повреждения арматурной стали глубиной до 0,4 мм на силовом стержне и до 0,6 мм на ребрах и выступах. По ГОСТ 5781-61 для класса арматурной стали АШ (А400) устанавливаются следующие механические характеристики: предел текучести 400 МПа, временное сопротивление разрыву 600 МПа, а относительное удлинение при этом составляет 14%. Фактические диаграммы деформирования представлены на рис. 4. Как видно, у растянутых арматурных стержней перемычек 1-й и 3-й серий отсутствует площадка текучести, что, скорее всего, в большей степени связано с охрупчиванием стали при сварке арматурных каркасов, нежели со старением в результате длительной эксплуатации. Это же могло приводить к серьезному уменьшению величины отно-

сительного удлинения при разрыве. По прочностным показателям арматурные стержни всех перемычек, за исключением

ПБ-1,4-1, удовлетворяют стандартным требованиям.

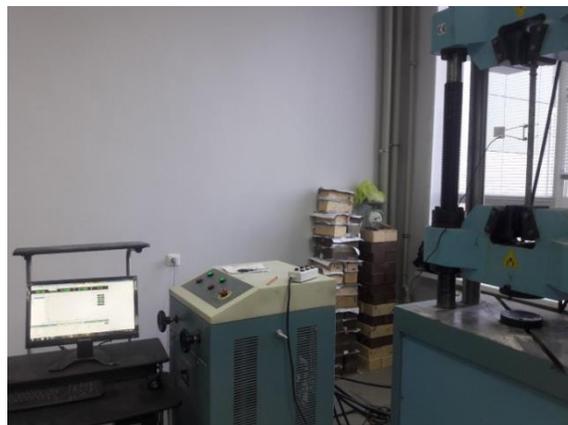


Рис. 3. Процессы извлечения и испытания арматурных стержней на осевое растяжение

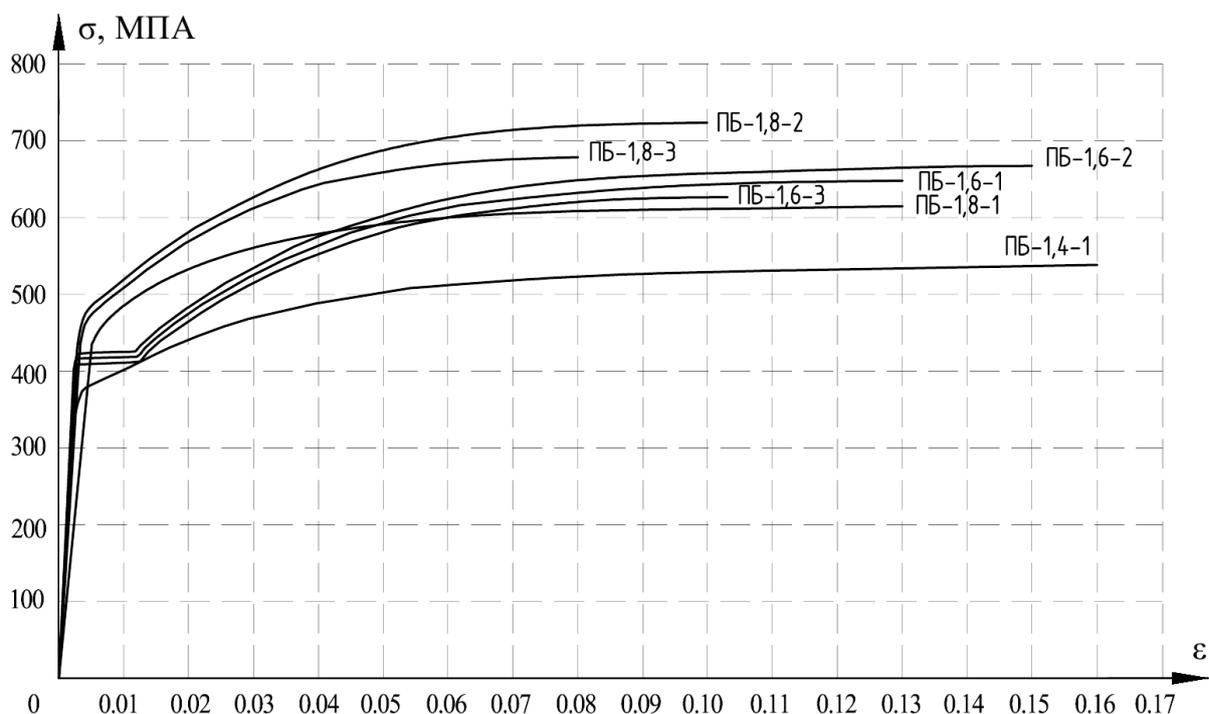


Рис. 4. Диаграммы деформирования стержней растянутой арматуры

Выводы и заключения

Дефекты изготовления железобетонных перемычек в заводских условиях в виде непроектного положения стержней растянутой арматуры и уменьшения ее содержания в поперечном сечении элемента приводят к снижению прочности,

трещиностойкости и жесткости конструкций [9, 11, 12].

Уменьшение защитного бетонного слоя рабочей арматуры и его дальнейшая нейтрализация в процессе длительной эксплуатации конструкций приводит к развитию коррозионных повреждений арматурной стали. Такие повреждения,

накопленные за 52 года, не оказали существенного влияния на работу под нагрузкой конструкций железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания.

Список литературы

1. Селяев В.П., Бондаренко В.М., Селяев П.В. Прогнозирование ресурса железобетонных изгибаемых элементов, работающих в агрессивной среде, по первой стадии предельных состояний // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2 (31). С. 14-24.

2. Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Методика и программа проведения экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных элементов при силовом и средовом воздействии // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 135-138.

3. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен): монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 424 с.

4. Гоциридзе Г.П. К оценке конструктивной безопасности эксплуатируемых конструкций из железобетона // Вестник научных конференций. 2017. № 5-4 (21). С. 33-37.

5. Петров А.В., Еремеева А.И. Техническое состояние конструкций обследуемых зданий и сооружений. Расчет остаточного ресурса // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов . 2015. № 6. С. 76-79.

6. Колчунов В.И. Теория и практика создания ресурсно-энергосберегающих

железобетонных конструктивных систем жилых и общественных зданий массового строительства с заданным уровнем конструктивной безопасности // Бетон и железобетон - взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 т. М., 2014. С. 68-80.

7. Абашин Е.Г. Экспериментальные исследования железобетонных перемычек типа 2ПБ26-4 вибрационными методами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 53-57.

8. Колчунов В.И., Калашникова О.В. Контроль жесткости конструкций балочного типа, изготовленных из физически нелинейного материала // Строительство и реконструкция. 2013. № 6 (50). С. 21-27.

9. Жильцов Ю.В. Результаты испытаний перемычек нагруженных двумя сосредоточенными силами // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015. С. 121-125.

10. Мигунов В.Н., Овчинников И.Г. Теоретические и экспериментальные исследования влияния трещин в защитном слое бетона на физико-технические характеристики изгибаемых, центрально-сжатых и внецентренно-сжатых обычных железобетонных элементов // Дороги и мосты. 2011. № 25. С. 181.

11. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами // Современные проблемы

расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия / под ред. А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. М., 2016. С. 507-514.

12. Тамразян А.Г., Орлова М.А. К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 32-34.

Поступила в редакцию 20.08.18

UDC 624.07

G.A. Smolyago, Doctor of Engineering Sciences, Professor, BSTU named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Str., 46) (e-mail: tpk-psv@yandex.ru)

N.V. Frolov, Post-Graduate Student, BSTU named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Str., 46) (e-mail: frolov_pgs@mail.ru)

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS OF CIVIL BUILDING EXTERNAL WALLS

The relevant building codes don't contain methods of calculation of remaining life of reinforced concrete structures. The explanation is that developed methods don't allow to consider many factors concerned with durable exploitation of structural elements: changing loads occurs both in amount and mode and direction of the influence, technological impacts not foreseen by the project are possible, corrosive damages occur and accumulate, the initial deformation-strength properties of concrete and reinforcement are changed. To solve this problem it's important to test the structures, that suffered from real environment conditions. Development, approbation and inclusion of complex engineering methods of forecasting and methods of estimation of the residual life of reinforced concrete structures in normative documents is an actual scientific task facing the researchers in the field of construction. The creation of a modern practical methodology will increase constructive safety in the long-term operation of infrastructure facilities, and will provide an opportunity to more effectively manage capital investments in the real estate market. The results of the experimental investigations of reinforced concrete beams of civil building external walls are given in the article. The deformation mode of the specimens until their rupture is described. Manufacturing defects, exploitation corrosion damages and their influence on stress-strain condition of structures are presented. It is noted that in the manufacture of reinforced concrete structures it is necessary to increase the level of quality control of the manufacture of reinforcing frames and to ensure their project position when concreting.

Key words: reinforced concrete beam; experiment; remaining life; bending test; rupture.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-47-57

For citation: Smolyago G.A., Frolov N.V. Experimental Investigations of Reinforced Concrete Beams of Civil Building External Walls. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 47-57 (in Russ.).

Reference

1. Selyayev V.P., Bondarenko V.M., Selyayev P.V. Prognozirovaniye resursa zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov, rabotayushchikh v agressivnoy srede, po

pervoy stadii predel'nykh sostoyaniy. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*, 2017, no. 2 (31), pp. 14-24.

2. Smolyago G.A., Frolov N.V. Metodika i programma provedeniya eksperimental'nykh issledovaniy izgibayemykh

zhelezobetonnykh elementov pri silovom i sredovom vozdeystvii. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya*, 2017, no. 1, pp. 135-138.

3. Pukhonto L.M. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruksiy inzhenernykh sooruzheniy: (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten). Moscow, ASV Publ., 2004, 424 p.

4. Gotsiridze G.P. K otsenke konstruktivnoy bezopasnosti ekspluatiruyemykh konstruksiy iz zhelezobetona. *Vestnik nauchnykh konferentsiy*, 2017, no. 5-4 (21), pp. 33-37.

5. Petrov A.V., Yeremeyeva A.I. Tekhnicheskoye sostoyaniye konstruksiy ob sleduyemykh zdaniy i sooruzheniy. Raschet ostatochnogo resursa. *Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob'yektov*, 2015, no. 6, pp. 76-79.

6. Kolchunov V.I. Teoriya i praktika sozdaniya resursno-energoberegayushchikh zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem zhilykh i obshchestvennykh zdaniy massovogo stroitel'stva s zadannym urovnem konstruktivnoy bezopasnosti. Beton i zhelezobeton - vzglyad v budushcheye. Nauchnyye trudy III Vserossiyskoy (II Mezhdunarodnoy) konferentsii po betonu i zhelezobetonu. Moscow, 2014, pp. 68-80.

7. Abashin EG Experimental studies of reinforced concrete bridges of 2PB26-4 type by vibrating methods. *Bulletin of the Belgo-*

rod State Technological University named after. V.G. Shukhov, 2016, no. 5, pp. 53-57.

8. Kolchunov V.I., Kalashnikova O.V. Control of stiffness of beam-type structures made of physically nonlinear material. *Construction and Reconstruction*, 2013, no. 6 (50), pp. 21-27.

9. Zhil'tsov YU.V. Rezul'taty ispytaniy peremyчек zagruzhennykh dvumya sosredotochennymi silami. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture*. Stroitel'stvo. Sbornik statey, ed. by Bal'zannikov M.I., Galitskov K.S., Popov V.P. Samara, 2015, pp. 121-125.

10. Migunov V.N., Ovchinnikov I.G. Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya vliyaniya treshchin v zashchitnom sloye betona na fiziko-tekhnicheskkiye kharakteristiki izgibayemykh, tsentral'noszhatykh i vnetsentrenno-szhatykh obychnykh zhelezobetonnykh elementov. *Dorogi i mosty*, 2011, no. 25, pp. 181.

11. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Eksperimental'nyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov s treshchinami. Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnyye vozdeystviya, ed. by Tamrazyan A.G., Kopanitsy D.G. Moscow, 2016, pp. 507-514.

12. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. K ostatochnoy nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinami. *Zhili-shchnoye stroitel'stvo*, 2015, no. 6, pp. 32-34.

Л.А. Ломова, канд. геогр. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: lomova-la@yandex.ru)

Н.А. Косинова, канд. геогр. наук, доцент, Курский государственный университет (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: nklind@mail.ru)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ ГОРОДА СУДЖА В РАЗРЕЗЕ СПЕЦИФИКИ ЛАНДШАФТА

Для апробации методики оценки земель выбран г. Суджа, который является представительным среди малых городов Курской области.

Основными источниками загрязнения земель на территории города Суджа являются промышленные предприятия и автотранспорт.

Нами были проведены исследования состояния почвы и аквальных комплексов с определением содержания тяжелых металлов: кадмия, цинка, никеля, свинца и хрома.

Как установлено, это содержание в воде реки Суджа неодинаково в разных частях города, то есть выше, в центре и ниже города. Наиболее загрязненной тяжелыми металлами является речная вода выше города. В его центре эти показатели снижаются, а ниже города – вновь повышаются. Это можно объяснить тем, что в центре города отсутствуют промышленные предприятия, а сброс загрязненных стоков в реку осуществляется выше или ниже города. В его окрестностях развито сельское хозяйство: растениеводство, АПК и садово-огородное хозяйство.

Концентрация тяжелых металлов в почве на второстепенных улицах выше, чем на главной. Хотя, казалось бы, что главная улица подвержена наибольшему антропогенному воздействию. Причиной этому является то, что промышленные предприятия не расположены в центре города, а находятся на его периферии.

Отмечается значительное накопление в почве тяжелых металлов в предшествующие годы. Так содержание никеля и свинца в почве превышает их накопление за зимний период в снежном покрове. Однако концентрация кадмия, цинка, хрома в снеге превышает его многолетние показатели содержания в почве.

В итоге, во время весеннего половодья вместе с талыми водами эти загрязняющие вещества перераспределяются: часть их остается в почве, другая – мигрирует в подземные воды, или с поверхностным стоком поступает в реки.

Ключевые слова: природные факторы; антропогенные факторы; земли; почва; водные ресурсы; загрязнители.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-58-65

Ссылка для цитирования: Ломова Л.А., Косинова Н.А. Оценка состояния земель города Суджа в разрезе специфики ландшафта // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 58-65.

Земельный фонд Курской области составляет 3 млн. га. На душу населения приходится 2,3 га земель, в том числе 1,9 га сельскохозяйственных угодий, из них 1,5 га пашни. Курская область характеризуется неблагоприятной, с экологической точки зрения, структурой сельскохозяйственных угодий.

В структуре посевных площадей рассматриваемой территории доминируют «почвонарушающие» культуры – зерновые и пропашные (около 70 % посевов). Удельный вес «почвоулучшающих»

культур – зернобобовых и многолетних трав – составляет около 10 % посевов. Такая структура сельскохозяйственных угодий способствует усилению линейной эрозии, дефляции и плоскостного смыва [1].

В Курской области выявлено 11,3 тыс.га сельскохозяйственных угодий, загрязненных пестицидами, в том числе 10,0 тыс.га пашни и 1,3 тыс.га многолетних насаждений, из них к умеренно опасной категории относятся 0,9 тыс.га пашни и 0,2 тыс. га многолетних насаждений.

Пестициды в настоящее время широко используются в качестве средств борьбы с вредителями культурных растений и поэтому могут находиться в почве в значительных количествах. По своей опасности для животных и человека они очень высоки. Именно по этой причине был запрещён для использования препарат ДДТ (дихлор-дифенил-трихлорметилметан), являющийся высокотоксичным соединением, обладающим значительной химической стойкостью, не разлагаясь в течение десятков лет. Пестициды губительно действуют на почвенную микрофлору: бактерии, грибы, водоросли.

Для апробации методики кадастровой оценки земель выбран г. Суджа, который является представительным среди малых городов Курской области [2].

Город Суджа образован в 1664 году. Он расположен на южной окраине Среднерусской возвышенности, на реках Суджа и Олешня (бассейн р. Днепра), в 139 км к юго-западу от г. Курска по шоссе, и в 105 км – по железной дороге, в 5 км от железнодорожной станции Суджа на линии Льгов-Готня. Площадь Суджи составляет 4,24 тыс. км², общая численность населения – 7,8 тыс., его плотность – 18,4 чел./га.

В трудоспособном возрасте находится 62,8% населения, а 18,6% – моложе и старше этого возраста. Число умерших почти в два раза превышает число родившихся. Поэтому естественный прирост отрицательный, то есть составляет – 43 человека. Миграционный прирост – 14 чел./год (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика населения города Суджа

Численность, тыс. чел.	Плотность, чел./га	Число родившихся, чел.	Число умерших, чел.	Естественный прирост, чел.	Миграционный прирост, чел.
7,8	18,4	68	111	-43	14

По природному районированию город Суджа входит в Юго-западный район. Он расположен на юго-западе Среднерусской возвышенности. Юго-западная часть города относится к Беловскому, а северо-восточная – к Медвенскому геоморфологическим районам. Глубина залегания кристаллического фундамента на большей части городской территории составляет 300 м. Основными рельефообразующими породами являются отложения мелового возраста, представленные песчаником мелом, кварцево-глауконитовыми песками с фосфоритами, а также песчанистыми мергелями, опоками и трепелами [3].

Характер рельефа города неоднороден. В основном это среднерасчлененные,

возвышенные и относительно пониженные пологоувалистые равнины. Средний коэффициент расчлененности территории города составляет 0,8 км/км². Однако в северной и южной его частях этот коэффициент достигает 1,3 км/км². При этом на севере города поверхность расчленена, в основном, овражно-балочной сетью, а на юге – больше долинами рек и ручьев и меньше – овражно-балочной сетью. Здесь много склоновых земель, крутизна которых возрастает от водораздела к долинам рек, ручьев и тальвегов балок. Такая сильная расчлененность явилась причиной проявления в районе характеризуемого города процессов водной эрозии.

Центральная часть города наиболее выровненная. Овражно-балочная сеть здесь

выражена незначительно, коэффициент расчлененности равен 0,4–0,7 км/км². Водораздельные пространства характеризуются пологими склонами (1–3°), меньше – покатыми (3–5°).

Балки и овраги в большинстве случаев относительно неглубоко врезаются (10–15 м), имеют крутизну склонов от 10° до 18°. В большинстве случаев они сильно разрушены плоскостной и ливневой эрозией.

Рельеф местности является, как известно, элементом природного ландшафта и оказывает на почвообразование прямое и косвенное влияние. Так, расчлененность территории обуславливает наличие больших площадей склоновых земель и проявление процессов водной эрозии [4].

Характеризуемый район отличается умеренным увлажнением. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет +5,9°С. Самым холодным месяцем является январь со среднемесячной температурой -7,9°С, самым жарким – июль с температурой +19,6°С. Среднегодовое количество атмосферных осадков, выпадающих в районе города, составляет 590 мм. Здесь преобладают западные, юго-западные и северо-западные ветры.

По периферии города с восточной стороны протекает река Суджа, которая относится к бассейну реки Псел. По характеру течения это река типично равнинного типа. У этой реки преобладает снеговое питание (50–55%), на долю грунтового приходится 30–35%, на питание дождевыми водами – лишь 10–20%. Потенциал самоочищения реки – недостаточный. Отмечается загрязнение речных вод коммунальными и промышленными стоками, сбрасываемыми в районе города в гидрографическую сеть.

Грунтовые воды верхнего четвертичного горизонта залегают на глубине от 10 до 300 см, часто они выходят на поверхность, способствуя формированию сильно увлажненных и болотных почв [5].

Основными водоносными горизонтами, используемыми для водоснабжения города, являются: сеноман-альбский горизонт, представленный песками, а также маастрихт-туронский горизонт, сложенный трещиноватыми мергелями и мелами верхнемелового возраста. Это пресные воды, имеющие гидрокарбонатно-кальциевый состав и минерализацию 0,5–1,0 г/л. В связи с плохой геологической защищенностью водоносных горизонтов, местами они загрязняются хлоридами, сульфатами, тяжелыми металлами, нефте-продуктами и некоторыми другими загрязнителями техногенного происхождения, а также нитритами, нитратами, аммиачными соединениями, образование которых связано с сельскохозяйственным производством [1]. Структура водопотребления – из подземных источников, водоотведения – в местную гидрографическую сеть.

При оценке состояния земель необходимо выявлять особенности структуры и механического состава почвенного покрова.

Для почв города Суджа почвообразующими породами являются четвертичные лессовидные суглинки, залегающие на водоразделах, аллювиальные отложения – в речных поймах и балках, а также мергели мелового возраста, которые обнажаются на крутых склонах. При этом наиболее распространенными являются лессовидные суглинки. Их мощность колеблется от 16 до 42 м. Эти суглинки содержат много извести в виде прожилок.

На водоразделах они подстилаются верхне-меловыми отложениями.

Механический состав почвообразующих пород, в основном, средне- и тяжелосуглинистый; иногда они легкосуглинистые и супесчаные [6].

На территории города Суджа преобладают черноземы выщелоченные и типичные. На востоке города некоторая часть городской территории занята темно-серыми лесными почвами и оподзоленными тяжелосуглинистыми черноземами. На западе и юге города отмечено слабое проявление эрозионных процессов, а на севере и востоке – весьма интенсивное и повсеместное. Город входит в Среднерусскую лесостепную подпровинцию – суджанский район дубрав и ковыльно-разнотравных степей. Озеленение территории города – 8%.

Основными источниками загрязнения земель на территории города Суджа являются промышленные предприятия и автотранспорт.

По промышленному потенциалу город Суджа среди малых городов Курской области занимает пятое место. По общему выбросу вредных веществ в атмосферу этот город относится к району с выбросами 5000–10000 т/год. В нем работают предприятия: МУП «КЭТС», ОГУП Суджанское ДРСУ-2, ОАО «Суджанский маслодельный комбинат», ЗАО «Суджанский мясокомбинат», ОАО «Суджанский хлебозавод», филиал ООО «Мострансгаз».

Некоторые показатели по загрязнению атмосферы промышленными предприятиями и автотранспортом представлены в таблицах 2,3.

Таблица 2

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспорта

Город	Оксид углерода, тыс. тонн	Оксид азота, тыс. тонн	Углеродород, тыс. тонн
Суджа	1,12	0,14	0,19

Таблица 3

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий

Загрязняющие вещества	Всего выбросов в атмосферу, т/год					
	МУП «КЭТС»	ОГУП Суджанское ДРСУ-2	ОАО «Суджанский маслодельный комбинат»	ЗАО «Суджанский мясокомбинат»	ОАО «Суджанский хлебозавод»	Филиал ООО «Мострансгаз»
Твердые вещества	51,295	40,196	7,816	0,143	0,138	1,305
Диоксид серы	8,261	0,166	0,005	0,014	-	-
Оксид углерода	34,646	21,328	32,212	6,308	6,814	0,613
Оксид азота (в пер. на NO ₂)	2,306	6,620	12,880	0,633	4,946	0,471
Углеводороды с учетом ЛОС (искл. Метан)	0,022	4,101	0,484	0,921	4,354	0,222

На состояние окружающей среды, и на степень антропогенной преобразованности земель большое воздействие оказывает автотранспорт. В процессе подсчета за 1 час по главной улице поток автомашин составляет 384 шт., в том числе, 288 шт. – легковых, 96 – грузовых.

На территории города Суджа нами были проведены исследования состояния почв и аквальных комплексов с определением содержания тяжелых металлов: кадмия, цинка, никеля, свинца и хрома [7]. В летний период времени были ото-

браны пробы почвы на главной и второстепенной улицах города и воды из реки Суджа и водопровода. Зимой проводились отборы снежного покрова в точках отбора проб почвы: на главной и второстепенной улицах. Атомноадсорбционный анализ показал, что содержание тяжелых металлов в реке и в водопроводе достаточно высокое, хотя и не превышающее ПДК. Среди малых городов Курской области г. Суджа относится к категории городов с высокой степенью загрязнения аквальных комплексов (табл. 4) [8].

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в аквальных комплексах, мкг/л

Место отбора пробы	Cd	Zn	Ni	Pb	Cr
Река Суджа	0,37	54,53	26,53	0,42	2,21
Водопровод	0,41	58,27	29,71	0,40	2,18

Как видно из таблицы 4, в водопроводной воде, используемой населением для питьевых целей и на коммунально-бытовые нужды, содержание тяжелых металлов несколько выше, по сравнению с речной водой [9].

Как установлено, это содержание в воде реки Суджа неодинаково в разных частях города, то есть выше, в центре и ниже города. Наиболее загрязненной тяжелыми металлами является речная вода выше города. В его центре эти показатели снижаются, а ниже города – вновь повышаются. Это можно объяснить тем, что в центре города отсутствуют промышленные предприятия, а сброс загрязненных стоков в реку осуществляется выше или

ниже города. В его окрестностях развито сельское хозяйство: растениеводство, АПК и садово-огородное хозяйство [10].

Содержание тяжелых металлов в почве на главной и второстепенной улицах города показано в таблице 5.

Как видно, концентрация тяжелых металлов в почве на второстепенных улицах выше, чем на главной. Хотя, казалось бы, что главная улица подвержена наибольшему антропогенному воздействию. Причиной этому является то, что промышленные предприятия не расположены в центре города, а находятся на его периферии. Планировка города способствует проветриванию главной улицы, которая не имеет замкнутых пространств.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в почве, мкг/л

Место отбора пробы	Cd	Zn	Ni	Pb	Cr
Главная улица	0,11	0,14	1,98	0,43	0,14
Второстепенная улица	0,15	0,19	2,18	0,41	0,23

А второстепенные улицы, на которых отбирались пробы, расположены перпендикулярно воздушным массам, несущим различные примеси. Здания и зеленые насаждения способствуют задерживанию вредных веществ и непосредственной их аккумуляции на данной территории. Помимо промышленных пред-

приятий загрязнению почв способствует движущийся автотранспорт и сельское хозяйство [11].

Отбор проб снега в зимний период времени нами проводился в тех же точках, что и отбор почвы летом. Полученные результаты анализов приводятся в таблице 6.

Таблица 6

Содержание тяжелых металлов в снеге, мкг/л

Место отбора пробы	Cd	Zn	Ni	Pb	Cr
Главная улица	0,21	0,98	0,59	0,22	0,24
Второстепенная улица	0,18	0,79	0,44	0,19	0,22

Как видно, отмечается значительное накопление в почве тяжелых металлов в предшествующие годы. Так содержание никеля и свинца в почве превышает их накопление за зимний период в снежном покрове. Однако концентрация кадмия, цинка, хрома в снеге превышает его многолетние показатели содержания в почве. Зимой помимо действия промышленных предприятий и автотранспорта значительная роль в загрязнении почвенного покрова принадлежит загрязнению в результате домашнего отопления, что приводит к поступлению дыма и золы на близлежащие территории [12].

В итоге, во время весеннего половодья вместе с талыми водами эти загрязняющие вещества перераспределяются: часть их остается в почве, другая – мигрирует в подземные воды, или с поверхностным стоком поступает в реки.

Пестициды и удобрения, которые применяются в сельском хозяйстве, смываются в реки, озера и становятся пищей для бактерий. При этом бактерии потребляют кислород, растворенный в воде, в результате водные животные начинают задыхаться. В ряде мест неочищенные сточные воды смываются в реки и стано-

вятся причиной заболеваний, а порой и смерти, и животных, и людей.

Список литературы

1. Василевская Л.А., Косинова Н.А. Учет природных и антропогенных факторов при оценке городских земель// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 2 (15). С. 29-36.
2. Василевская Л.А., Косинова Н.А. Специфика развития малых городов// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. № 1. С. 99-105.
3. Ломова Л.А., Косинова Н.А. Методы оценки состояния водных ресурсов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 4 (17). С. 112-118.
4. Василевская Л.А., Косинова Н.А. Природные и антропогенные факторы формирования подземных вод Курской области: монография. Курск, 2014. 125 с.
5. Василевская Л.А. География Курской области: учеб. пособие. Курск, 2014. 122 с.
6. Косинова Н.А., Ломова Л.А. Кадастровая оценка городских земель// Со-

временные ландшафтные исследования в контексте оптимизации рационального природопользования: сборник статей / отв. ред. И.А. Гонеев. Курск, 2015. С.118-121.

7. Василевская Л.А., Косинова Н.А. Геоэкологическая оценка земель в малых городах Курской области // Научные труды Курского отделения РОИА: сборник статей. Вып. 1. Курск, 2015. С. 85–92.

8. Косинова Н.А., Ломова Л.А. Оценка территории малых городов в системе кадастра земель // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 42-49.

9. Соколова Т.А. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах // Рациональ-

ное природопользование в условиях техногенеза. М.: ГУЗ, 2000. С. 50–54.

10. Василевская Л.А. Оптимизация использования ресурсов подземных вод в регионах с интенсивной хозяйственной деятельностью человека (на примере Курской области): автореферат дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 2010. 24 с.

11. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. С. 35.

12. Василевская Л.А. Типизация речных водосборов по условиям водоснабжения в Курской области // Экологогеографические исследования в речных бассейнах: материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2009. С. 114 - 120.

Поступила в редакцию 19.07.18

UDC 911.2

L.A. Lomova, Candidate of Geography Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: lomova-la@yandex.ru)

N.A. Kosinova, Candidate of Geography Sciences, Associate Professor, Kursk State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: nklind@mail.ru)

EVALUATION OF THE CONDITION OF LANDS OF SUJA CITY SPECIFIC LANDSCAPE

For testing the methodology of cadastral appraisal of land selected sudzha town, which is the representative among the small towns of the Kursk region. The main sources of land contamination in the city of Sudzha are industrial enterprises and vehicles.

We have conducted research of a condition of soils and aquatic systems by determining the content of heavy metals: cadmium, zinc, Nickel, lead and chromium.

As stated, this content in the water of the river Sudzha is different in different parts of the city that is above, centre and below the city. The most polluted with heavy metals is river water above the city. In the center, these figures are reduced, and below the city is rising again. This can be explained by the fact that in the city centre there are no industrial facilities, and discharge of polluted sewage in the river is above or below the city. In its surroundings agriculture: crop production, agriculture and garden-ohorodnie economy.

The concentration of heavy metals in soil on secondary streets is higher than on the main. Although it would seem that the main street subject to the greatest anthropogenic influence. The reason for this is that industries are not located in the city centre, and located on its periphery.

There is a significant accumulation of soil heavy metals in previous years. So the content of Nickel and lead in soil exceeds their accumulation during the winter in snow. However, the concentration of cadmium, zinc, chromium in the snow exceed its long-term contents in the soil.

In the end, during the spring flood, together with hoists waters, these contaminants are redistributed: a part of them remains in the soil, the other to migrate into groundwater or with surface runoff enters the river.

Key words: *natural factors; anthropogenic factors; land; soil; water resources; pollutants.*

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-58-65

For citation: Lomova L.A., Kosinova N.A. Evaluation of the Condition of Lands of Suja City Specific Landscape. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 58-65 (in Russ.).

Reference

1. Vasilevskaja L.A., Kosinova N.A. Uchet prirodnyh i antropogennyh faktorov pri ocenke gorodskih zemel'. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2015, no. 2 (15), pp. 29-36.
2. Vasilevskaja L.A., Kosinova N.A. Specifika razvitiya malyh gorodov. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2014, no. 1, pp. 99-105.
3. Lomova L.A., Kosinova N.A. Metody ocenki sostojaniya vodnyh resursov. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2015, no. 4 (17), pp. 112-118.
4. Vasilevskaja L.A., Kosinova N.A. Prirodnye i antropogennye faktory formirovaniya podzemnyh vod Kurskoj oblasti. Kursk, 2014, 125 p.
5. Vasilevskaja L.A. Geografija Kurskoj oblasti. Kursk, 2014, 122 p.
6. Kosinova N.A., Lomova L.A. Kadastrovaja ocenka gorodskih zemel'. Sovremennye landshaftnye issledovaniya v kontekste optimizacii racional'nogo prirodopol'zovaniya. Sbornik statej, ed. by Goneev I.A.. Kursk, 2015, pp.118-121.
7. Vasilevskaja L.A., Kosinova N.A. Geojekologicheskaja ocenka zemel' v malyh gorodah Kurskoj oblasti. Nauchnye trudy Kurskogo otdelenija ROIA. Sbornik statej. Vyp. 1. Kursk, 2015, pp. 85–92.
8. Kosinova N.A., Lomova L.A. Ocenka territorii malyh gorodov v sisteme kadastra zemel'. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 42-49.
9. Sokolova T.A. Mikrojelementy i tjazhelye metally v pochvah. Racional'noe prirodopol'zovanie v uslovijah tehnogeneza. Moscow, GUZ Publ., 2000, pp. 50–54.
10. Vasilevskaja L.A. Optimizacija ispol'zovaniya resursov podzemnyh vod v regionah s intensivnoj hozjajstvennoj dejatel'nost'ju cheloveka (na primere Kurskoj oblasti). Avtoreferat diss. kand. geogr. nauk. Voronezh, 2010, 24 p.
11. Saet Ju.E., Revich B.A. Geohimija okruzhajushhej sredy. Moscow, Nedra Publ., 1990, pp. 35.
12. Vasilevskaja L.A. Tipizacija rechnyh vodosborov po uslovijam vodosnabzhenija v Kurskoj oblasti. Jekologogeo-graficheskie issledovaniya v rechnyh bassejnah. Materialy Tret'ej mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh, 2009, pp. 114 - 120.

УДК 621.671.2

В. А. Морозов, канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: vamorozov46@list.ru)

А. В. Морозов, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: bumer777@list.ru)

Е. Н. Морозова, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: bumer777@km.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Одной из проблем перекачки осадков сточных вод (ОСВ) является использование центробежных насосов для этих целей. В настоящее время используются объёмные насосы, в частности винтовые. Применение центробежных насосов ограничено из-за отсутствия реологических характеристик перекачиваемых сред, в связи с чем центробежные насосы применяют в основном после разбавления ОСВ водой, что приводит к дополнительным затратам энергии.

Определение реологических характеристик ОСВ позволит рекомендовать центробежные насосы для их перекачки и установить их возможности.

С этой целью предлагается использовать метод капиллярной вискозиметрии для определения реологических констант (предельное напряжение сдвига и вязкость), которыми характеризуются ОСВ, течение которых описывается моделью вязкопластичной жидкости.

Определение реологических констант осадков сточных вод проводилось на производственной установке, где снимались рабочие характеристики насосов с одновременным определением вязкопластичных свойств ОСВ.

Реологические константы ОСВ определялись методом учёта гидравлических сопротивлений на фиксированном участке круглой трубы в зависимости от расхода ОСВ и его концентрации в предположении, что режим течения ламинарный.

Установлено, что в отличие от ньютоновских жидкостей все кривые течения в трубе в зависимости от его концентрации проходят не через начало координат, а отсекают отрезок, что указывает на вязкопластичные свойства ОСВ. Движение начинает происходить лишь после того, когда давление в трубе будет больше давления предельного напряжения сдвига.

Исследование реологических свойств ОСВ показало, что основными характеристиками исследуемых ОСВ являются предельное напряжение сдвига и пластическая вязкость, которые зависят от концентрации суспензии.

Результаты эксперимента показывают, что изменение реологических характеристик ОСВ в зависимости от концентрации зависит от изменения характеристик насосов и соответствует существующим рекомендациям по перекачке ОСВ насосами без разбавления водой.

Установлена зависимость между реологическими характеристиками осадков сточных вод и их концентрацией.

Ключевые слова: осадки сточных вод; реологические характеристики; насосы; вискозиметрия; гидравлические потери; вязкость.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-66-72

Ссылка для цитирования: Морозов В. А., Морозов А. В., Морозова Е. Н. Исследование реологических характеристик осадков сточных вод // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 66-72.

Перекачка ОСВ получает все большее распространение в связи с механизацией и автоматизацией различных технологических процессов. Транспортирование ОСВ, обладающих пределом текучести, при помощи насосов имеет большие преимущества перед другими видами

транспорта: непрерывность работы, возможность применения высокой степени автоматизации работы, низкие капитальные затраты при транспортировании больших количеств материалов, простота установки, независимость от неблагоприятных условий.

Особенностью работы насосов при перекачке таких сред является то, что характеристики насосов зависят от реологических свойств данных сред. Однако выбор насоса для транспортирования ОСВ делается чаще всего без учета реологических особенностей перекачиваемых сред, что приводит к неоправданным затратам энергии или неудовлетворительной работе установок. Концентрация, размер твердой фракции, вязкость дисперсионной среды и другие факторы, от которых зависят реологические свойства ОСВ, влияют на характеристики насосов.

Течение ОСВ описывается моделью вязкопластичной жидкости, которая характеризуется двумя реологическими константами: предельным напряжением сдвига и вязкостью.

На величину предельного напряжения сдвига значительное влияние оказывает шероховатость поверхности, размеры прибора, скорость наложения деформации. Наиболее правильным следует считать определение реологических констант жидкости по реологической кривой течения.

В связи со сложностью реологического поведения ОСВ, для определения реологических характеристик были использованы два метода определения реологических констант методом Стокса и методом анализа потерь напора на фиксированном участке цилиндрической трубы. При помощи этих методов оценивалось реологическое поведение ОСВ в области как малых градиентов скоростей, так и больших.

Для определения реологических характеристик ОСВ по методу Стокса применялся модернизированный реовискозиметр Хеплера, который имеет широкий диапазон измерения свойств течения раз-

личных систем. Данным прибором можно определять реологические свойства и получить форму кривой течения.

Принцип действия прибора основан на движении шарика, коаксиально введенного с помощью рабочего стержня внутри ОСВ, заполняющего неподвижный цилиндр. Шарик при этом ламинарно обтекается в концентрическом зазоре между шариком и цилиндром.

Исследование реологических характеристик в области малых и весьма малых градиентов скоростей сдвига на реовискозиметре Хеплера показало, что при указанных скоростях сдвига наблюдаются два режима течения: шведовский, или режим с практически не разрушенной структурой, и режим вязкопластичного течения или бингамовский, характеризующийся наличием предельного напряжения сдвига с пластической вязкостью.

В связи с чем использование метода Стокса для определения реологических характеристик ОСВ при работе в гидротранспортных системах неприемлемо, так как скорости в вискозиметре и системах перекачки не соответствуют друг другу. Таким образом метод Стокса можно применять для расчёта течений в области малых и весьма малых скоростей потока.

Определение реологических характеристик ОСВ методом анализа потерь напора в трубопроводе производилось на трубопроводе \varnothing 125 мм. Важным преимуществом данного метода является то, что размер частиц ОСВ не оказывает влияния на измерение, а фиксированный участок трубопровода является вискозиметром.

Исследование реологических свойств различных систем [1,2,3,4,11] методом анализа потерь показало, что для различ-

ных дисперсных систем этот метод является предпочтительным. Для определения реологических характеристик ОСВ была смонтирована установка [4], позволяющая производить исследование реологических характеристик ОСВ в промышленных условиях.

Методика проведения эксперимента заключалась в измерении соответствующих друг другу значений расходов ОСВ и потерь напора в трубе при изотермическом режиме течения.

Если зависимость потерь напора от расхода в широком диапазоне представляет собой прямую линию, аппроксимация которой отсекает на оси координат потерь напора определенную величину, то такое течение будет структурно-ламинарным. При таком течении существует две зоны: сдвиговое градиентное течение между стенками и ядром потока и безградиентное стержневое течение [5,6], поперечные размеры которого зависят от направлений и скоростей сдвига.

Напряжение сдвига и градиент скорости по данным анализа потерь напора в трубе определялись в соответствии с уравнением Букингема-Рейнера.

Для определения реологических констант необходимо определить перепад давления и расход. Расход определяли по показаниям электромагнитного расходомера, перепад давления – по показаниям дифференциального микроманометра.

Тангенс угла наклона прямого участка кривой течения определяет пластическую (динамическую) вязкость, а значение предельного напряжения сдвига будет равно $\frac{3}{4}$ длины отрезка от точки пересечения прямой течения до начала координат.

В общем случае, когда известна зависимость потерь напора от расхода жидкости, реологические константы вязкопластичной жидкости можно определять по двум точкам, не прибегая к построению реологической кривой течения. В таком случае в уравнение Букингема-Рейнера подставляем значения двух последовательных замеров потерь напора на разных расходах и легко определяем реологические константы. Данный метод определения реологических констант широко применяется для многих растворов, суспензий, смесей, различных масс и других дисперсных систем.

На рис. 1 представлена реограмма течения ОСВ, полученная по потерям напора ОСВ от расхода в трубе $\varnothing 125$ мм.

Реограмма течения ОСВ в трубе показывает, что при градиентах скоростей от 50 до 500 кривые течения достаточно удовлетворительно описываются линейной зависимостью, что находится в пределах скоростей транспортирования. Из реограммы видно, что в области исследуемых градиентов давлений и скоростей существует линейная зависимость реологической кривой течения, что говорит о применимости модели линейной вязкопластичной жидкости Шведова–Бингама.

На рис.2 представлена зависимость предельного сопротивления сдвига от концентрации ОСВ, откуда следует, что предел текучести начинается с 2% концентрации.

На рис.3 показана зависимость вязкости от концентрации ОСВ. Как следует из рис.2 и 3 в пределах транспортирования ОСВ до концентрации 5% вязкость не превышает 2 пуаз, что соответствует рекомендациям по применению центробежных насосов [4, 10].

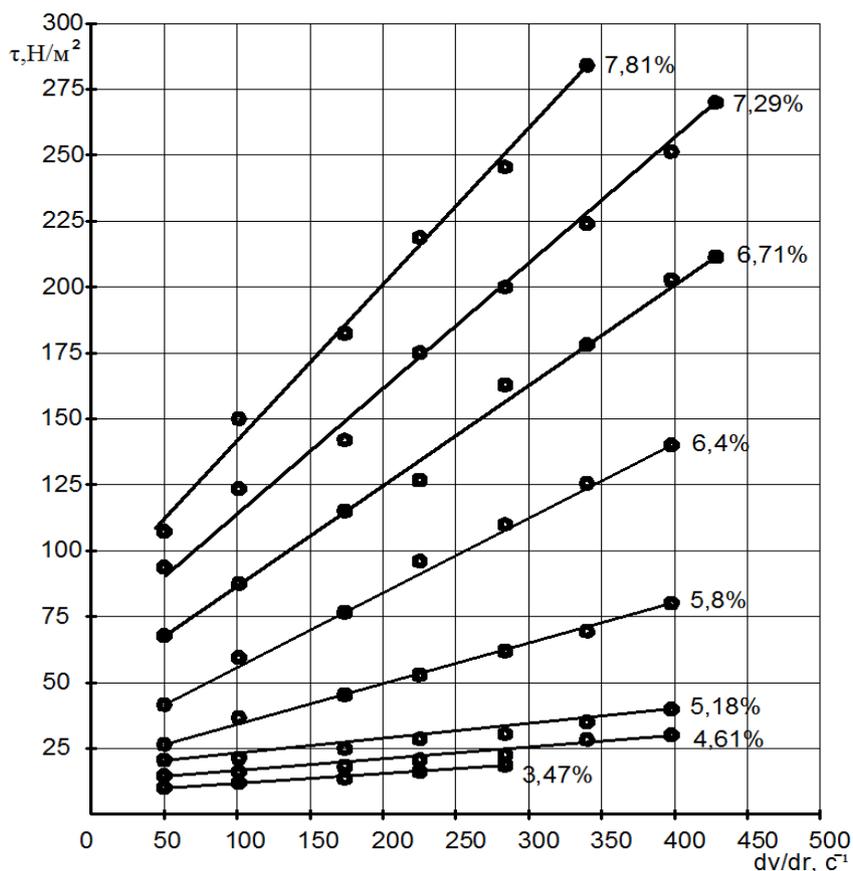


Рис. 1. Реограмма течения ОСВ в круглой трубе в зависимости от его концентрации

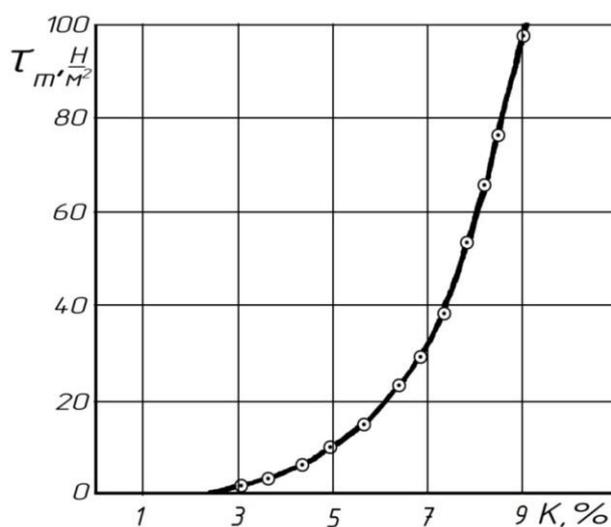


Рис. 2. Зависимость предельного сопротивления сдвига от концентрации ОСВ

Известно, что при малых концентрациях ОСВ вязкость не зависит от скорости движения [8,9,10] и является постоянной величиной. Под действием сил, превышающих предельное напряжение

сдвига, ОСВ высоких концентраций начинают течь, при этом каждой скорости соответствует определенная степень разрушения структуры [5, 6, 7].

Из реограммы течения видно, что в широком диапазоне изменения расхода ОСВ различной концентрации потери

напора описываются линейной зависимостью, что говорит о структурно-ламинарном режиме течения.

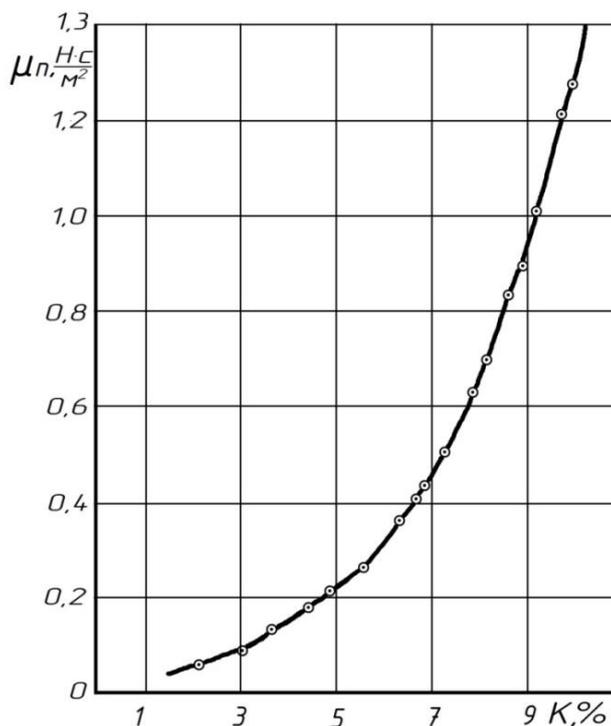


Рис. 3. Зависимость вязкости от концентрации ОСВ

Из рис. 2 видно, что с увеличением концентрации до 2% ОСВ не обладает пределом текучести, а вязкость (см. рис.3) монотонно увеличивается. Следует отметить, что сточная жидкость обычно характеризуется концентрацией до 1%, дальнейшее увеличение концентрации характерно для ОСВ.

Сопоставляя характеристики насосов на ОСВ [4,7] и реологические характеристики ОСВ можно сделать вывод о том, что характеристики насосов и вязкопластичные свойства ОСВ начинают изменяться с концентрации 1%.

Выводы

1. В отличие от ньютоновских жидкостей все кривые течения ОСВ в трубе в зависимости от его концентрации проходят не через начало координат, а отсека-

ют отрезок, что указывает на вязкопластичные свойства ОСВ. Движение начинается происходить лишь после того, когда давление в трубе больше давления предельного напряжения сдвига.

2. Исследование реологических свойств ОСВ показало, что основными характеристиками исследуемых ОСВ являются предельное напряжение сдвига и пластическая вязкость, которые зависят от концентрации суспензии.

3. Установлена связь между реологическими константами и концентрацией ОСВ.

Список литературы

1. Арефьев Н. Н., Штин С. М. Метод определения реологических характеристик сапропеля // Горный информационно-аналитический бюл. М.: Изд-во МГГУ, 2007. № 1. С. 41 – 47.

2. Дегтярев В. Н. О взаимосвязи параметров, характеризующих течение вязкопластичных жидкостей в трубе, и ротационном вискозиметре // Нефтяное хозяйство. 1970. № 10. С. 64.

3. Мительман Б. И., Роземберг Г. Д. К вопросу о структурном режиме течения вязкопластичной жидкости по трубам // Тр. Всесоюз. НИИБТ. 1965. Вып XV. С. 39-48.

4. Морозова Е. Н., Морозов В. А. Повышение надежности работы насосных станций водоотведения при проектировании и строительстве, как фактор улучшения экологической безопасности городов // Проектирование и строительство: сборник тезисов докладов научно-практической конференции. Курск, 2015. С. 39–40.

5. Морозова Е.Н., Морозов В.А., Морозов А.В. Особенности расчета совместной работы насосных станций и сетей водоотведения // Строительство-2016: материалы II Брянского междунар. инновационного форума. Брянск, 2016. Т.1. С. 88-91.

6. Огибалов П.М., Мирзаджанзаде А.Х. Нестационарные движения вязкопластичных сред. М.: Изд-во МГУ, 1970. 415 с.

7. Шелухин В. В. Модель жидкости Бингама в переменных напряжении-скорость // Докл. Академии наук. 2001. Т. 377, №4. С. 455–458.

8. Щербаков В. И., Морозов А. В. Прогнозирование рабочих характеристик центробежных насосов на осадках сточных вод // Яковлевские чтения: сб. докл. X науч.-техн. конф. М.: Изд-во АСВ, 2015. С. 61–65.

9. Шульман З.П. Конвективный теплоперенос реологически сложных жидкостей. М.: Энергия, 1975. 352 с.

10. Щеглов К.А. Насосные станции для перекачки сточных вод и осадков. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1987. 186 с.

11. Яковлев С.В. Инженерное оборудование зданий и сооружений: энциклопедия. М.: Стройиздат, 1994. 512 с.

12. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. М.: Стройиздат, 1990. 511 с.

Поступила в редакцию 20.06.18

UDC 621.671.2

V. A. Morozov, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: vamorozov46@list.ru)

A. V. Morozov, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: bumer777@list.ru)

E. N. Morozova, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: bumer777@km.ru)

RESEARCH OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RAINFALL OF SEWAGE

One of problems of transfer of the rainfall of sewage (OSV) is use of impeller pumps for these purposes. Now displacement pumps, in particular screw are used. Application of impeller pumps is limited due to the lack of rheological characteristics of flowed through environments in this connection impeller pumps apply in the main ambassador of a dilution of OSV water that leads to padding energy consumptions.

Definition of rheological characteristics of OSV will allow to recommend impeller pumps for their transfer and will define their opportunities.

It is for this purpose offered to use a method of a capillary viscosimetry for definition of rheological constants (the ultimate strain of shift and viscosity) which characterize OSV which current is described by model of viscoplastic liquid.

Definition of rheological constants of rainfall of sewage was carried out on production installation where performance characteristics of pumps with simultaneous definition of the OSV viscoplastic properties were removed.

Rheological constants OSV were defined by method of the accounting of hydraulic resistances on the fixed site of a round pipe depending on an expense of OSV and its concentration in the assumption that the current mode laminar.

It is established that unlike the Newtonian liquids all curve currents in a pipe depending on its concentration pass not through an origin of coordinates, and intercept that indicates the OSV viscoplastic properties. Driving begins to happen only after when pressure in a pipe is more than pressure of the ultimate strain of shift.

The research of rheological behavior of OSV showed that the main characteristics of the studied OSV are the ultimate strain of shift and plastic viscosity which depend on concentration of suspension.

Results of an experiment show that change of rheological characteristics of OSV depending on concentration depends on change of characteristics of pumps and corresponds to the existing recommendations about transfer of OSV pumps without watering.

Dependence between rheological characteristics of rainfall of sewage and their concentration is established.

Key words: *settlings of sewage; rheological characteristics; pumps; viscosimetry; hydraulic losses; viscosity.*

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-66-72

For citation: Morozov V. A., Morozov A. V., Morozova E. N. Research of Rheological Characteristics of Rainfall of Sewage. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 66-72 (in Russ.).

Reference

1. Arefev H. H., Shtin S. M. Metod opredelenija reologicheskikh harakteristik sapropelja. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjul.* Moscow, 2007, no. 1, pp. 41 – 47.
2. Degtjarev V. N. O vzaimosvjazi para-metrov, harakterizujushchih techenie vjaskoplastichnyh zhidkostej v trube, i rotacionnom viskozimetre. *Neftjanoe hozjajstvo*, 1970, no. 10, pp. 64.
3. Mitel'man B. I., Rozemberg G. D. K voprosu o strukturnom rezhime techenija vjaskoplastichnoj zhidkosti po trubam. *Tr. Vsesojuz. NIIBT*, 1965, is. XV, pp. 39-48.
4. Morozova E. N., Morozov V. A. Povyshenie nadezhnosti raboty nasosnyh stancij vodootvedenija pri proektirovanii i stroitel'stve, kak faktor uluchshenija jekologicheskoi bezopasnosti gorodov. *Proektirovanie i stroitel'stvo*. Sbornik tezisev dokladov nauchno-prakticheskoi konferencii. Kursk, 2015, pp. 39–40.
5. Morozova E.N., Morozov V.A., Morozov A.V. Osobennosti rascheta sovместnoј raboty nasosnyh stancij i setej vodootvedenija. *Stroitel'stvo-2016. Materialy II Brjanskogo mezhdunar. innovacionnogo foruma*. Brjansk, 2016, vol. 1, pp. 88-91.
6. Ogibalov P. M., Mirzadzhanzade A. H. Nestacionarnye dvizhenija vjaskoplastichnyh sred. Moscow, MGU Publ., 1970, 415 p.
7. Sheluhin V. V. Model' zhidkosti Bingama v peremennyh naprjazhenie-skorost'. *Dokl. Akademii nauk*, 2001, vol. 377, no.4, pp. 455–458.
8. Shherbakov V. I., Morozov A. V. Prognozirovanie rabochih harakteristik centrobeznyh nasosov na osadkah stochnyh vod. *Jakovlevskie chtenija. Sb. dokl. X nauch.-tehn. konf.* Moscow, ASV Publ., 2015, pp. 61–65.
9. Shul'man Z.P. Konvektivnyj teplo-massoperenos reologicheskii slozhnyh zhidkostej. Moscow, 1975, 352 p.
10. Shheglov K.A. Nasosnye stancii dlja perekachki stochnyh vod i osadkov. Moscow, 1987, 186 p.
11. Jakovlev S.V. Inzhenernoe obo-rudovanie zdaniј i sooruzhenij. Moscow, Strojizdat Publ., 1994, 512 p.
12. Jakovlev S.V., Karelin Ja.A., Laskov Ju.M., Voronov Ju.V. Vodootvodjashhie si-stemy promyshlennyh predpriјatij. Moscow, Strojizdat Publ., 1990, 511 p.

УДК 69.001.6

М.Ф. Никулина, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: mogorianmarchella@gmail.com)

А.П. Калужских, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: annetta024@yandex.ru)

А.В. Шлеенко, канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: shleenko77@mail.ru)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ С УЧЕТОМ ОПЫТА СТРАН ЗАРУБЕЖЬЯ

В данной статье обосновывается значимость развития строительства для жизни людей и государства в целом. Рассматривается ситуация в строительном секторе России, обосновывается необходимость его интенсивного развития и выделяются основные проблемы: высокая степень монополизации рынка недвижимости, устаревшие технологии и неэффективные проектные решения, сильная зависимость от администрации, отсутствие мотивации у органов местного самоуправления в развитии строительства. Особо актуальной становится проблема широкого строительства социального жилья с учётом климатических условий и уровня доходов граждан. С учётом огромного ресурсного потенциала России последняя задача не кажется неразрешимой.

Для решения этих проблем предлагается учитывать опыт государств, завоевавших в данной отрасли лидерские позиции. На данной основе будет рациональным создать индивидуальный национальный подход для развития строительства в России с учётом ресурсных, экономических, технологических, климатических и правовых особенностей. В работе учтены темпы развития строительства стран «большой семёрки», США, а также новых лидеров строительной отрасли (Индия, Бразилия, Китай), указаны причины столь быстрого роста их строительного сектора, представлены прогнозы их дальнейшего развития.

Изучены методы проведения строительства в таких странах, как Китай, США, Япония, Турция, Индия, Великобритания, государства ЕС, выявлены общие черты: совершенствование проектных решений, определение достоверной стоимости проекта, применение современных технологий, энергетическая экономия, снижение сроков возведения объектов, распространение «зелёного» строительства, повышение энергоэффективности сооружений и др. В заключение отражены конкретные шаги законодательства РФ, направленные на улучшение строительства.

Ключевые слова: строительная отрасль; энергоэффективность; сертификация.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-73-81

Ссылка для цитирования: Никулина М.Ф., Калужских А.П., Шлеенко А.В. Решение проблем в строительной отрасли России с учетом опыта стран зарубежья // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 73-81.

Введение

Важность развития строительной отрасли редко вызывает сомнение. Строительная отрасль оказывает огромное влияние на жизнь людей и государства. Она отвечает за удовлетворение базовых потребностей человека в жилище. Архитектурный облик отдельных городов говорит об экономическом развитии государства и уровне жизни его граждан, отвечает за престиж страны. Каждый новый проект –

это рабочие места и поддержка производства строительных материалов.

Строительная отрасль нуждается даже не в поддержке, а в постоянном развитии, так как запросы общества в данной области не удовлетворены и растут. Главным становится вопрос не количества, а качества реализуемого проекта: его себестоимости, долговечности, влияния на окружающую среду.

Неразрешёнными для России остаются следующие проблемы строитель-

ства: высокая степень монополизации рынка недвижимости, в особенности, в крупных городах, устаревшие технологии строительства, неэффективные проектные решения, сильная зависимость от администрации, отсутствие мотивации у органов местного самоуправления по развитию строительства. Совершенно обоснована необходимость массового строительства социального жилья с учётом климатических условий и финансовых возможностей граждан. С учётом огромного ресурсного потенциала России последняя задача не кажется неразрешимой.

Разумеется, эти проблемы характерны не только для нашей страны, и поиски эффективных методов развития строительной области, техническое совершенствование строительства, создание различных социальных программ, широкой правовой базы проводятся во многих экономически развитых государствах. Для совершенствования российской системы строительства, разрешения указанных выше проблем важно быть ознакомленным с ситуацией в данной отрасли в других странах, и на основе полученных сведений разрабатывать свой подход в развитии строительства.

Материалы и методы

В первую очередь стоит отметить, что мир становится всё более динамичным. Достаточно пары десятилетий, чтобы страна наладила свою экономику и, в частности, строительную отрасль. Об этом свидетельствуют высокие показатели развития на рынках Китая, Индии, Бразилии и Индонезии.

Благодаря бюджетному стимулированию, в 2010 г. Китай стал крупнейшим строительным рынком в мире. С начала 2000 года Китай начал интенсивно разви-

вать строительную отрасль, что привело к росту доходов на 23%. В последующем, с 2013 года темпы развития отрасли и объём инвестиций снижаются.

Государственные компании занимают небольшой процент в строительной отрасли Китая (5,8%) и, как правило, реализуют проекты в инфраструктурном строительстве. Основными участниками являются частные строительные компании (87,6%). Совместные строительные компании составляют 5,7% строительного рынка, а строительные компании из Макао, Тайваня, Гонконга и иностранные строительные компании составляли 0,1%. Отчасти незначительная доля присутствия иностранных строительных компаний в строительной отрасли Китая объясняется сложностями в получении лицензии на строительство.

Сектором с наиболее медленным ростом является строительство промышленных зданий и сооружений. Несмотря на это, страна, не пострадавшая сильно от глобального экономического спада, продолжает осуществление значимых проектов в строительной отрасли. В 2011 году началось строительство крупнейшего в мире выставочного комплекса в Шанхае стоимостью 3,5 млрд. долларов США, самого высокого отеля в мире.

В течение ближайших десяти лет размер строительного рынка Китая должен увеличиться более чем вдвое и к 2020 году составит 21% мирового строительства. Столь успешное развитие строительной отрасли обусловлено определёнными причинами, условиями, созданными государством для успешной реализации национальных строительных проектов. В 2014 году правительством был принят «Новый план урбанизации Китая (2014-2020 гг.)», в соответствии с кото-

рым предполагается интеграция городских и пригородных территорий, принятие мер по переходу на «зеленые» технологии в строительстве, а также охрана и рациональное использование земель.

Однако высокие темпы развития строительства ещё не говорят об отсутствии внешних и внутренних проблем в данной отрасли. Рынок строительных услуг Китая по европейским меркам все еще находится на стадии раннего развития. Если строительные технологии и стандарты практикуются на Западе последние 15 лет, то в Китае они внедряются до сих пор.

Мировые эксперты прогнозируют прирост доли строительной отрасли в ВВП Китая в основном за счет инфраструктурного и индустриального строительства, при этом роста активности в жилом строительстве не ожидается. Обеспеченность населения комфортабельным жильём остаётся вопросом неразрешённым. Так, если в крупных городах северной части Китая отопление является централизованным или автономным, то в южных регионах страны ещё совсем недавно данный вопрос не учитывался при строительстве. В силу конкуренции на рынке строительных услуг, зачастую приоритет отдается «доступным» ценам, нежели качеству [1, с. 30].

Япония еще с 2003 года демонстрирует спад в строительной отрасли. В недавнем времени она уступила вторую строчку в рейтинге мировых строительных рынков Китаю, а скоро она опустится на 4-е место, уступив третью позицию Индии. Это связано, прежде всего, с уменьшением инвестиций в инфраструктурные проекты вследствие давления огромного государственного долга Токио и расходов от последствий землетрясений.

Американский рынок показывает снижение продаж жилья на первичном и вторичном рынках, и впервые за последние 17 лет – снижение финансирования коммерческого и промышленного строительства. Однако строительный сектор штатов остаётся высоко развитым.

В последние годы по мере повышения спроса на строительные услуги, строительные компании стали проявлять повышенный спрос к высокопрофессиональным и многопрофильным специалистам, а также квалифицированным подрядным организациям. В США «двигателем» строительной отрасли является поддержка финансовых институтов в части послабления требований к заемщикам и снижения процентных ставок по ипотечным займам. По мнению мировых экспертов, в строительном секторе США будет наблюдаться рост объема выполненных строительных работ в среднем на 3-5%, а также снижение доли безработицы в данном секторе.

В Великобритании доля строительного сектора составляет 6% ВВП, что значительно выше, чем в других странах европейского сообщества. Значимую в этом роль играет статус страны, как наиболее благоприятного международного финансового и инвестиционного центра в Европе, в том числе в сегменте финансовых операций с недвижимостью. Однако в связи с выходом Великобритании из состава стран ЕС в 2016 году, интенсивность операций в строительном секторе Великобритании может снизиться из-за выжидательного, осторожного подхода многих крупных инвесторов.

В Индии объем инвестиций в строительство за 2010 г. вырос в 10 раз и достиг 593 млн. долларов США. Индия входит в пятерку развивающихся стран,

наиболее привлекательных для вложений в недвижимость, вместе с Китаем, Бразилией, Мексикой и Турцией.

Строительному сектору в Турции отводится немаловажная роль в экономике страны. Стоит отметить, что среди стран ближнего и дальнего зарубежья, доля присутствия турецких строительных компаний в странах постсоветского пространства является наиболее весомой и стратегически значимой.

Благодаря своему географическому расположению, наработанному опыту в различных направлениях, а также качеству предоставляемых услуг турецкие строительные компании в сравнительно короткий срок смогли завоевать позиции на международном рынке. Также, этого удалось достичь за счет диверсификации строительного сектора со строительства жилых объектов на строительство стратегически значимых и инфраструктурных объектов. Развитию строительной отрасли в Турции в период 1972-2013 гг. также способствовали благоприятные условия для внутренних и внешних инвесторов, которые впоследствии имели «быструю» экономическую отдачу от строительных проектов.

Обзор строительной отрасли Турции за период с 1972 года по первое полугодие 2015 года показал, что средняя доля присутствия турецких строительных компаний в России составила порядка 19,6%, в Туркменистане – 15,9%, в Казахстане – 6,6%, в Азербайджане – 3,5%, а в странах Ближнего Востока: в ОАЭ – 2,9%, в Катаре – 3,7%, в Саудовской Аравии – 5,3%, в Ираке – 7,4%, в Ливии – 9,4%, в Алжире – 3,9%. Совокупная доля в прочих странах (страны Африки, Австралия, страны ЕС, страны Дальнего Востока) составила 22,5%.

С 2014 года доля турецких строительных компаний на мировом рынке строительных услуг уменьшается. Но ввиду последних событий, связанных с возобновлением торговых связей с Россией, можно ожидать подъема слабеющей строительной отрасли Турции и укрепления её позиции на мировом рынке строительных услуг.

Очевидно, что каждая страна с учётом национальных особенностей, традиций, политических, правовых и географических условий проводит свои мероприятия для развития как экономики в целом, так и строительной отрасли. Однако неудивительно, что в век глобализации в этих методах проявляются общие черты.

Определение достоверной стоимости проекта является основополагающим принципом деятельности зарубежных строительных фирм. Для этого на всех этапах инвестирования, особенно в странах Западной Европы и США, при определении стоимости строительства используются укрупненные показатели стоимости строительства.

В таких странах, как США, Германия, Финляндия, Япония, Канада государство в лице своих органов реагирует на завышение цены: если норма прибыли при осуществлении строительного-монтажных работ превышает среднюю норму (10-12%), то исследуются причины такого роста - при необоснованности государство осуществляет регулирование в принудительном порядке.

Значительно снизить стоимость строительства жилья позволяет кооперация фирм, занятых в строительной деятельности. Около 80% потерь в процессе строительства возникают из-за несовершенства проектных решений, поэтому

при таком взаимодействии издержки сокращаются за счет снижения расходов на рекламу, взаимных скидок на оказываемые услуги и поставляемые материалы. За рубежом давно известна и применима практика создания картелей на основе объединения проектных, научных, строительных предприятий и предприятий-производителей материалов.

Ещё одним важным моментом в организации строительства является организация самих строительных работ и формирование команды специалистов с руководителем, отвечающим за успех проекта. В Англии, Финляндии и Швеции представителем заказчика часто является архитектор. Он подбирает необходимых для строительства специалистов, которые определяют предварительную стоимость строительства, выполняют работы по субподряду. Вместе с ними архитектор подготавливает документы для заключения контракта, в котором обуславливается целесообразность участия в торгах, программа работ до и после торгов, экономические методы производства работ и вопросы сокращения продолжительности строительства.

В США заказчик создает группу, в состав которой могут включаться сметчики, инженеры, экономисты, руководители контракта и прорабы. Далее ими разрабатывается вся необходимая документация и схемы строительного процесса. На основании полученных материалов руководитель контракта начинает работу с подрядными фирмами. При этом для оптимального выбора распространено привлечение консультационных фирм.

В Японии при строительных фирмах организуются крупные исследовательские лаборатории и институты, в штаты фирм активно привлекаются ученые. При

этом вместо понятия «заказчик» используется понятие «девелопер», в функции которого входят приобретение площадки, финансирование, строительство и продажа жилья.

В Германии заказ на производство работ получает генеральный подрядчик, который, в свою очередь, распределяет его специализированным фирмам и несет ответственность за выполнение сроков и качества строительства.

Во Франции, Англии, США и Германии при заключении договоров между дольщиками и инвесторами существует универсальное правило работы с долевыми схемами – «принцип второго этажа»: включаться в процесс инвестирования строительства менее рискованно, когда коробка дома поднялась не менее чем на два этажа.

Особого изучения требует мировой опыт использования современных технологий в строительстве. Важно, что их внедрение обеспечивает энергетическую экономию, экологичность, и более того, не замедляет строительство, а делает простым и материалосберегающим, а строение – долговечным, позволяя добиться оптимального соотношения времени и затраченных средств [2, с. 23, 6].

Идеальным примером решения проблемы снижения сроков возведения объекта является опыт Китая. Так, в провинции Хунань в течение 360 часов был построен небоскреб в 30 этажей и общей площадью 17000 кв.м. При этом проект был в 5 раз более энергоэффективен, чем конкурирующие проекты. Кроме того, сооружение отличается высокой устойчивостью и включает в себя ряд конструктивных особенностей, позволяющих ему выдерживать подземные толчки силой до 9 баллов по шкале Рихтера.

Передовые страны имеют большой опыт внедрения и осуществления мер по стимулированию экологического строительства. «Зеленые» здания оказывают меньше негативного воздействия на окружающую среду, чем здания, выполненные по стандарту [3, с. 220]. Широкое применение практики «зеленого» строительства позволит защитить окружающую среду и сберечь энергоресурсы для будущих поколений. Выбор строительства «зеленых» зданий помогает снизить потребление энергии и воды в среднем на 25-30 %.

Международная практика показывает, что наиболее эффективно экологическое строительство развивается при условии внедрения ряда мер на различных уровнях регулирования процессов строительства – определение государственных целей в области достижения энергоэффективности, модернизация нормативно-правовой базы строительства, финансирование и внедрение добровольных экологических стандартов.

Идея экологичности строительства эволюционирует в мире. Так, в 2002 году был создан Всемирный совет по экологическому строительству (World Green Building Council), а в сентябре 2015 года на саммите ООН по устойчивому развитию государства, входящие в объединение, приняли Повестку, содержащую 17 целей. Среди них есть особо важные – ликвидация нищеты, сохранение ресурсов планеты и обеспечение благополучия граждан различных государств.

Проведены уже десятки и сотни «зелёных» строительных проектов по всему миру. В Нью-Йорке был построен первый экологичный небоскреб Hearst Tower. При чём при его строительстве большую часть материалов составляли

материалы вторичной обработки. В Лондоне возведены целые кварталы жилых зданий (Green-wich Millenium Village и BED ZED), отличающихся наличием высокоэффективных энергосберегающих технологий. Подобные «зелёные» строительства проводятся в Финляндии и Германии за счёт использования солнечной энергии.

Безусловным лидером в области государственного стимулирования энергоэффективности на сегодняшний день является США. Правительство страны прилагает усилия для активного продвижения зеленого строительства на всех уровнях – федеральном, региональном и локальном. Значимые достижения в направлении экологического строительства поощряются налоговыми кредитами, льготами по налогу на имущество, гарантиями по кредитам и пр.

Особое внимание экологичному строительству уделяет Китай, что можно объяснить высокой загрязнённой средой, быстрым ростом населения и высокими темпами развития промышленного производства.

Заключение

Россия относительно недавно вступила на путь «зелёного» строительства. Государственная поддержка лишь начинает формироваться, однако ряд изданных в недавнем времени законов говорит о положительной тенденции в данном направлении.

На политической арене России вопрос повышения энергоэффективности стал одним из наиболее актуальных с 2008 г., а в 2009 г. был принят Федеральный закон № 261-ФЗ "Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ" была

поставлена задача повышения энергоэффективности в экономике России на 40%.

В 2012 году был составлен первый национальный «зеленый» стандарт в строительстве – ГОСТ Р 54964- 2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости». Он представляет собой рекомендации снижения энергопотребления, строительства рядом с «зелеными» объектами искусственных водоемов, велосипедных паркингов и зарядных постов для электромобилей и гибридных авто и др. Указанный стандарт разработан с учетом опыта применения международных систем сертификации BREEAM и LEED.

В последнее время особое внимание уделяется вопросам энергоэффективности строительных материалов. Оценка энергетической эффективности в области строительных материалов и изделий ограждающих конструкций в международной практике производится только для окон. В отличие от технологий прошлого, производство светопрозрачных заполнений достигло того уровня, когда окна поставляются на строительную площадку, готовые к установке. Поэтому качество окон – а именно их светопропускающая способность, шумозащита, воздухопропускание и сопротивление теплопередаче – должны обеспечиваться производителем и соответствовать нормативным показателям, указанным в действующих нормативных правовых актах. С выходом стандарта ISO 18292:2011 в 2011 году появилась единая международная методика, позволяющая оценивать еще один показатель – энергоэффективность окон с учетом их multifunctionality.

Этап разработки европейской методики оценки энергетической эффектив-

ности окон был закончен в 2003 г. и вовлекал в организацию исследования 8 европейских стран: Германии, Нидерландов, Дании, Великобритании, Италии, Норвегии, Швеции и Финляндии. Это стало основой составления методик определения и схем сертификации энергетической эффективности окон. Цель разработки методики состояла в облегчении потребителям выбора и стимулировании производства в отношении энергоэффективных окон.

В международной практике стандартизации и сертификации методика оценки энергетической эффективности теплоизоляционных материалов ещё не разработана. В системе стандартизации и сертификации США в отношении теплоизоляционных материалов используют практику просвещения потребителей о теплоизоляционных свойствах материалов, правильном их выборе для строительства индивидуального здания, способ укладки теплоизоляционных материалов в конструкции для достижения наибольшего энергосберегающего эффекта.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о наличии возможностей для дальнейшего поступательного развития и отечественной строительной отрасли.

Список литературы

1. Томаков В.И., Томаков М.В. Зелёное строительство в концепции устойчивого развития Российских городов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 2(71). С. 16-31.
2. Иванов В. В. Мировой рынок строительных услуг: особенности функционирования и перспективы развития. М., 2010. 23 с.
3. Социальное жилищное строительство в России: реалии и перспективы раз-

вития / Л. Г. Селютина, Е. И. Евсеева, А. В. Мартынова, В. В. Нектов, Е. С. Николук // Научное обозрение. 2015. № 21. С. 219-220.

4. Проблемные аспекты развития малоэтажного жилищного строительства России / В.С. Казейкин, С.А. Баронин, А.Г. Черных, А.Н. Андросов; под общ. ред. В.С. Казейкина, С.А. Баронина. М.: ИНФРА-М, 2011. 278 с.

5. Ларионов А.Н., Самойленко Д.Б. Зарубежный опыт регулирования рынка инвестиционного жилья // Проблемы экономики. 2007. № 4 (17). С. 101–103.

6. Ларионов А.Н. Краткий обзор мирового опыта оживления жизненного пространства // Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности: сборник докладов и материалов IV Международной научно-практической конференции. М.: Москов-

ский гуманитарный университет, 2014. С. 65–71.

7. Маршалл А. Принципы политической экономии: [пер. с англ.]. М.: Прогресс, 1993. Т.1. 357 с. 10.

8. Мэнкью Н.Г. Макроэкономика: [пер. с англ.]. М.: Изд-во МГУ, 1994. 655 с.

9. Шодонере Ж. Основные участники современного градостроительного процесса во Франции / пер. с франц. Л. Хакимзяновой. М., 2001. 76 с.

10. Экономическая история мира: в 6 т. / колл. авторов под ред. М.В. Конотопова. Т. 6. Кн. 2. Очерки экономической теории. М.: Кнорус, 2012. 528 с.

11. Бредихин В.В., Шлеенко А.В., Бредихина Н.В. Развитие производственно-технического потенциала строительной отрасли. Курск, 2016. 114 с.

Поступила в редакцию 23.07.18

UDC 69.001.6

M.F. Nikulina, Master Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: mogorianmarchella@gmail.com)

A.P. Kalujskih, Master Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: annetta024@yandex.ru)

A.V. Shleenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Southwest State University (50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: shleenko77@mail.ru)

SOLVING PROBLEMS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN RUSSIA, TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF FOREIGN COUNTRIES

This article substantiates the significance of the development of construction for the lives of people and the state as a whole. The situation in the construction sector of Russia is considered, the need for its intensive development is substantiated and the main problems are highlighted: high degree of monopolization of the real estate market, outdated technologies and inefficient design solutions, strong dependence on the administration, lack of motivation of local governments in the development of construction. Particularly urgent is the problem of broad construction of social housing, taking into account the climatic conditions and the level of incomes of citizens. Given the enormous resource potential of Russia, the latter task does not seem insoluble.

To solve these problems, the experience of states that have won leadership positions in the industry is suggested. On this basis, it will be rational to create an individual national approach for the development of construction in Russia, taking into account resource, economic, technological, climatic and legal features. The work takes into account the pace of development of the construction of the Group of Seven countries, the United States,

as well as new leaders in the construction industry (India, Brazil, China), the reasons for such a rapid growth in their construction sector, and forecasts for their further development.

The methods of construction in such countries as China, the United States, Japan, Turkey, India, the United Kingdom, the EU countries have been studied, common features have been revealed: improvement of design decisions, determination of reliable project cost, application of modern technologies, energy saving, reduction of construction time, distribution of "green" construction, increasing the energy efficiency of structures, etc. Finally, concrete steps of the RF legislation aimed at improving the construction are reflected.

Key words: construction industry; energy efficiency; certification.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-73-81

For citation: Nikulina M.F., Kalujskih A.P., Shleenko A.V. Solving Problems in the Construction Industry in Russia, Taking INTO Account the Experience of Foreign Countries. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 73-81 (in Russ.).

References

1. Tomakov V.I., Tomakov M.V. Zeljnoe stroitel'stvo v koncepcii ustojchivogo razvitija Rossijskih gorodov. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, vol. 21, no. 2(71), pp. 16-31.

2. Ivanov V. V. Mirovoj rynek stroitel'nyh uslug: osobennosti funkcionirovanija i perspektivy razvitija. Moscow, 2010, 23 p.

3. Seljutina L. G., Evseeva E. I., Martynova A. V., Nektov V. V., Nikoljuk E. S. Social'noe zhilishhnoe stroitel'stvo v Rossii: realii i perspektivy razvitija. *Nauchnoe obozrenie*, 2015, no. 21, pp. 219-220.

4. Kazejkin V.S., Baronin S.A., Chernyh A.G., Androsov A.N. Problemnye aspekty razvitija maloletazhnogo zhilishhnogo stroitel'stva Rossii; ed. by Kazejkin V.S., Baronin S.A.. Moscow, INFRA-M Publ., 2011, 278 p.

5. Larionov A.N., Samojlenko D.B. Zarubezhnyj opyt regulirovanija rynka investicionnogo zhill'ja. *Problemy jekonomiki*, 2007, no. 4 (17), pp. 101–103.

6. Larionov A.N. Kratkij obzor mirovogo opyta ozhivlenija zhiznennogo prostanstva. Innovacii v otrasljah narodnogo hozjajstva, kak faktor reshenija social'no-jekonomicheskikh problem sovremennosti. Sbornik dokladov i materialov IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Moscow, 2014, pp. 65–71.

7. Marshall A. Principy politicheskoj jekonomii. Moscow, Progress Publ., 1993, vol.1, 357 p.

8. Mjenk'ju N.G. Makrojekonomika. Moscow, 1994, 655 p.

9. Shodonere Zh. Osnovnye uchastniki sovremennogo gradostroitel'nogo processa vo Francii. Moscow, 2001, 76 p.

10. Jekonomicheskaja istorija mira, ed. by Konotopov M.V. Vol. 6. Kn. 2. Oчерki jekonomicheskoi teorii. Moscow, Knorus Publ., 2012, 528 pp.

11. Bredihin V.V., Shleenko A.V., Bredihina N.V. Razvitie proizvodstvenno-tehnicheskogo potencijala stroitel'noj otrasli. Kursk, 2016, 114 p.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.03

Е. А. Коломиец, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
(Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: lenus07@yandex.ru)

В. Н. Николаев, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
(Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: nikovic54@yandex.ru)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА И ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Обработка пространственных данных, как правило, включает в себя процессы сбора данных, хранения и технического обслуживания, анализа и вывода. Внедрение современных технологий привело к более широкому использованию компьютеров и информационных технологий во всех аспектах пространственной обработки данных. Технология программного обеспечения, используемая в этой области, является географической информационной системой. Геоинформационная система используется различными дисциплинами как инструмент для пространственной обработки данных в географической среде.

В настоящее время определяющую роль в арсенале автоматизированных информационных систем занимают геоинформационные системы, базирующиеся на применении новейших геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования и рассматриваемые в принятых концепциях развития новых видов наукоемких технологий как приоритетные системообразующие элементы инфраструктуры.

Одним из приоритетных направлений развития информационно-коммуникационных технологий в долгосрочной перспективе определено формирование современной информационной и телекоммуникационной инфраструктуры, автоматизированных информационных систем, геоинформационных систем и геоинформационных технологий, и предоставление на их основе качественных инновационных услуг и продукции, обеспечивающих эффективное развитие промышленности и экономики регионов страны.

При этом создание и внедрение в работу органов государственного управления, предприятий промышленности геоинформационных систем как инновационных элементов автоматизированных информационных систем, происходит на фоне осложняющего действия научно-технических и экономических факторов и тенденций.

В постоянно развивающейся информационной инфраструктуре появилась четкая тенденция в интенсификации использования геопространственной компоненты, идет нарастающая оснащенность большинства элементов автоматизированных информационных систем новым видом информационного обеспечения – геопространственной информации (ГПИ).

Важным результатом распространения геоинформационных технологий является их проникновение во многие области общественно-политической жизни, в том числе сферу науки, производства, управления экономикой страны.

Ключевые слова: геоинформационная система; пространственные данные; управление объектами; автоматизированная обработка.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-82-95

Ссылка для цитирования: Коломиец Е. А., Николаев В. Н. Автоматизированная обработка и формирование геопространственной информации в социальных системах // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С.82-95.

Введение

Информационная система, сбор данных и инструментов для работы с пространственными данными, содержат дан-

ные в аналоговой или цифровой форме о явлениях реального мира [1]. Восприятие мира через отбор, обобщение и синтез дает информацию и представление этой информации, то есть данные представля-

ют собой модель явлений. Так коллекции данных, база данных является физическим хранилищем разнообразных отображений реального мира в одной и той же точке в одно и то же время.

Пространственная информация всегда связана с географическим пространством, т.е. крупномасштабным пространством. Географическое пространство является пространством топографического, землепользования / земельного покрова, климатических, кадастровых и других особенностей географического мира. Географическая технология информационной системы используется для управления объектами в географическом пространстве и получения знаний о пространственных факторах.

Постановка задачи

Сущность процессов автоматизированной обработки ГПИ, их техническая, программная и информационная реализация в наибольшей степени зависят от вида, количественных и качественных характеристик входных потоков исходной информации для каждого этапа жизненного цикла, определение которых является одной из первоочередных задач оценки эффективности процессов функционирования системы геопространственного информационного обеспечения (СГПИО).

Процесс функционирования СГПИО следует интерпретировать как целенаправленную совокупность автоматизированных процедур обработки массивов ГПИ, выполняемых элементами системы, где выходной массив одной из подсистем является исходным входным массивом информации (заявкой), поступающим на обработку другим элементом автоматизированной системы.

Под заявкой будем понимать совокупность исходных данных, представленных в формализованном виде (исходные видовые аэрокосмические изображения, данные, описания, системы требований, технические задания, руководящие технические материалы, информационные массивы баз данных и т.д.) и требования к качеству информационных массивов, поступивших на один из этапов обработки.

Источниками заявок на обработку на каждом из этапов являются совокупности массивов, получаемых с предыдущего этапа или из внешней среды. Причем на основе результатов обработки массивов на одном из этапов формируются заявки на выполнение работ на последующем этапе.

Модель автоматизированной обработки и формирования геопространственной информации

Обработка пространственных данных, как правило, включает в себя процессы сбора данных, хранения и технического обслуживания, анализа и вывода. В течение многих лет это было сделано с использованием аналоговых источников данных, ручной обработки и производства бумажных карт. Внедрение современных технологий привело к более широкому использованию компьютеров и информационных технологий во всех аспектах пространственной обработки данных. Программное обеспечение, используемое в этой области, является использованием географических информационных систем (ГИС).

С помощью ГИС, карты могут быть сохранены в цифровом виде в базе данных мировых координат (метры или футы). Поэтому не нужно делать масштаб-

ные преобразования, преобразования между картографическими проекциями можно легко сделать с помощью программного обеспечения. Функции пространственного анализа ГИС применяются для выполнения задач планирования. Это может ускорить процесс и позволить легко вносить изменения в ходе анализа [2].

Пространственная обработка данных включает в себя множество дисциплин. Можно выделить дисциплины, которые развивают пространственные представ-

ления, предоставляют средства для сбора и обработки пространственных данных, обеспечивают формальную и теоретическую основу, являются проверенными, а также поддерживают обработку пространственных данных в правовых и управленческих аспектах [3]. Таблица 1 показывает классификацию некоторых из этих дисциплин. Они сгруппированы по тому, как они взаимодействуют с пространственной информацией.

Таблица 1

Классификация дисциплин, участвующих в анализе пространственных данных

Характеристики дисциплин	Примеры дисциплин
Развитие пространственных понятий	География
	Когнитивные науки
	Лингвистика
	Психология
Средства для сбора и обработки пространственных данных	Дистанционное зондирование
	Геодезия
	Картография
	Экспертные системы
	Компьютерные науки
	Математика
Приложения	Статистика
	Археология
	Архитектура
Юридические науки	Региональная и Градостроительная геодезия
	Экономика

Географические информационные системы используются различными дисциплинами как инструменты для пространственной обработки данных в среде геоинформатики.

В зависимости от интересов конкретного применения, ГИС можно рассматривать как хранилище данных (применение пространственной базы данных), инструментарий, технологию, источник информации или науку (пространственную информатику) [4].

Географическая информационная технология используется для управления объектами в географическом пространстве и получения знаний от пространственных факторов. Пространственная теория информации является основой для ГИС путем объединения полей, которые имеют дело с пространственным мышлением, представлением пространства и человеческим пониманием пространства: пространственное мышление рассматри-

вает вывод пространственной информации из пространственных фактов.

Научные методы для представления о пространстве имеют особенное значение для разработки моделей данных и структур данных для представления объектов в пространственных базах данных. Пространственные базы данных отличаются от стандартных баз данных по их способности хранить и управлять данными с протяженностью в пространстве и времени (пространственные типы данных).

Теория используется для разработки моделей высокого уровня пространственных явлений и процессов. Затем они отображаются в концептуальные, логические и физические модели пространственных баз данных. База данных занимает центральное место в среде геоинформатики. Данные вводятся в базу данных во входных процессах.

Процессы управления данными, анализ и отображение часто поддерживаются правилами, которые являются производными от экспертов в предметной области. Системы, в которых применяются хранимые правила, позволяющие перейти к выводам, называются на основе правил или систем, основанных на знаниях.

Геоинформационные системы преследуют следующие цели:

- увеличить эффективность планирования и принятия решений;
- обеспечить эффективное средство для распределения и обработки данных;
- устранение избыточной базы данных (свести к минимуму дублирование);
- способность интегрировать информацию из многих источников;
- комплексный анализ/запрос, включающий географические ссылочные данные для получения новой информации [5].

Формирование и применение геопространственного информационного обеспечения в виде массивов ГПИ и геопространственная информационная модель представляют собой одновременно процессы функционирования базы геопространственных данных (БГД) и являются этапами жизненного цикла применения информации.

Согласно идеологии стандарта ISO/IEC 12207 структура жизненного цикла геопространственного информационного обеспечения может быть представлена тремя группами процессов [6]:

- основные процессы жизненного цикла геопространственного информационного обеспечения (формирование требований и облика, разработка, эксплуатация, сопровождение);
- вспомогательные процессы (документирование, управление составом и характеристиками геопространственного информационного обеспечения, обеспечение качества, аттестация и сертификация выходного информационного продукта, решение текущих технологических проблем);
- организационные процессы (управление ресурсами БГД и информационными проектами, создание инфраструктуры проекта, улучшение технико-экономических показателей самой базы геопространственных данных, обучение персонала).

Модель жизненного цикла геопространственного информационного обеспечения – структура, определяющая последовательность выполнения и взаимосвязи процессов, действий и задач, выполняемых на протяжении жизненного цикла, как продукта функционирования автоматизированной системы [7], поскольку процессы разработки информационных продуктов относятся к предметной

области взаимодействия «человек – информационно-вычислительные ресурсы».

Анализируя возможности и условия создания моделей жизненного цикла СПИО следует иметь в виду, что системы такого класса целесообразно представлять в виде следующих компонент [2,8]:

- технического обеспечения (ТО);
- программно-технологического обеспечения (ПТО);
- информационного обеспечения (ИО);
- интеллектуального обеспечения (ИНО).

Прежде чем приступить к построению моделей функционирования элементов ГИС конкретизируется состав и содержание основных процедур, которые могут выполняться при автоматизированной обработке информации. К ним относятся следующие:

1. Сбор информации – накопление информации с целью обеспечения достаточной полноты для принятия решения.

2. Формализация информации – приведение информации, поступающей из различных источников, к одинаковой форме, чтобы сделать информацию сопоставимой между собой.

3. Сортировка информации – упорядочение информации по заданному признаку.

4. Фильтрация информации – отсеивание информации, в которой нет необходимости для принятия решений.

5. Преобразование информации – перевод информации из одной формы в другую, из одной структуры в другую.

6. Архивация информации – организация хранения информации в определенной форме.

7. Защита информации – комплекс мер, направленных на предотвращение

утраты, воспроизведения и модификации (изменения) информации.

Модель ГИС, как и любая модель, должна удовлетворять следующему основному требованию: должна быть обеспечена максимально возможная простота модели при необходимой представительности, т.е. модель должна адекватно отображать существенные для данной задачи свойства системы. Следовательно, чтобы не загружать модель излишней информацией, затрудняющей исследование и анализ результатов, целесообразно, чтобы из всего многообразия факторов, характеризующих работу ГИС и ее взаимодействие со средой, в модели должны учитываться лишь те факторы, которые существенно влияют на результаты данного исследования.

Компоненты системы, существенно влияющие на выполнение требований к ней, можно разделить на две части. Одни компоненты создаются исследователем – выбор структуры и параметров, разработка конструкции. Другие компоненты по тем или иным причинам оказываются заданными, выбор структур и параметров не представляется возможным. Поэтому объект моделирования целесообразно разделять на две части:

1. Объект синтеза – совокупность тех компонентов ГИС, выбором структуры и параметров которых, а также управление ими может существенно влиять на выполнение требований к системе.

2. Внешняя среда объекта синтеза – совокупность тех компонентов системы и ее внешней среды, которые существенно влияют на выполнение требований к системе, но структуру и параметры которых выбирать не представляется возможным [9].



Рис. 1. Модель ЖЦ и особенности функционирования СГПИО

Кроме свойств параметров, характеризующих процессы автоматизированной обработки и формирования в условиях массовой обработки, необходим анализ динамики внешней среды в каждой из подсистем БГД, который выполняется через оценку характеристик исходных потоков заявок.

Учитывая, что длительность процессов обработки ГПИ на разных этапах ее прохождения зависит от множества разнообразных факторов, в качестве методов описания и исследования потоков внеш-

ней среды целесообразно принять имитационно-вероятностный подход.

Перечисленные особенности заложены в основу разработанной имитационной модели, сутью которой является формирование распределений, расчет и прогноз основных параметров потоков заявок, поступающих на каждый этап автоматизированной обработки в процессе функционирования типовой БГД. Структура программного обеспечения имитационной модели приведена на рис. 2.

Модель учитывает следующие параметры внешней среды:

- число выполняемых информационных проектов S ;
- планируемое время начала, окончания, длительности проектов и отдельных этапов – $t_H, t_K, \Delta t, \Delta t_j$;
- тип массива ГПИ – $i = 1(1)I$;
- разновидность этапа обработки – $j = 1(1)J$;
- классификацию «сложности» массива – $d = 1(1)D$;
- количество массивов информации каждого типа, необходимых на конкретном этапе разработки – n_{sijd} ;

- долю (процентное соотношение) типов массивов ГПИ в потоке λ .

Перечисленные исходные данные определяются на основе долгосрочных и оперативных планов по обработке ГПИ, технических заданий и руководящих технических указаний на информационный проект и имеющейся статистики по выполненным работам.

ГИС состоит из четырех элементов: аппаратные средства, программное обеспечение, данные и субъект [10]. В таблице 2 представлены элементы геоинформационных систем.

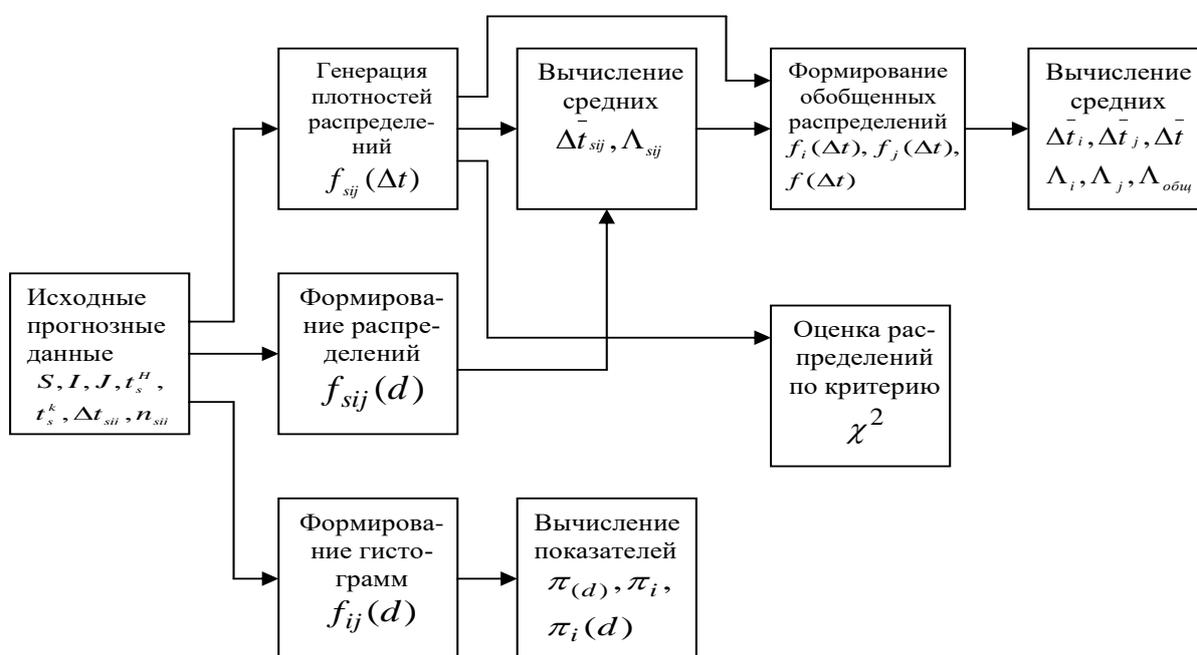


Рис. 2. Структура имитационной модели оценки характеристик входных потоков заявок на автоматизированное обеспечение и формирование массивов ГПИ

Таблица 2

Элементы ГИС

№	Элемент ГИС	Детали
1	Тип оборудования компьютерных платформ	Скромный Персонал Компьютеры
		Высокопроизводительные рабочие станции
		Миникомпьютеры
		Универсальный компьютер
		устройство ввода
		Сканеры
		Цифрователи

№	Элемент ГИС	Детали
		Магнитная лента
		CD
		Клавиатура
		Графический монитор
		Устройство вывода
		Плоттеры
		Принтеры
2	Программные модули ввода	Редактирование
		Модули управления/ анализа MRP
		Возможность моделирования
3	Данные	Пространственные данные
		Данные дистанционного зондирования
		Глобальная база данных
4	Эксплуатационный персонал	Люди, ответственные за оцифровку
		Внедрение с использованием ГИС обученного персонала

Есть несколько различных способов организации данных в информационной системе. Выбор структуры данных влияет на то, как хранятся объемные данные и на эффективность обработки. По возможности для хранения и манипулирования данными атрибутов в дополнении к пространственной информации выделяют три основные структуры данных - реляционная, иерархическая и сетевая.

Реляционная структура данных организует данные в терминах двумерных таблиц, где каждая таблица представляет собой отдельный файл. Иерархическая структура данных хранит данные таким образом, что иерархия сохраняется среди элементов данных. Каждый узел может быть разделен на один или более дополнительных узлов. Структура данных сети аналогична структуре иерархии за исключением того, что в этой структуре узел может иметь более одного родителя.

Точность данных часто группируются в соответствии с тематической точностью, точностью позиционирования и

временной точностью, происходящих на различных этапах пространственной обработки данных [11-12].

Ошибки в среде ГИС могут быть разделены на следующие основные группы:

- возраст данных (надежность уменьшается с возрастом);
- масштаб карты (недоступность данных в соответствующем масштабе или использовании данных в различных масштабах);
- плотность наблюдения (единично набор данных менее надежны);
- актуальность данных (использование суррогатных данных приводит к ошибкам);
- неточность данных (позиционная, высота, минимальная представляемая на карте единица и т.д.);
- неточность содержания (атрибуты ошибочно прикреплены).

Ошибки, связанные с обработкой:

- ошибки оцифровки карты (из-за граничных проблем местоположения на

картах и ошибках связались с цифровым представлением особенностей);

– ошибки растеризации (из-за топологического несоответствия, возникающего во время приближения при сетке);

– пространственные ошибки Интеграции (должны нанести на карту интеграцию, приводящую к поддельным многоугольникам);

– ошибки обобщения (из-за скопления обрабатывают, когда особенности редуцируются, чтобы понизить масштаб);

– ошибки несоответствия признака.

Ошибки также добавляются из источника данных. Необходимо соблюдать осторожность при создании баз пространственных данных из точных и надежных источников данных. При понимании важности, пользователи могут потребовать в будущем предоставлять им желаемые данные тега, поэтому пространственные данные должны быть представлены в количественных терминах.

ГИС используется для выполнения различного пространственного анализа, в том числе наложения результирующих комбинации признаков и условий записи, анализируя потоки или другие характеристики сети; анализ близости и определение районов с точки зрения пространственных критериев. ГИС может запросить географические особенности и получить соответствующую информацию, атрибут, который называется идентификацией. Он может генерировать новый набор карт по запросу и анализу. Она также развивает новую информацию пространственных операций. Ниже приведены аналитические процедуры, применяемые с ГИС. Порядок работы ГИС и аналитические задачи, которые особенно полезны для пространственного анализа, включают в себя:

- однослойные операции;
- многослойные операции / топологическое наложение;
- геометрическое моделирование;
- расчет расстояния между географическими объектами вычисления площади, длины и периметра геометрических буферов;
- сетевой анализ;
- анализ поверхности;
- растровый анализ;
- анализ сетки.

Численное моделирование

Исходными начальными данными для решения задач построения СГПИО и ее подсистем являются временные зависимости интенсивностей входных потоков заявок на выполнение автоматизированной обработки и формирования различных типов массивов ГПИ – li , удельный вес массива ГПИ i -типа в потоке исходной аэрокосмической видовой информации – li , распределение уровня сложности массива информации в потоке $li(d)$.

С целью получения перечисленных параметров и проверки работоспособности предложенной модели и методики было выполнено имитационное моделирование характеристик внешней среды для СГПИО АПК Курской области.

В данном случае ставилась задача получения и сравнения оцениваемых параметров и имеющихся статистических данных с целью определения работоспособности, точности разработанной модели и методики. Исходная информация для обработки и оценки данного эксперимента выбиралась на основе результатов реализации нескольких крупных информационных проектов с наиболее объемным представлением ГПИ и данных дистанционного зондирования в них и

содержала описание следующих параметров внешней среды:

1. Количество выполняемых информационных проектов $S = 4$.

2. Характер работ по проекту (определяет перечень необходимых исходных данных и геоинформационных техноло-

гий) – обработка и формирование массивов ГПИ в интересах создания геопространственной информационной модели Курского региона.

3. Разновидности типов и параметры потоков исходной информации, приведенных в таблице 3.

Таблица 3

Параметры потока исходной аэрокосмической и сопутствующей информации, приходящиеся на один информационный проект

№	Массив ГПИ i-типа	Формат массива	Период поступления, месяц	Количество массивов	Сложность (объем) массива, Мбайт
1	Снимки территорий региона(трапеции), М 1: 10 000	Растр	3÷6	50÷400	10÷10 000
2	Детальные снимки (зона, квартал, объект) М 1: 2 000	Растр	3÷6	50÷400	10÷10 000
3	Фрагменты ГИП (квартал, объект)	Вектор	1÷2	30÷100	1÷1000
4	Массивы атрибутивной информации и локальные БД	Текст	3÷6	10÷100 000	0,01÷1
5	Массивы обеспечивающей информации: ТЗ, РТУ, ТУ, ИЭ и т.д.	Вектор, текст	1÷6	5÷50	0,1÷100

Установлены следующие пределы изменения исходных данных внешней среды и требований к ГПИ города Курска и области:

1. Общая площадь обработки – 500÷2500 кв. км.

2. Население – 0,4÷1,5 млн. человек.

3. Количество обрабатываемых и формируемых тематических и специальных слоев в ГИМ – 5-12.

4. Количество векторизуемых объектов в слоях:

– дорожная сеть – 200÷15000;

– гидрография – 50÷1500;

– растительность – 3000÷70000;

– здания – 3000÷55000;

– специальные объекты – 200÷2000.

5. Объем исходных массивов видовой и атрибутивной информации – 0,1÷10 Гбайт.

В таблице 4 приведены средние значения интенсивности потоков видовой информации на обработку. Оценка уровня сложности исходной видовой и сопутствующей информации осуществлялась посредством количественной оценки массива и соотнесения его к определенной группе сложности.

Анализ тенденций изменения параметров показывает, что в перспективе будет происходить перераспределение удельного веса различных компонент исходной ГПИ, что связано, в первую очередь, с функциональным назначением разрабатываемых

ГИМ объектов и условий применения в социально-экономической организации.

В целом произойдет увеличение доли атрибутивной информации. При этом

сложность каждого типа массива ГПИ по сравнению с имеющимся уровнем может возрасти в 2-5 раз при увеличении интенсивности потоков более чем на порядок.

Таблица 4

Результаты ретроспективной оценки параметров потока исходной видовой, аэрокосмической и сопутствующей информации в АПК

№ пп	Массив ГПИ i типа	Λ_i , I/час	π_i	π_i (d)						\bar{d}_i
				1	2	3	4	5	6	
1	Снимки территорий (трапеции), М 1: 10 000	0,528	0,48	0,1	0,25	0,3	0,2	0,1	0,05	3,1
2	Детальные снимки (квартал, объект) М 1: 2 000	0,33	0,3	0,15	0,2	0,2	0,2	0,15	0,1	3,3
3	Фрагменты ГПИ (квартал, объект)	0,055	0,05	0,05	0,2	0,3	0,3	0,1	0,05	3,35
4	Массивы атрибутивной информации и локальные БД	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	3,5
5	Массивы обеспечивающей информации: ТЗ, РТУ, ТУ, ИЭ	0,087	0,07	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	3,5
	Усредненный массив ГПИ	1,1	1							3,4

Обсуждение результатов и заключение

Географическая информационная система (ГИС) использует мультидисциплины в качестве инструментов для пространственных обработок данных в географической среде. Основные элементы ГИС состоят из аппаратных средств, программного обеспечения, данных и субъекта.

Предложена концептуальная модель обработки и использования ГПИ в составе СГПИО. Проведен анализ содержания этапов жизненного цикла БГД геопространственного информационного обеспечения и определены технологические схемы, реализующие указанные этапы. Выполненный анализ позволил выявить особенности функционирования СГПИО в процессе ее жизненного цикла. Данными особенностями являются:

– интегральный характер обработки геопространственного информационного

обеспечения, вызванный необходимостью привязки к объектам координатно-метрической, атрибутивной информации и формированием многослойных массивов ГПИ;

– распределенность основных ресурсов, обусловленная как разновидностью исходной видовой информацией, так и сетевым характером размещения информационно-вычислительных ресурсов;

– высокая наукоемкость процессов автоматизированной обработки и формирования ГПИ, связанная с необходимостью использования цепочки высокотехнологичных процессов геоинформационных технологий;

– параллельный коллективный характер формирования ГПИ, обусловленный особенностями использования интеллектуального обеспечения.

Проведены вычислительные эксперименты по моделированию характеристик внешней среды: исходных данных и

входных информационных потоков при разработке геопространственного информационного обеспечения, процесса автоматизированной обработки и формирования ГПИ.

Есть много приложений геоинформатики, а именно: объект управления, планирование, мониторинг окружающей среды, анализ переписи населения, оценка страхования, а также предоставление услуг здравоохранения, картографирование опасности и многие другие приложения.

С появлением World Wide Web, новых интернет-протоколов, таких как протокол передачи гипертекста (HTTP), а также простой в использовании интерфейс (браузеры), инструменты и языки (HTML, XML и Java), Интернет стал центром для ГИС функциональности со стороны клиента даже без какого-либо программного обеспечения ГИС. Поле ГИС все еще развивается и становится основной движущей силой в различных сферах жизни, связанных с географической информацией.

Список литературы

1. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 4. С. 85–90.

2. Николаев В.Н. Техничко-экономические модели геоинформационных систем научно-производственных предприятий: монография. Курск, 2015. 220 с.

3. Николаев В.Н. Выбор показателя качества функционирования системы обработки геопространственной информации с разнотипными распределенными ресурсам // Системы управления и ин-

формационные технологии. 2006. Т.23. № 1. С. 51-53.

4. Николаев В.Н. Управление жизненным циклом инновационной ГИС: монография. Саабрюкен: Palmarium academic publishing, 2013. 374 с.

5. Николаев В.Н. Методология построения и использования инновационных геоинформационных систем: монография Курск, 2014. 166 с.

6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-99. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. М. : Госстандарт России, 2000.

7. Макарьин И.В., Николаев В.Н. Организация инфраструктуры производства базовых информационных ресурсов научно-промышленного предприятия // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 2. С. 51-61.

8. Николаев В.Н., Дорохов Д.С., Толбин А.Э. Модель организации технико-экономических ресурсов инновационного предприятия // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2015. № 2(7). С. 192-195.

9. Методология создания автоматизированных информационных систем коллективной обработки разнородной информации от средств аэрокосмического мониторинга: монография / Г.В. Кузьмин, И.В. Макарьин, В.Н. Николаев, Н.Р. Стратилатов. Курск, 2018. 245 с.

10. Николаев В.Н. Модель процесса функционирования распределенной системы обработки геопространственной информации коллективного пользования с различными элементами // Системы управления и информационные технологии. 2006. Т.25. № 3. С. 19-22.

11. Коломиец Е.А., Рогатин С.И., Стратилатов Н.Р. Модель показателя затрат создания геоинформационной си-

стемы предприятия // Молодежь и XXI век - 2018: материалы VIII международной молодежной научной конференции: в 5 т. Курск, 2018. С. 120-122.

12. Коломиец Е.А., Рогатин С.И. Показатели качества процесса создания геоинформационной продукции // Качество в

производственных и социально-экономических системах: сборник научных трудов 6-й международной научно-технической конференции: в 2 т. Курск, 2018. С. 282-285.

Поступила в редакцию 09.07.18

UDC 004.03

E. A. Kolomiets, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: lenus07@yandex.ru)

V. N. Nikolaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: nikovic54@yandex.ru)

AUTOMATED PROCESSING AND THE FORMATION OF GEOSPATIAL INFORMATION IN SOCIAL SYSTEMS

Spatial data processing typically involves data collection, storage and maintenance, analysis, and output. The introduction of modern technologies has led to increased use of computers and information technology in all aspects of spatial data processing. The software technology used in this area is a geographic information system. Geographic information systems are used by various disciplines as tools for spatial data processing in a geographic environment.

Currently, the determining role in the Arsenal of automated information systems is occupied by geoinformation systems based on the use of the latest geoinformation technologies and remote sensing data and considered in the adopted concepts of the development of new types of science-intensive technologies as priority system-forming elements of infrastructure.

One of the priority directions of development of information and communication technologies in the long term is the formation of modern information and telecommunication infrastructure, automated information systems, geographic information systems and geoinformation technologies, and the provision on their basis of quality innovative services and products that ensure the effective development of industry and the economy of the country's regions.

At the same time, the creation and implementation of geoinformation systems as innovative elements of automated information systems into the work of government bodies, enterprises of industry, takes place against the background of the complicating action of scientific, technical and economic factors and trends.

In the constantly developing information infrastructure there is a clear trend in the intensification of the use of geospatial components, there is a growing equipment of most elements of automated information systems with a new type of information support – geospatial information.

An important result of the spread of geoinformation technologies is their penetration into many areas of social and political life, including the sphere of science, production, management of the country's economy.

Key words: *geographic information system; spatial data; object management; automated processing.*

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-82-95

For citation: Kolomiets E. A., Nikolaev V. N. Automated Processing and the Formation of Geospatial Information in Social SystemS. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 82-95 (in Russ.).

Reference

1. Savinyh V.P., Solov'jov I.V., Cvetkov V.Ja. Razvitie nacional'noj in-

frastruktury prostranstvennyh dannyh na osnove razvitija kartografogeodezicheskogo fonda Rossijskoj Federacii. *Izv. vuzov. Ge-*

odezija i ajerofotos#emka, 2011, no. 4, pp. 85–90.

2. Nikolaev V.N. Tehniko-jekonomicheskie modeli geoinformacionnyh sistem nauchno-proizvodstvennyh predpriyatij. Kursk, 2015, 220 p.

3. Nikolaev V.N. Vybor pokazatelja kachestva funkcionirovanija sistemy obrabotki geoprostranstvennoj informacii s raznotipnymi raspredelennymi resursam. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii*. 2006, vol.23, no. 1, pp. 51-53.

4. Nikolaev V.N. Upravlenie zhiznennym ciklom innovacionnoj GIS. Saabrjuken, Palmarium academic publishing, 2013, 374 p.

5. Nikolaev V.N. Metodologija postroenija i ispol'zovanija innovacionnyh geoinformacionnyh sistem. Kursk, 2014, 166 p.

6. GOST R ISO/MJeK 12207-99. Informacionnaja tehnologija. Processy zhiznennogo cikla programmnyh sredstv, Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 2000.

7. Makar'in I.V., Nikolaev V.N. Organizacija infrastruktury proizvodstva bazovyh informacionnyh resursov nauchno-promyshlennogo predpriyatija. *Izv. vuzov. Geodezija i ajerofotos#emka*, 2012. no. 2, pp. 51-61.

8. Nikolaev V.N., Dorohov D.S., Tolbin A.Je. Model' organizacii tehniko-

jekonomicheskikh resursov innovacionnogo predpriyatija. *Innovacionnaja jekonomika: perspektivy razvitija i sovershenstvovanija*, 2015, no. 2(7), pp. 192-195.

9. Kuz'min G.V., Makar'in I.V., Nikolaev V.N., Stratilatov N.R. Metodologija sozdaniya avtomatizirovannyh in-formacionnyh sistem kollektivnoj obrabotki raznorodnoj informacii ot sredstv ajerokosmicheskogo monitoringa. Kursk, 2018, 245 p.

10. Nikolaev V.N. Model' processa funkcionirovanija raspredelennoj sistemy obrabotki geoprostranstvennoj informacii kollektivnogo pol'zovanija s razlichnymi jelementami. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii*, 2006, vol.25, no. 3, pp. 19-22.

11. Kolomic E.A., Rogatin S.I., Stratilatov N.R. Model' pokazatelja zatrat sozdaniya geoinformacionnoj sistemy predpriyatija. *Molodezh' i XXI vek - 2018. Materialy VIII mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii*. Kursk, 2018, pp. 120-122.

12. Kolomic E.A., Rogatin S.I. Pokazateli kachestva processa sozdaniya geoinformacionnoj produkcii. *Kachestvo v proizvodstvennyh i social'no-jekonomicheskikh sistemah. Sbornik nauchnyh trudov 6-j mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. Kursk, 2018, pp. 282-285.

А.Л. Машкова, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, ЦЭМИ РАН (Россия, 117418, Москва, Нахимовский проспект, 47) (e-mail: aleks.savina@gmail.com)

О.А. Савина, д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94) (e-mail: o.a.savina@gmail.com)

А.В. Маматов, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный национальный университет» (Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85) (e-mail: mamatovav@bsu.edu.ru)

Е.В. Новикова, аспирант, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94) (e-mail: esty92@ya.ru)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В ОТРАСЛЕВОМ РАЗРЕЗЕ

В статье раскрываются вопросы математической формализации и алгоритмической реализации процессов экономической динамики. Для разработки компьютерной модели отраслевого развития экономики России был выбран агентный подход, позволяющий оценить результат управляющих воздействий как совокупности реакций на них отдельных людей и организаций.

В настоящее время в практике управления социально-экономическими системами различного уровня востребованы новые методы для оценки влияния кредитно-денежной, инвестиционной, налоговой и социальной политики на общественную стабильность и экономическую безопасность страны. Многообразие и стохастический характер факторов, влияющих на отраслевое развитие экономики России, обусловило необходимость проведения междисциплинарного исследования, сочетающего агентное имитационное моделирование, социально-экономического анализ, методы искусственного интеллекта и когнитивной психологии. В контексте разработки компьютерной модели экономики России в качестве механизмов реализации процессов экономической динамики рассматривается совокупность изменений конечного, промежуточного и инвестиционного спроса в экономике и ответная реакция рынка в виде изменения объемов выпуска продукции отдельными организациями, увеличения или сокращения потребности в персонале, финансовых ресурсах и оборудовании.

Управляемыми параметрами компьютерной модели являются мероприятия по реализации отраслевых и региональных программ развития, введение налоговых льгот для развивающихся производств и пр. Модель обеспечивает оценку влияния принимаемых управленческих решений на экономическую систему; в частности, при анализе различных вариантов отраслевых программ обеспечивается возможность сравнения их влияния на структуру экспорта – импорта и оценки импортозамещающего эффекта. Предлагаемый подход имеет существенные отличия от применяемых в настоящее время математических и программных моделей экономики и обеспечивает возможность прогнозирования неравновесных экономических систем в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель; отраслевая структура экономики; экономическое развитие; промежуточный спрос; инвестиционная программа.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-96-108

Ссылка для цитирования: Компьютерное моделирование процессов экономической динамики в отраслевом разрезе / А.Л. Машкова, О.А. Савина, А.В. Маматов, Е.В. Новикова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 96-108.

Введение

В условиях экспоненциального роста объема доступной информации и компьютерных мощностей возникает необходимость разработки новых методологических подходов и инструментальных

средств, позволяющих использовать открывающиеся информационно-вычислительные возможности в сферах прогнозирования, планирования и управления. Новые методы широко востребованы в практике управления социально-экономическими системами различного уров-

ня, в частности в управлении экономическим развитием России; оценке последствий кредитно-денежной, инвестиционной, налоговой и социальной политики на общественную стабильность и экономическую безопасность страны [8].

Под экономической динамикой понимается процесс развития хозяйственной системы, сопровождающийся непрерывным изменением объемов и структуры общественного производства, расширения или сокращения возможностей национальной экономики удовлетворять меняющиеся общественные потребности [16]. В контексте разработки компьютерной модели экономики России в качестве механизмов реализации процессов экономической динамики рассматривается совокупность изменений конечного, промежуточного и инвестиционного спроса в экономике и ответная реакция рынка в виде изменения объемов производства в соответствующих отраслях на каждом такте модельного времени.

Экономическая система в долгосрочном периоде является неравновесной. Решения каждого экономического субъекта оказывают влияние на решения связанных с ним субъектов и таким образом на динамику системы в целом. Поскольку численность и половозрастной состав населения подвергаются постоянным изменениям, совокупность решений жителей в следующем году всегда будет отличаться от совокупности решений, принятых в предшествующем. Помимо индивидуальных решений физических и юридических лиц на экономическую систему воздействует ряд внешних факторов, в том числе курс национальной валюты, спрос и цена на экспортируемые товары, в результате чего изменяются действия государства и юридических лиц.

С учетом перечисленных особенностей для разработки компьютерной модели отраслевого развития экономики России был выбран агентный подход, позволяющий оценить результат управляющих воздействий как совокупности реакций на них отдельных людей и организаций. Концепция агентного моделирования была предложена в 1990-х годах [3] и с тех пор получила широкое распространение в исследовании социальных, экономических и политических процессов [1-2,4-6]. Процесс агентного моделирования является индуктивным; его теоретическую основу составляют теория сложных систем, клеточных автоматов, теория игр и коллективного поведения. При разработке модели метод агентного моделирования сочетается с методами финансово-экономического анализа, искусственного интеллекта и анализа больших данных.

Предлагаемый подход имеет существенные отличия от применяемых в настоящее время математических и программных моделей экономики. В основе существующих математических моделей экономики лежат производственные функции, уравнения регрессии и общего экономического равновесия; в большинстве вычислительных моделей для описания динамики макроэкономической среды также применяются функциональные зависимости агрегированных показателей, что ограничивает их возможности для анализа процессов отраслевого развития. Межотраслевые балансовые модели, напротив, позволяют анализировать отраслевую структуру экономики, однако не обладают прогностическими возможностями в условиях рыночной экономики, так как не учитывают механизмы принятия решений экономическими агентами микроуровня.

Постановка задачи

Модель отраслевого развития экономики России имеет модульную структуру; демографические, экономические, финансовые процессы, образовательная система и государственное управление реализованы в отдельных модулях (рис. 1). С каждой организацией связан набор рабочих мест, за которыми закрепляются агенты – наемные работники. Производителями в модели являются нефинансовые коммерческие организации, которые в процессе своей деятельности осуществляют выплату зарплаты и налогов, межотраслевые поставки, оплату аренды, начисление амортизации, продажу конечной продукции, получение и возврат кредитов, определение финансового результата. Полученная прибыль в некото-

ром соотношении распределяется между акционерами и инвестированием в расширение и модернизацию производственных мощностей. Данное соотношение определяется динамикой рыночной ситуации. Каждому виду организаций соответствует своя система бухгалтерского учета, которая является адаптированной версией принятой в России системы. Хозяйственные операции и взаимные расчеты юридических лиц отражаются на их счетах и фиксируются в проводках; итоги деятельности за год отражаются в бухгалтерском балансе; для нефинансовых коммерческих организаций строится также отчет о прибылях и убытках. Отчетные бухгалтерские формы используются при оценке финансового состояния объектов, расчете инвестиционных программ и схем кредитования.

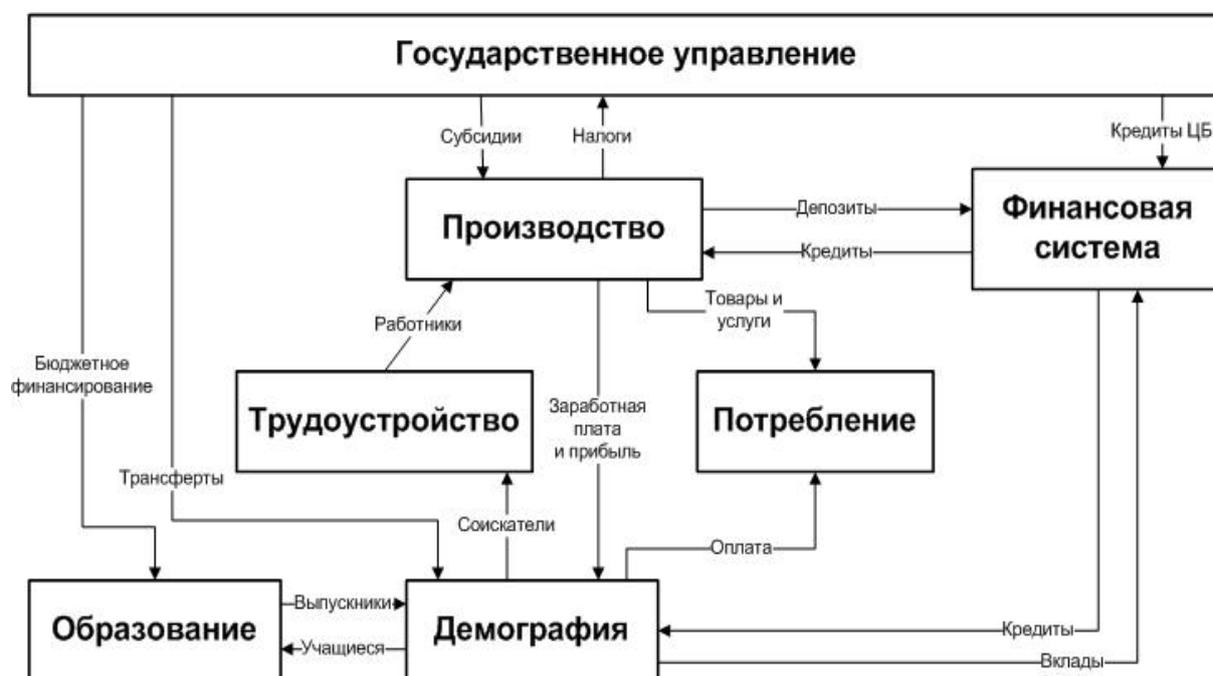


Рис. 1. Модульная структура модели отраслевого развития экономики России

Динамика промежуточного спроса в модели определяется соотношением платежеспособного спроса на конечную продукцию со стороны домашних хозяйств и общего объема произведенной конечной

продукции, находящейся в розничной продаже. Торговые агенты в каждом регионе сравнивают запасы продукции, оставшиеся в конце года, с запасами, имевшимися в начале (рис. 2).

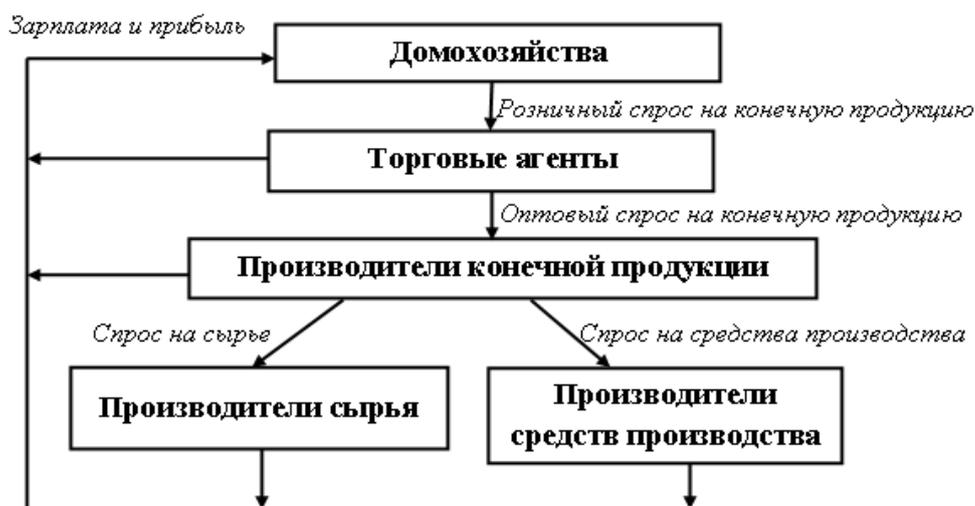


Рис. 2. Динамика конечного, промежуточного и инвестиционного спроса

Превышение объема текущих запасов над начальным уровнем означает увеличение конечного спроса по сравнению с предшествующим годом, вследствие чего оптовые заказы на конечную продукцию растут. Это вызывает петлю положительной обратной связи в виде увеличения производства в сопряженных отраслях (материалы и комплектующие), и так далее вплоть до добывающих производств. Рост объемов производства означает увеличение занятости и располагаемых доходов населения, в результате чего спрос на конечную продукцию еще больше растет. Уменьшение конечного спроса вызывает обратную реакцию снижения объемов выпуска и занятости, также приводящую к петле положительной обратной связи за счет уменьшения межотраслевых поставок и располагаемых доходов населения.

Метод, предложенный в статье

Модель отраслевого развития экономики России является результатом междисциплинарного исследования, она сочетает агентное имитационное моделирование, социально-экономического анализа, методы искусственного интеллекта и когнитивной психологии (рис.3). Агентами являются как отдельные индивиды и

домашние хозяйства, так и юридические лица различных организационных форм – бюджетные, коммерческие и финансово-кредитные организации [10]. С объектами связаны накопители, в роли которых выступают бюджеты государства, юридических лиц и домашних хозяйств.

Методы и статистические данные демографического и социального анализа используются для создания первоначального поколения агентов, установления взаимосвязей между ними и воспроизведения динамики населения. Вопросы создания первоначального поколения агентов, установления взаимосвязей между ними и воспроизведения динамики населения обсуждаются в [15].

Для отражения процедур принятия решений агентами используются разработки в области создания интеллектуальных агентов и когнитивной психологии. Это сочетание позволяет получить вычислимую архитектуру агента, ориентированную на решение социально-экономических задач [9]. Важный вклад в исследование вносит концепция ограниченной рациональности: процедуры принятия решений учитывают субъективные предпочтения и информационные ограничения агентов.



Рис. 3. Междисциплинарная схема исследования

Методы финансово-экономического анализа применяются в процедурах принятия решений агентами – юридическими лицами, а также для сбора и представления статистики в модели [11,12].

Моделирование

Моделирование процессов экономической динамики начинается с анализа потребностей в продукции отраслей, который определяет необходимость сокращения или увеличения производства (рис. 4). Для определения изменения объемов выпуска продукции для каждой организации в конце производственно-финансового цикла рассчитывается коэффициент изменения объемов выпуска:

$$kZ = 2 - \frac{CycleProduction + Z_{cur} - Z_{start} - Z_n}{CycleProduction}, (1)$$

где $CycleProduction$ – выпуск продукции за цикл; Z_{cur} – количество продукции, произведенной к текущему времени; Z_{start} – начальный уровень запасов на складе; Z_n – неудовлетворенные заказы.

Если коэффициент kZ больше единицы, то это свидетельствует о необходимости расширения производства, если меньше – то о его сокращении. Для анализа возможности увеличения производства проверяется загрузка оборудования, рабочих и возможность увеличения поставок ресурсов из других отраслей. Если оборудование в организации загружено полностью, то это свидетельствует о необходимости реализации инвестиционных программ. Поскольку расширение производства за счет вложений является длительным процессом, немедленное увеличение объемов производства в соответствии с возросшим спросом невозможно.

В случае необходимости расширения производства учитывается также коэффициент занятости рабочих. Если некоторые из них работают неполный рабочий день, то они переводятся на полную занятость. Предусмотрена также возможность нанять новых работников на бирже

труда. Расчет потребности в новых кадрах производится по формуле

$$L^* = [L_{cur} \cdot (Kl \cdot kZ - 1)] , \quad (2)$$

где L^* – количество рабочих, которых необходимо нанять; L_{cur} – количество рабочих в организации; kZ – коэффициент изменения объемов выпуска; Kl – коэффициент загрузки рабочих.

Для определения возможности увеличения межотраслевых поставок выполняется проверка всех поставщиков. Если отечественное производство не может удовлетворить растущие потребности организации в сырье и комплектующих, то осуществляется импорт необходимого количества продукции.

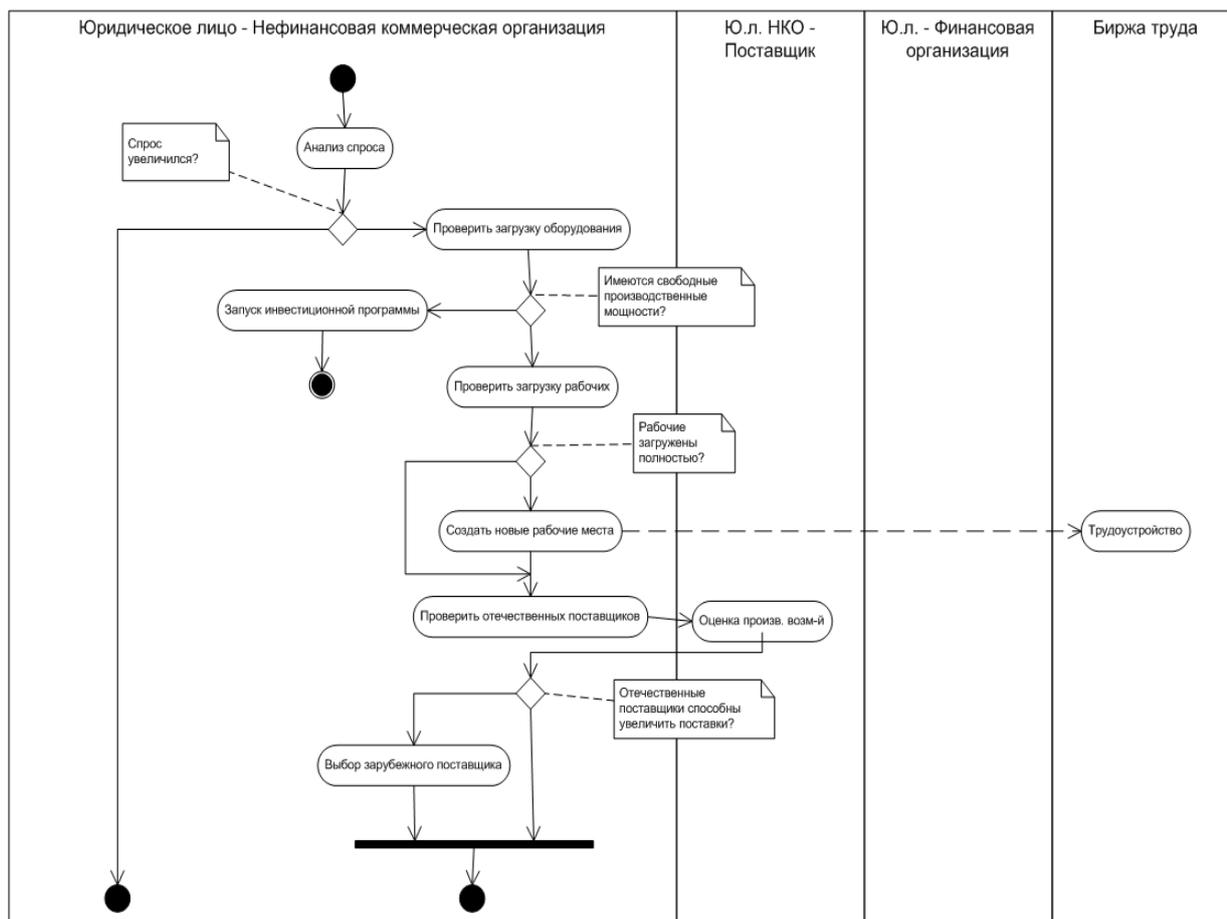


Рис. 4. Взаимодействие коммерческой организации с контрагентами в результате изменения спроса (начало)

Неудовлетворенные заказы организации рассчитываются по формуле

$$Zn = Zn + CycleProduction \times (kZ - inc_{av} - 1), \quad (3)$$

где $CycleProduction$ – выпуск продукции за цикл; kZ – коэффициент изменения объемов выпуска; inc_{av} – доступное увеличение объемов выпуска организацией.

Если спрос уменьшился, то предприятию необходимо сократить производство, а это влечет за собой освобождение площадей и оборудования, увольнение работников или перевод их на неполную занятость, а также сокращение поставок из других отраслей (рис. 5).

Высвобождение оборудования отражается через снижение коэффициента загрузки оборудования:

$$Kob = Kob \cdot kZ, \quad (4)$$

где Kob – коэффициент загрузки оборудования; kZ – коэффициент изменения объемов выпуска.

Увольнение работников сопровождается откреплением их от предприятия и

постановкой на биржу труда. Сокращению подлежат в первую очередь сотрудники с низкой квалификацией. Количество сотрудников, подлежащих сокращению, рассчитывается по формуле

$$L^* = [L_{cur} \cdot (0.95 - cur_{org} Kl)], \quad (5)$$

где L_{cur} – количество работников в организации; $cur_{org} Kl$ – коэффициент загрузки рабочих.

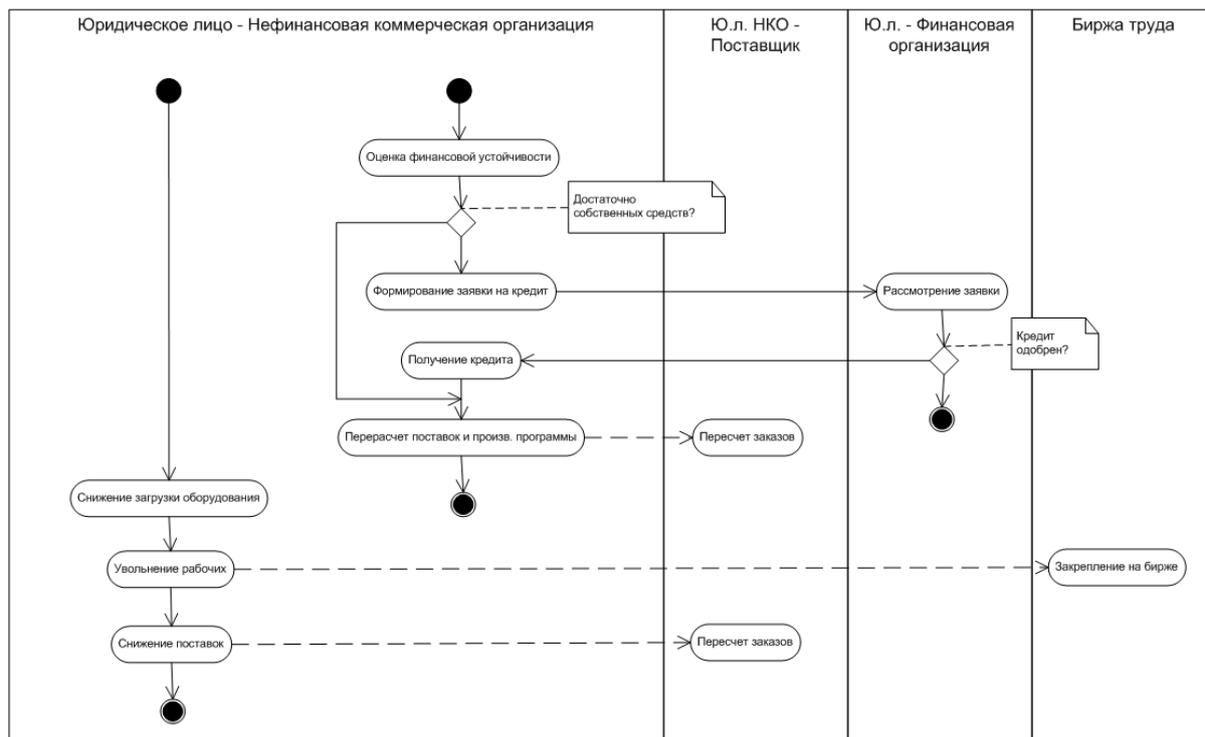


Рис. 5. Взаимодействие коммерческой организации с контрагентами в результате изменения спроса (окончание)

На динамику инвестиционного спроса влияет ряд факторов:

- расширение объемов производства, связанное с увеличением конечного спроса;
- модернизация производственных мощностей, обусловленная износом оборудования;
- реализации государственных инвестиционных программ в ключевых отраслях;
- выпуск новых видов продукции;
- внедрение инновационных производственных технологий;

- выход на рынок новых производителей;
- агрессивный захват рынка лидирующими производителями.

Уровень детализации модели позволяет отразить динамику инвестиций, обусловленную расширением объемов производства, модернизацией производственных мощностей и реализацией государственных инвестиционных программ, при этом оценивается совокупный рост или снижение инвестиций по отраслям. Влияние рыночных и инновационных факторов, обусловленных появлением

новых видов продукции и способов производства, оценивается в модели с помощью коэффициентов- мультипликаторов: $Inv_{rise} = (K_p + K_m) * (cur_{rise} + OC_{rise} + G)$, (6) где K_p – мультипликатор инвестиционного спроса, связанный с рыночными механизмами; K_m – мультипликатор инвестиционного спроса, обусловленный технологическими изменениями; cur_{rise} – объем инвестиционного спроса, рассчитанный по алгоритму; OC_{rise} – объем инвестиционного спроса, связанный с обновлением основных фондов; G – объем инвестиционного спроса по программам с государственной поддержкой.

Параметр OC_{rise} является фиксированным для отрасли и зависит от текущего износа основных фондов. Государственные инвестиции G задаются в качестве исходных параметров моделирования. Мультипликаторы инвестиционного спроса рассчитываются на основе ретро-

спективных данных о динамике выпуска и инвестиций по отраслям. Взаимодействие коммерческой организации с контрагентами в процессе реализации инвестиционной программы задается алгоритмом, представленным на рис. 6.

В качестве исходных данных для моделирования процессов экономической динамики используются сведения о динамике производства и инвестиций в различных отраслях, представленные в ежегодниках Федеральной службы государственной статистики и таблицах «затраты-выпуск» [17], а также отчетах Министерства экономического развития [14]. Данные о кредитовании юридических лиц приведены на сайте Министерства финансов [13] и Центрального банка России [13]. Данные об инвестиционных программах отдельных организаций доступны на портале государственной информационной системы промышленности [7].

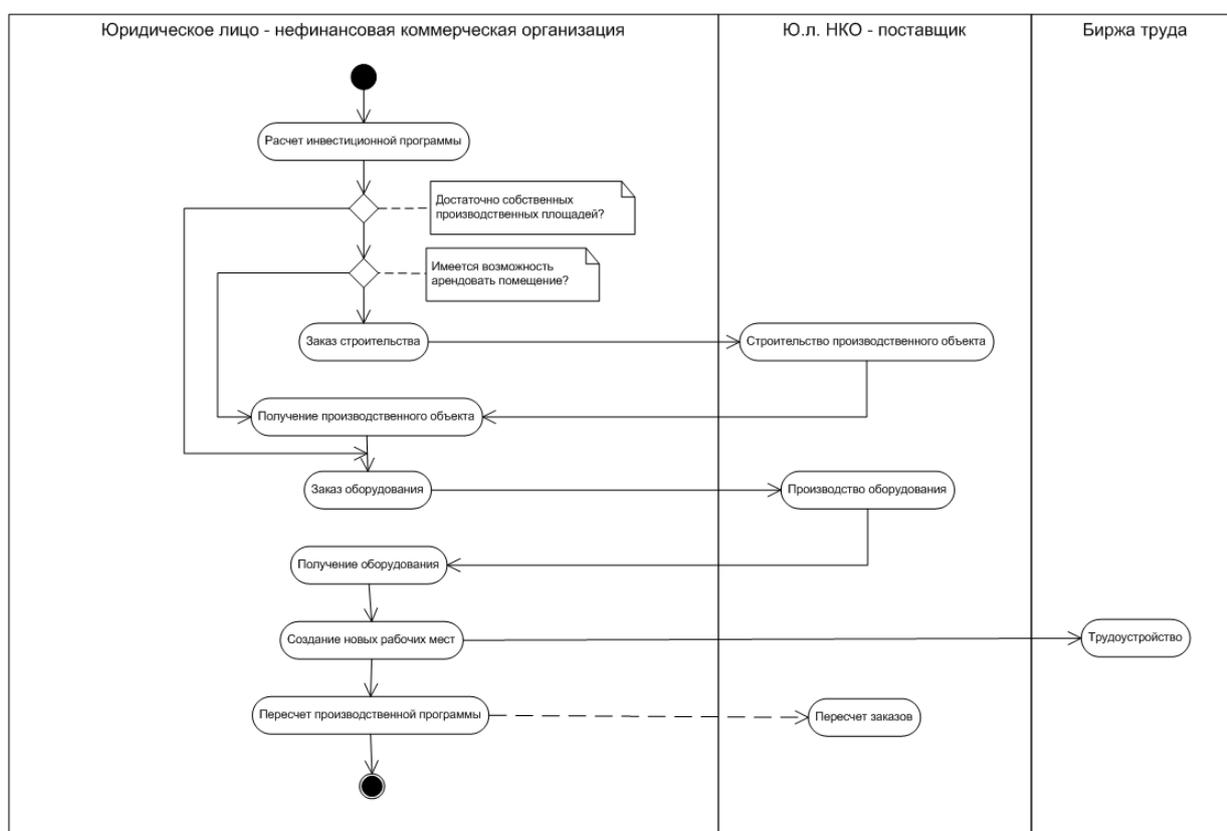


Рис. 6. Алгоритм реализации инвестиционной программы коммерческой организацией

Управляемыми параметрами компьютерной модели являются мероприятия по реализации отраслевых и региональных программ развития, введение налоговых льгот для развивающихся производств и пр. Модель обеспечивает оценку влияния принимаемых управленческих решений на экономическую систему; в частности, при анализе различных вариантов отраслевых программ обеспечивается возможность сравнения их влияния на структуру экспорта – импорта и оценки импортозамещающего эффекта.

Для оценки адекватности разработанной компьютерной модели была проведена серия вычислительных экспериментов на ретроспективных данных Федеральной службы государственной статистики за 2014-2015 годы, поскольку данные более поздних периодов в полном объеме еще не опубликованы. В качестве исходной информации были выбраны данные по использованию товаров и услуг в основных ценах за 2014 год (млн. рублей) [17]. Результаты тестирования приведены в таблице.

Сравнение результатов моделирования с ретроспективными данными
2014 года (млн. рублей)

Наименование отрасли	Валовое накопление основного капитала (2014 год)	Инвестиционный спрос (результаты моделирования)	Отклонение
Производство готовых металлических изделий	449309	389 447	-15,4%
Производство машин и оборудования (без производства оружия и боеприпасов)	1 390 822	1 463 006	4,9%
Производство офисного оборудования и вычислительной техники	135 153	141 911	4,8%
Производство электрических машин и электрооборудования без производства изолированных проводов и кабелей	252 816	325 457	22,3%
Производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения и связи	334 641	368 105	9,1%
Производство медицинских изделий; средств измерений, контроля, управления и испытаний; оптических приборов, фото- и кинооборудования; часов	376 847	406 995	7,4%
Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов	892 129	947 523	5,8%
Строительство	7 446 638	8 042 369	7,4%

Отклонение полученных в результате компьютерных экспериментов значений рассчитывалось в процентах к реальным данным. Средняя ошибка прогноза составила 5,8 %, дисперсия ошибок – 1 %. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне точности расчетов, выполненных с использованием разработанной модели.

Обсуждение результатов и заключение

Предлагаемый подход к воспроизведению экономической динамики основан на интеграции принципов агентного моделирования, системной динамики, межотраслевых балансовых моделей и элементов искусственного интеллекта и обеспечивает формирование модели экспериментальной экономики. В модели воссоздается отраслевая и региональная структура экономики; динамика экономической среды формируется как результат решений и взаимодействий агентов микроуровня. Применение комплексного подхода позволяет учесть институциональные эффекты, в частности, «эффект колеи», путем воспроизведения в модели существующей социально-демографической и производственной структуры и хозяйственных связей. Отказ от математических функций экономической динамики в пользу детализированных структур данных и алгоритмов дискретного времени обеспечивает диверсификацию учитываемых ресурсных ограничений: сырья, материалов, оборудования, рабочей силы, финансовых активов, а также запаздывание и конкуренцию при их получении.

Агент-ориентированная компьютерная модель отраслевого развития экономики России обеспечивает возможность как теоретических исследований (оценка

влияния решений агентов-предприятий в отношении объемов производства на возникновение циклов Китчина; политики долгосрочного инвестирования, как частного, так и государственного, – на циклы Жюгляра и ритмы Кузнеца), так и практических расчетов (прогнозирование влияния экономической политики государства на процесс долгосрочного экономического развития и устойчивость социально-экономической системы России).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-310-00185.

Список литературы

1. Barros J. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: Heppenstall A., Crooks A., See L., Batty M. (eds.) Agent-Based Models of Geographical Systems. 2012. P. 571–589. Springer, Dordrecht.
2. Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2002. № 99 (suppl 3). P.280-7287.
3. Epstein J. M., Axtell R. Growing artificial societies: Social science from the bottom up. 1996. Brookings Institution Press, Washington, DC.
4. Holland J.H., Miller J.H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory // American Economic Review, Papers and Proceedings. 1991. № 81. P.365–370.
5. Macy M., Willer R. From factors to actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling // Annual Review of Sociology. 2002. № 28. P. 143-166
6. Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from

the Bottom Up // Artificial Life. 2002. № 8(1). P. 55-82.

7. Государственная информационная система промышленности (официальный сайт). URL: <https://gisp.gov.ru/>. (Дата обращения 15.08.2018).

8. Иванов Д. В. Алгоритмизация процедур принятия решения для социотехнических объектов на основе теоретико-игровых методов и мультиагентных технологий в условиях риска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, информатика, вычислительная техника. Медицинское приборостроение. 2016. №4(21). С. 11-18.

9. Машкова А.Л. Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, информатика, вычислительная техника. Медицинское приборостроение. 2014. №3. С. 12-19.

10. Машкова А.Л. Прогнозирование долгосрочного развития макроэкономических систем на базе агент-ориентированных моделей // Государственное управление. Электронный вестник. 2016. № 57. С.49-68.

11. Машкова А.Л. Структура и математическое обеспечение программного модуля «Экономика и образование» агентной модели экспериментальной экономики // Вестник Брянского государственного технического университета. 2015. № 4(48). С. 148-154.

12. Машкова А.Л., Савина О.А. Управление финансовыми потоками агентов-предприятий в модели экспериментальной экономики // Управленческий учет. 2015. № 12. С. 89-98.

13. Министерство финансов Российской Федерации (официальный сайт). URL: <http://www.minfin.ru/>. (Дата обращения 18.09.2018).

14. Министерство экономического развития Российской Федерации (официальный сайт). URL: <https://минобрнауки.рф>. (Дата обращения 14.08.2018).

15. Новикова Е.В., Машкова А.Л. Создание первоначального поколения агентов в компьютерной модели отраслевого развития экономики России // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: сборник трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2015. С. 313-318.

16. Современный экономический словарь / под ред. Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубская. М., 2002. 480 с.

17. Федеральная служба государственной статистики (официальный сайт). URL: <http://www.gks.ru/>. (Дата обращения 26.06.2018).

18. Центральный банк Российской Федерации (официальный сайт). URL: <http://www.cbr.ru/>. (Дата обращения 20.09.2018).

Поступила в редакцию 30.09.18

UDC 004.94 :338

A.L. Mashkova, Candidate of Engineering Science, Senior Researcher, CEMI RAS (Russia, 117418, Moscow, Nakhimov Avenue, 47) (e-mail: aleks.savina@gmail.com)

O.A. Savina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Orel State University named after i.s. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: o.a.savina@gmail.com)

A.V. Mamatov, Candidate of Engineering Science, Belgorod State University (Russia, Belgorod, 308015, Pobedy Str., 85) (e-mail: mamatovav@bsu.edu.ru)

E.V. Novikova, Post-Graduate Student, Orel State University named after I.S. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: esty92@ya.ru)

COMPUTER MODELING OF SECTORAL ECONOMIC DYNAMICS

The article reveals the questions of mathematical formalization and algorithmic implementation of economic dynamics. To develop a computer model of sectoral development of the Russian economy, an agent-based approach was chosen, allowing to evaluate the result of control actions as a set of reactions to them of individuals and organizations.

At present, in the practice of managing social and economic systems of various levels, new methods are needed to assess the impact of monetary, investment, tax and social policies on social stability and economic security of the country. The diversity and stochastic nature of the factors influencing the sectoral development of the Russian economy necessitated an interdisciplinary study combining agent-based simulation modeling, socio-economic analysis, methods of artificial intelligence and cognitive psychology. In the context of developing a computer model of the Russian economy, the aggregate of changes in final, intermediate and investment demand in the economy and the market response in the form of changes in the output of individual organizations, increasing or decreasing the need for personnel, financial resources and equipment are considered as mechanisms for implementing the processes of economic dynamics.

Manageable parameters of the computer model are measures for the implementation of sectoral and regional development programs, introduction of tax incentives for developing industries, etc. The model provides assessment of the impact of managerial decisions on the economic system; in particular, when analyzing various variants of sectoral programs, it is possible to compare their influence on the structure of exports - imports and assess the import-substituting effect. The proposed approach has significant differences from the currently used mathematical and software models of the economy and provides the ability to predict non-equilibrium economic systems in the long term.

Key words: agent-based model; sectoral structure of the economy; economic development; demand; investment program.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-96-108

For citation: Mashkova A.L., Savina O.A., Mamatov A.V., Novikova E.V. Computer Modeling of Sectoral Economic Dynamics. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 96-108 (in Russ.).

References

1. Barros J. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: Heppenstall A., Crooks A., See L., Batty M. (eds.) Agent-Based Models of Geographical Systems, 2012, pp. 571–589. Springer, Dordrecht.

2. Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating hu-

man systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, no. 99 (suppl 3), pp.280-7287.

3. Epstein J. M., Axtell R. Growing artificial societies: Social science from the bottom up. 1996. Brookings Institution Press, Washington, DC.

4. Holland J.H., Miller J.H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory.

American Economic Review, Papers and Proceedings, 1991, no. 81, pp.365–370.

5. Macy M., Willer R. From factors to actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 2002, no. 28, pp. 143-166.

6. Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up. *Artificial Life*, 2002, no. 8(1), pp. 55-82.

7. Gosudarstvennaya informacionnaya sistema promyshlennosti (oficial'nyj sajt). URL: <https://gisp.gov.ru/>. Data obrashcheniya 15.08.2018.

8. Ivanov D. V. Algoritmizaciya procedur prinyatiya resheniya dlya sociotekhnicheskikh ob"ektov na osnove teoretiko-igrovyykh metodov i mul'tiagentnykh tekhnologij v usloviyah riska. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika. Medicinskoe priborostroenie*, 2016, no.4(21), pp. 11-18.

9. Mashkova A.L. Intellektual'nyj agent v social'noj srede: nechetkie ocenki i pravila prinyatiya reshenij. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika. Medicinskoe priborostroenie*, 2014, no.№3, pp. 12-19.

10. Mashkova A.L. Prognozirovanie dolgosrochnogo razvitiya makroehkonomicheskikh sistem na baze agent-orientirovannykh modelej. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik*, 2016, no. 57, pp.49-68.

11. Mashkova A.L. Struktura i matematicheskoe obespechenie programmogo

modulya «Ekonomika i obrazovanie» agentnoj modeli ehksperimental'noj ehkonomiki. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 4(48), pp. 148-154.

12. Mashkova A.L., Savina O.A. Upravlenie finansovymi potokami agentov-predpriyatij v modeli ehksperimental'noj ehkonomiki. *Upravlencheskij uchet*, 2015, no. 12, pp. 89-98.

13. Ministerstvo finansov Rossijskoj Federacii (oficial'nyj sajt). URL: <http://www.minfin.ru/> Data obrashcheniya 18.09.2018.

14. Ministerstvo ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii (oficial'nyj sajt). URL: <https://minobrnauki.rf>. Data obrashcheniya 14.08.2018.

15. Novikova E.V., Mashkova A.L. Sozdanie pervonachalnogo pokoleniya agentov v komp'yuternoj modeli otraslevogo razvitiya ehkonomiki Rossii. Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve. Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferencii. Minsk, 2015, pp. 313-318.

16. Sovremennyj ehkonomicheskij slovar', ed. by Rajzberg B.A., Lozovskij L.Sh., Starodubskaya E.B., Moscow, 2002, 480 p.

17. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (oficial'nyj sajt). URL: <http://www.gks.ru/>. Data obrashcheniya 26.06.2018.

18. Central'nyj bank Rossijskoj Federacii (oficial'nyj sajt). URL: <http://www.cbr.ru/>. Data obrashcheniya 20.09.2018.

УДК 532.5

Е.П. Корнаева, канд. физ.-мат. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94)
(e-mail: lenoks_box@mail.ru)

А.В. Корнаев, канд. техн. наук, доцент, с.н.с., ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94)
(e-mail: rusakor@inbox.ru)

Л.А. Савин, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94)
(e-mail: savin@ostu.ru)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КОНФУЗОРНЫХ КАНАЛАХ В УСЛОВИЯХ МНОГОЗОННОЙ ПОДАЧИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Одним из существенных условий для создания несущей способности смазочного слоя в тонких каналах с движущимися относительно друг друга образующими поверхностями является наличие геометрического или вязкостного клина. В данной работе авторами предлагается способ создания дополнительной несущей способности за счет так называемого искусственного температурного клина. В работе представлена математическая модель неизотермического течения вязкой жидкости в конфузормом канале, образованном двумя несоосными цилиндрами, учитывающая многозонный способ подачи смазочного материала неоднородной температуры. В основе разработанной математической модели лежит обобщенное уравнение Рейнольдса и уравнение конвективной теплопроводности, записанные в бицилиндрических координатах, что значительно упрощает задание граничных условий. Справедливость использования уравнения Рейнольдса подтверждается анализом слагаемых уравнения Навье-Стокса в рассматриваемом диапазоне значений геометрических, кинематических и статических факторов. Математическая модель численно реализована с помощью метода конечных разностей, а разработанная программа расчета представляет собой некий практический инструмент для расчета распределенных и интегральных характеристик рассматриваемых объектов применительно к подшипникам жидкостного трения и гидродинамическим щелевым уплотнениям. В частности, в данной работе показана эффективность создания искусственного температурного клина за счет многозонной подачи смазочного материала неоднородной температуры. На основании вычислительного эксперимента определены температурные условия при подаче смазочного материала, которые позволяют добиться повышения несущей способности в среднем на 20%, при том, что коэффициент трения снижается на 16% для рассматриваемого объекта применительно к подшипникам жидкостного трения лабораторной роторно-опорной установки.

Ключевые слова: гидродинамический эффект; многозонная подача; смазочный материал; температурный клин; несущая способность; коэффициент трения; бицилиндрические координаты; уравнение Рейнольдса; уравнение конвективной теплопроводности.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-109-118

Ссылка для цитирования: Корнаева Е.П., Корнаев А.В., Савин Л.А. Моделирование неизотермического течения вязкой жидкости в конфузормых каналах в условиях многозонной подачи смазочного материала // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 109-118.

Введение

Условиями развития гидродинамической подъемной силы при течении вязкой среды в тонком канале являются: значи-

мый перепад скорости по толщине слоя, который возникает благодаря взаимному движению поверхностей, «прилипанию» среды к трущимся поверхностям, свой-

ству вязкости среды и малому зазору между поверхностями; изменение зазора между трущимися поверхностями во времени или по направлению движения среды. Особое внимание следует уделить второму условию, которое обычно сводится к эффекту клина. Причем это условие не является обязательным и эффект геометрического клина может быть заменен клином вязкостным или плотностным [1]. Исследование подобных альтернативных эффектов берет начало с экспериментов А. Фогга (1946 г.), в результате которых была обнаружена несущая способность в слое между гладкими параллельными поверхностями [1, 2]. У. Коуп обосновал этот эффект математически и получил формулу для температурно-плотностного клина, аналогичную формуле для геометрического клина, связывающую градиент давления и функцию вязкости. У. Коуп согласился с А. Фоггом, что эффект температурно-плотностного клина менее значителен, чем эффект геометрического клина [1, 3]. Позднее этот эффект был объяснен Д. Доусоном в большей мере термическим расширением деталей сопряжения, а Дж. Янг в своих исследованиях показал, что для получения значительной несущей способности необходимы большие градиенты температур и очень тонкие слои жидкости [4]. Тем не менее, исследования в этой области не прекратились [1, 5-6]. На сегодняшний день принято разделять эффект плотностного клина и эффект вязкостного клина. Эффект плотностного клина всегда положительный с точки зрения создания дополнительной несущей способности, но при этом незначительный и им можно пренебречь [1]. Эф-

фект вязкостного клина может быть как положительным, так и отрицательным, и столь же значимым, как и эффект геометрического клина [1]. Эффект вязкостного клина для ньютоновских жидкостей может быть вызван температурной неоднородностью. В работе [7] авторами приведены результаты решения задачи совершенствования реологических свойств среды по критерию минимума энергопотерь. В данной статье теоретически исследуется проблема создания искусственного температурно-вязкостного клина путем подачи среды неоднородной температуры.

Концептуальная и математическая модель

Исследуется течение вязкой несжимаемой жидкости в несоосном канале, образованном двумя цилиндрами длиной L , внешний цилиндр радиуса R неподвижен, внутренний радиуса r вращается с постоянной угловой скоростью ω . Осуществляется осевая подача жидкости под давлением p_0 с одного торца, p_1 - давление в жидкости на противоположном торце. Поле скоростей предполагается трехмерным $\vec{V} = [[v_1 \ v_2 \ v_3]]$.

Основные уравнения, описывающие данный процесс, удобнее представить в бицилиндрической системе координат, т.к. изоповерхностями одной из координат являются цилиндры со смещенными центрами, и область течения между несоосными цилиндрами будет иметь форму прямоугольного параллелепипеда $\beta_i^- \leq \beta_i \leq \beta_i^+$, что упрощает, например, задание граничных условий и пределов интегрирования (рис. 1).

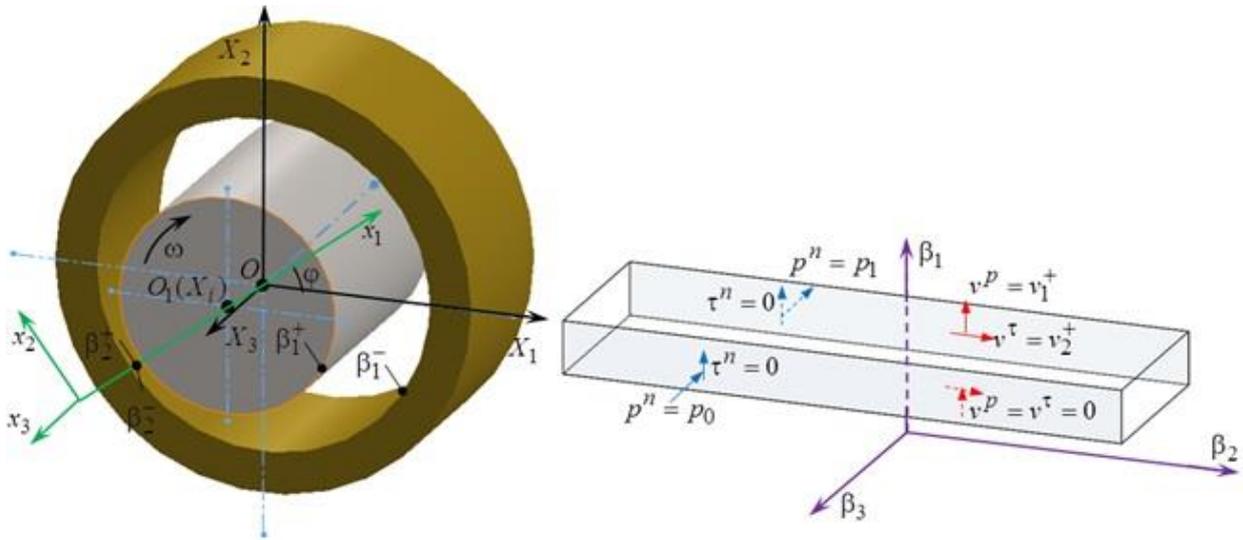


Рис.1. Расчетная область в декартовых и бицилиндрических координатах

Уравнения неразрывности и Навье-Стокса с учетом допущений Рейнольдса [8], обоснованных для данной постановки задачи в работе [9], примут вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho v_1 H)}{\partial \beta_1} + \frac{\partial(\rho v_2 H)}{\partial \beta_2} + \frac{\partial(\rho v_3 H^2)}{\partial \beta_3} = 0, \\ \frac{\partial p}{\partial \beta_1} = 0; \\ \frac{\partial p}{\partial \beta_2} = \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \beta_1} \left[\mu H^2 \frac{\partial}{\partial \beta_1} \left(\frac{v_2}{H} \right) \right]; \\ \frac{\partial p}{\partial \beta_3} = \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \beta_1} \left[\mu \frac{\partial v_3}{\partial \beta_1} \right], \end{cases} \quad (1)$$

где β_i – радиальная, окружная и осевая бицилиндрические координаты соответственно, $H = H(\beta_1, \beta_2)$ – функция коэффициента Ламе [10].

Интегрирование первого уравнения (1) по координате β_1 в интервале $\beta_1^- \leq \beta_1 \leq \beta_1^+$ с учетом кинематических граничных условий и выражений для скоростей, полученных с учетом второго уравнения интегрированием третьего и четвертого уравнения (1), приводит к обобщенному уравнению Рейнольдса в бицилиндрических координатах:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \beta_2} \left[\rho \frac{\partial p}{\partial \beta_2} \left(F_1 - \frac{f_1^+}{f_2^+} F_2 \right) \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial \beta_3} \left[\rho \frac{\partial p}{\partial \beta_3} \left(F_3 - \frac{f_3^+}{f_4^+} F_4 \right) \right] = \\ & = - \frac{\partial}{\partial \beta_2} \left(\rho \frac{v_2^+}{f_2^+ H^+} F_2 \right) - \rho v_1^+ H^+ - \frac{\partial \rho}{\partial t} f_0^+, \quad (2) \end{aligned}$$

где $F_i(\beta_2, \beta_3) = \int_{\beta_1^-}^{\beta_1^+} H^2 f_i d\beta_1$ ($i=1, \dots, 4$).

Подробный вывод обобщенного уравнения (2) представлен авторами в работе [11]. Далее для теоретического обоснования возможности создания температурного клина необходимо дополнить модель уравнением конвективной теплопроводности.

Уравнение конвективной теплопроводности в бицилиндрических координатах может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{v_m}{H_m} \frac{\partial \theta}{\partial \beta_m} = \\ & = \frac{a_\theta \epsilon'_{ijk}}{H_i H_j H_k} \frac{\partial}{\partial \beta_i} \left(\frac{H_j H_k}{H_i} \frac{\partial \theta}{\partial \beta_j} \right) + \frac{2\mu \xi_{rs} \xi_{rs}}{\rho C_p}, \end{aligned}$$

где ϵ'_{ijk} – модифицированный символ Леви-Чивиты, равный единице при чет-

ной перестановке индексов и нулю во всех остальных случаях;

ξ_{rs} – компоненты тензора скоростей деформации.

Согласно тем же допущениям Рейнольдса уравнение конвективной теплопроводности примет вид:

$$\frac{v_1}{H} \frac{\partial \theta}{\partial \beta_1} + \frac{v_2}{H} \frac{\partial \theta}{\partial \beta_2} + v_3 \frac{\partial \theta}{\partial \beta_3} =$$

$$= \frac{a_0}{H^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \beta_1^2} + \frac{1}{H^2} \frac{b_1 \theta + b_2}{\rho C_p} \left(\left(\frac{\partial v_2}{\partial \beta_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_3}{\partial \beta_1} \right)^2 \right). \quad (3)$$

В уравнении (3) функция вязкости от температуры представлена в виде линейной, что на практике вполне допустимо для интервалов температур 10-20 градусов Цельсия.

Граничные условия для функции давления и температуры задаются в соответствии с допущениями концептуальной модели:

$$p(0, \beta_3) = p(2\pi r, \beta_3),$$

$$\frac{\partial p(0, \beta_3)}{\partial \beta_2} = \frac{\partial p(2\pi r, \beta_3)}{\partial \beta_2}, \quad p(\beta_2, 0) = p_0,$$

$$p(\beta_2, L) = p_1, \quad (4)$$

$$\theta(\beta_1, 0, \beta_3) = \theta(\beta_1, 2\pi r, \beta_3),$$

$$\theta(0, \beta_2, \beta_3) = T_0,$$

$$\theta(h(\beta_2), \beta_2, \beta_3) = T_1,$$

$$\theta(\beta_1, \beta_2, 0) = \theta_0 \cos(\beta_2 + \varphi_0) + T_0. \quad (5)$$

Неоднородная температура подачи смазочного материала представлена последним граничным условием в формуле (5). Слагаемое $\theta_0 \cos(\beta_2 + \varphi_0)$ определяет области (зоны) температурной неоднородности смазочного материала по тангенциальной координате. Параметры θ_0 и φ_0 отвечают за неоднородность температуры смазочного материала на подаче. При $\theta_0 = 0$ получается тривиальный (ба-

зовый) случай осевой подачи смазочного материала с постоянной температурой. Параметр φ_0 определяет угол смещения области (зоны) с максимальной температурой подаваемого смазочного материала по тангенциальной координате.

Таким образом, математическая модель неизотермического течения вязкой жидкости в конфузном кольцевом канале с учетом осевой многозонной подачи смазочного материала имеет вид (2)-(5).

Дискретная математическая модель и алгоритм численного расчета

Обобщенное уравнение Рейнольдса и уравнения конвективной теплопроводности в математической модели (2)-(5), представляют собой дифференциальные уравнения второго порядка в частных производных, решение которых определяется численно. Расчетная область покрывается сеткой размером $n_1 \times n_2 \times n_3$, узловым точкам которой ставятся в соответствие индексы i, j, k . Непрерывные функции давления $p(\beta_2, \beta_3)$ и температуры $\theta(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ заменяются дискретными: $p^{j,k}$, $\theta^{i,j,k}$. Производные первого и второго порядка неизвестных функций аппроксимируются соответствующими конечными разностями.

После преобразования производных произведения и замены производных их разностными аналогами, уравнение Рейнольдса (2) преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений вида:

$$c_0^{j,k} p^{j,k} + c_1^{j,k} p^{j+1,k} + c_2^{j,k} p^{j-1,k} +$$

$$+ c_3^{j,k} p^{j,k-1} + c_4^{j,k} p^{j,k+1} = f^{j,k}, \quad (6)$$

$$\text{где } c_1^{j,k} = \frac{a_2^{j,k}}{\Delta \beta_2^2 \Delta \tilde{\beta}_2^2} + \frac{1}{2 \Delta \beta_2^2 \Delta \tilde{\beta}_2^2} \left(\frac{\partial a_2}{\partial \tilde{\beta}_2} \right)^{j,k},$$

$$c_2^{j,k} = \frac{a_2^{j,k}}{\Delta\beta_2^2 \Delta\tilde{\beta}_2^2} - \frac{1}{2\Delta\beta_2^2 \Delta\tilde{\beta}_2} \left(\frac{\partial a_2}{\Delta\tilde{\beta}_2} \right)^{j,k},$$

$$c_3^{j,k} = \frac{a_1^{j,k}}{\Delta\beta_3^2 \Delta\tilde{\beta}_3^2} - \frac{1}{2\Delta\beta_3^2 \Delta\tilde{\beta}_3} \left(\frac{\partial a_1}{\Delta\tilde{\beta}_3} \right)^{j,k},$$

$$c_4^{j,k} = \frac{a_1^{j,k}}{\Delta\beta_3^2 \Delta\tilde{\beta}_3^2} + \frac{1}{2\Delta\beta_3^2 \Delta\tilde{\beta}_3} \left(\frac{\partial a_1}{\Delta\tilde{\beta}_3} \right)^{j,k},$$

$$c_0^{j,k} = -\sum_{m=1}^4 c_m^{j,k},$$

$$f^{j,k} = -\left[\frac{\partial}{\partial\beta_2} \left(\frac{v_2^+}{f_2^+ H^+} F_2 \right) + v_1^+ H \right]^{j,k},$$

$$a_1^{j,k} = \left(F_3 - \frac{f_3^+}{f_4^+} F_4 \right)^{j,k}, \quad a_2^{j,k} = \left(F_1 - \frac{f_1^+}{f_2^+} F_2 \right)^{j,k}.$$

В решении задачи используются граничные условия для функции давления вида

$$p^{1,k} = p^{n_2,k}, \quad p^{j,1} = p_0, \quad p^{j,n_3} = p_1.$$

Уравнение (3) в разностной форме примет вид:

$$d_0^{i,j,k} \theta_{i,j,k} + d_1^{i,j,k} \theta_{i+1,j,k} + d_2^{i,j,k} \theta_{i,j+1,k} + d_3^{i,j,k} \theta_{i,j,k+1} + d_4^{i,j,k} \theta_{i-1,j,k} = g_{i,j,k}, \quad (7)$$

где $d_1^{i,j,k} = \frac{1}{\Delta\beta_1 H^{i,j}} \left(v_1^{i,j,k} - \frac{a}{\Delta\beta_1 H^{i,j}} \right),$

$$d_2^{i,j,k} = \frac{v_2^{i,j,k}}{\Delta\beta_2 H^{i,j}}, \quad d_3^{i,j,k} = \frac{v_3^{i,j,k}}{\Delta\beta_3},$$

$$d_4^{i,j,k} = -\frac{a}{(\Delta\beta_1 H^{i,j})^2},$$

$$d_0^{i,j,k} = -\sum_{m=1}^4 d_m^{i,j,k} - \frac{b_1 H_{i,j,k}^2}{\rho C_p},$$

$$g_{i,j,k} = \frac{b_2 H_{i,j,k}^2}{\rho C_p}.$$

Матрицы коэффициентов систем линейных алгебраических уравнений (6)-(7) обладают свойством диагонального преобладания [12], что обеспечивает сходимость решения СЛАУ в случае примене-

ния итерационных методов, и что видно из выражения для $c_0^{j,k}$ и $d_0^{i,j,k}$.

Соответствующие граничные условия для примут вид:

$$\theta_{1,j,k} = T_0, \quad \theta_{n_1,j,k} = T_1, \quad \theta_{i,1,k} = \theta_{i,n_2+1,k},$$

$$\theta_{i,j,1} = \theta_0 \cos(\beta_2 + \varphi_0) + T_0.$$

Значение компонент скоростей в коэффициентах и их производных в коэффициентах $c_m^{i,j,k}$ и в правой части уравнения (10) рассчитываются на основе дискретного поля давления, полученного численным решением разностного уравнения (7).

В решении неизоэтермической задачи выполняется последовательное решение дискретных аналогов обобщенного уравнения Рейнольдса (6) и конвективной теплопроводности (7) в итерационной процедуре вплоть до выполнения условия близости полей вязкостей на двух соседних итерациях:

$$\sqrt{\frac{\sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} \sum_k^{m_3} (\mu_{n-1}^{i,j,k} - \mu_n^{i,j,k})^2}{n_1 n_2 n_3}} \leq \delta, \quad (8)$$

где $\mu_{l-1}^{i,j,k} - \mu_l^{i,j,k}$ – дискретные трехмерные поля вязкостей на предыдущей и текущей итерациях соответственно; δ – наперед заданное значение отклонения.

На основе дискретной математической модели (6), (7) решения обобщенного уравнения Рейнольдса и конвективной теплопроводности была разработана программа расчета основных характеристик течения среды в зазоре между вращающимися несоосными цилиндрами. Использовался язык программирования GNU Octave [13], совместимый с более известным языком программирования MATLAB [14]. Среды программирования MATLAB и GNU Octave содержат ряд встроенных функций, в том числе сим-

вольного решения алгебраических уравнений, решения систем линейных алгебраических уравнений и многие другие. В настоящее время обе среды программирования развивают направление объектно-ориентированного программирования, что позволяет упростить написание сложных программ и увеличить быстродействие их выполнения [15].

Основным назначением разработанной программы является расчет полей давлений, полей температур, касательных напряжений на поверхности вращающегося цилиндра, а также интегральных характеристик: результирующей гидродинамической силы, силы трения, расхода и других.

Вычислительный эксперимент и обсуждение результатов

Численный расчет проводился для ПЖТ, установленных на лабораторной роторно-опорной установке ПНИЛ «Моделирование гидромеханических систем». Характерные рабочие параметры приведены в таблице 1. Варьируемым фактором являлся параметр φ_0 , отвечающий за неоднородность температуры смазочного материала при подаче ф.(5).

Для исходных данных (табл. 1), при постоянной температуре подачи T_0 несущая способность смазочного слоя со-

ставляла $R0 = 10.25H$, а коэффициент трения $fp0 = 0.015$. Рабочей жидкостью является вода. Координаты центра шипа определены как $(-eh_0; 0)$.

В таблице 2 приведены результаты расчета несущей способности и коэффициента трения при различном значении параметра φ_0 , т.е. при различной подаче смазки неоднородной температуры ф.(5), значение остальных факторов зафиксировано (табл. 1).

На рисунке 2 графически представлены результаты вычислительного эксперимента в виде полей скоростей, температур и вязкостей в радиальном сечении канала. Данные поля представлены для оптимального случая по критерию максимума несущей способности. Максимальное значение несущей способности смазочного слоя при прочих равных условиях достигается при значении параметра $\varphi_0 = 3\pi/2$, определяющего температурные условия ф.(5) подачи смазочного материала в канал.

На рисунке 3 представлены изменения несущей способности и коэффициента трения от способа подачи смазки неоднородной температуры, а также показан эффект относительно базового случая подачи смазки однородной температуры.

Таблица 1

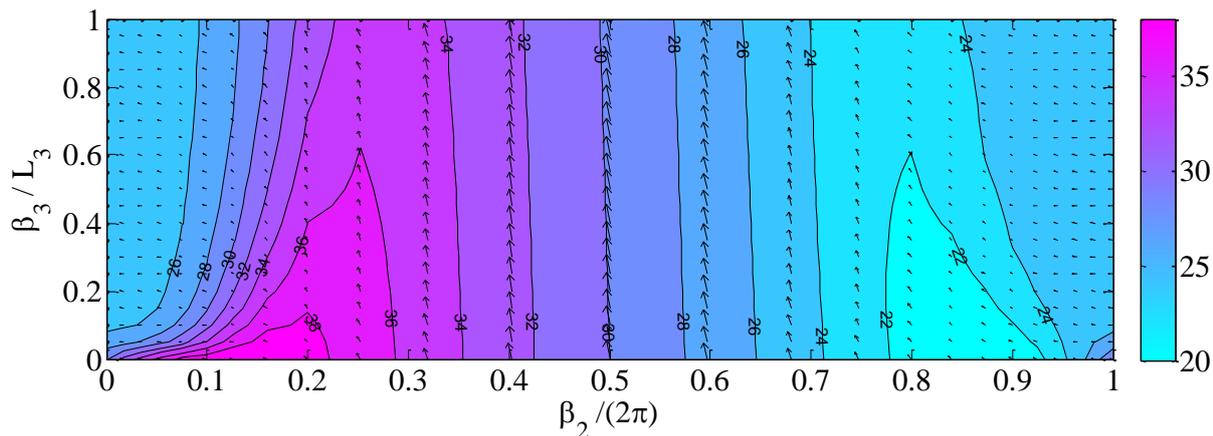
Исходные данные

г, м	h_0 , м	е, м	п, об/мин	Δp , Па	T_0 , °С	T_1 , °С
$2e-2$	$7,5e-5$	$7e-1$	$1,7e+3$	$2e+5$	30	20

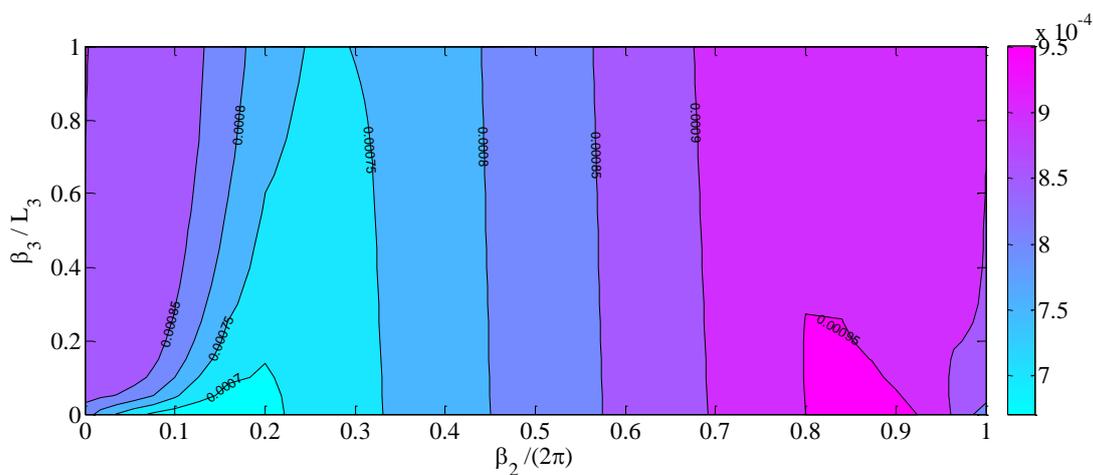
Таблица 2

Результаты вычислительного эксперимента

φ_0 , рад	0	$\pi/4$	π	$3\pi/4$	π	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$	2π
R(φ), Н	10,16	8,62	7,94	8,75	10,52	12,05	12,45	11,67	10,16
fp(φ)	0,016	0,019	0,019	0,017	0,014	0,013	0,013	0,014	0,016

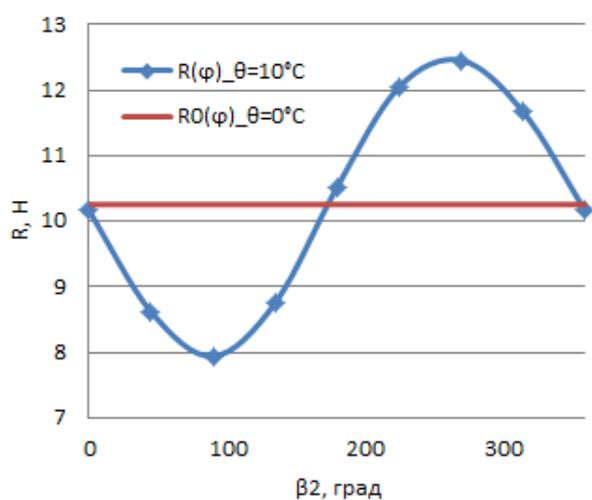


а

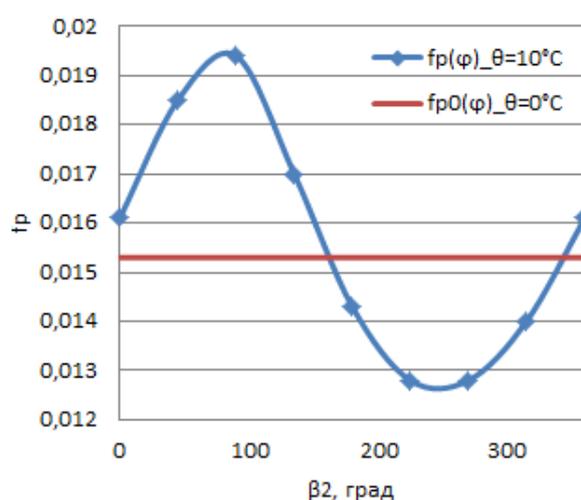


б

Рис. 2. Поля распределенных физических величин с учетом температурного клина: а – векторное поле скоростей и контурное поле температур; б – векторное поле скоростей и контурное поле вязкости



а



б

Рис. 3. Результаты расчета при наличии температурного клина и без него: а – несущая способность слоя; б – коэффициент трения

Как было сказано ранее, создание неоднородного поля температур и вязкости может иметь как положительный, так и отрицательный эффект. На рисунке 3 данный эффект представлен сравнением несущей способности и коэффициента трения (прямая с точками на графике) с базовыми значениями (сплошная прямая на графике), полученными в случае подачи однородной смазки. Положительный эффект при исходных данных (см. табл. 1) достигается в области значения параметра $\varphi_0 = \pi \cdot 7\pi/4$ и имеет максимальное значение при $\varphi_0 = 3\pi/2$: несущая способность повысилась на 21,5%, при этом коэффициент трения снизился на 16,4%.

Таким образом, на основании разработанной математической модели неизо-термического течения вязкой среды в конфузорном кольцевом канале, учитывающей переменные температурные условия на границе и проведенного вычислительного эксперимента, показана принципиальная возможность повышения несущей способности смазочного слоя. Данный эффект может быть практически реализован при проектировании подшипников жидкостного трения с многозонной торцевой подачей смазочного материала, а также для щелевых гидродинамических уплотнений, которые помимо основной функции выполняют роль дополнительной опоры.

Благодарность

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ № 14.Z56.17.1643-МК (исследование влияния температурного клина на статические характеристики опор), а также проекта РНФ №16-19-00186 (исследование влияния темпера-

турного клина на динамические характеристики опор).

Список литературы

1. Encyclopedia of tribology / Q.J. Wang, Y.-H. Chung (Eds.). New York: Springer Science + Business Media, 2013. 4192 p.
2. Fogg A. Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings // Proc. Inst. Mech. Eng. 1946. Vol. 155. Pp. 49-67.
3. Cope W.E. The hydrodynamical theory of film lubrication. 1949. Vol. 197 (1049). Pp. 201-217.
4. Young J. Thermal wedge effect in hydrodynamic lubrication. The Engineering Journal. 1962. Vol. 45. Pp. 46–54.
5. Lebeck A. Parallel sliding load support in the mixed friction regime. Part 2 - Evaluations of the mechanisms // Journal of Tribology. 1987. Vol. 109. Pp. 196-205.
6. Meng, Xi., Khonsar M.M. On the effect of viscosity wedge in micro-textured parallel surfaces // Tribology International. 2017. Vol. 107. Pp. 116 – 124.
7. Savin L., Kornaev A., Kornaeva E. Effect of lubrication of fluid friction bearings with media of complex rheology // Applied mechanics and materials. 2014. No 630. Pp. 199 – 208.
8. Hori Yukio. Hydrodynamic Lubrication. Hardcover, 2006. 250 p.
9. Kornaev A.V. , Kornaeva E.P., Savin L.A. Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant // International Journal of Mechanics. 2017. Vol. 11. Pp. 197-203.
10. Korn G.A., Korn T.M. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. Dover Publications, 2000. 832p.

11. Корнаев А. В., Корнаева Е. П., Савин Л. А. Повышение точности численного решения уравнения Рейнольдса посредством естественной адаптации сетки в бицилиндрических координатах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 49–58.

12. Patankar S.V. Numerical heat transfer and fluid flow. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. 148 p.

13. GNU Octave. URL: <http://www.gnu.org/software/octave> (дата обращения 12.10.2018).

14. Object-Oriented Programming. MATLAB R2017a. Massachusetts: The MathWorks Inc, 2017. 838 p.

15. MATLAB. URL: <https://matlab.ru/products/MATLAB>

Поступила в редакцию 07.09.18

UDC 532.5

E.P. Kornaeva, Candidate of Phisico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Orel State University named after i.s. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: lenoks_box@mail.ru)

A.V. Kornaev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Orel State University named after i.s. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: rusakor@inbox.ru)

L.A. Savin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Orel State University named after i.s. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: savin@ostu.ru)

MODELLING OF THE NONISOTHERMAL CURRENT OF VISCOUS LIQUID IN KONFUZORNY CHANNELS IN THE CONDITIONS OF MULTIZONAL GIVING LUBRICANT

One of the essential conditions for creating the bearing capacity of the lubricating layer in thin channels with moving relative to each other forming surfaces is the presence of a geometric or viscous wedge. In this paper, the authors propose a method of creating additional bearing capacity due to the so-called artificial temperature wedge. The paper presents a mathematical model of non-isothermal flow of a viscous fluid in the confuser channel formed by two non-axial cylinders, taking into account the multi-zone method of supplying a lubricant of non-uniform temperature. The developed mathematical model is based on the generalized Reynolds equation and the equation of convective heat conduction written in bicilindrical coordinates, which greatly simplifies the definition of boundary conditions. The validity of using the Reynolds equation is confirmed by an analysis of the terms of the Navier-Stokes equation in the considered range of values of geometric, kinematic and static factors. The mathematical model is numerically implemented using the finite-difference method, and the developed calculation program is a kind of practical tool for calculating the distributed and integral characteristics of the objects in question as applied to fluid-friction bearings and hydrodynamic gap seals. In particular, this paper shows the effectiveness of creating an artificial temperature wedge due to a multi-zone supply of a non-uniform temperature lubricant. Based on the computational experiment, the temperature conditions for the lubricant supply are determined, which allow to increase the bearing capacity by an average of 20%, while the friction coefficient decreases by 16% for the object in question as applied to the bearings of the friction of the laboratory rotor-support unit.

Key words: hydrodynamic effect; multi-zone feed; lubricant; temperature wedge; load-bearing capacity; coefficient of friction; bicylindrical coordinates; Reynolds equation; heat conduction equation.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-109-118

For citation: Kornaeva E.P., Kornaev A.V., Savin L.A. Modelling of the Nonisothermal Current of Viscous Liquid in Konfuzorny Channels in the Conditions of Multizonal Giving Lubricant. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 109-118 (in Russ.).

Reference

1. Wang Q.J., Chung Y.-H. (Eds.). Encyclopedia of tribology. New York: Springer Science + Business Media, 2013, 4192 p.
2. Fogg A. Fluid film lubrication of parallel surface thrust bearings. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1946, vol. 155, pp. 49-67.
3. Cope W.E. The hydrodynamical theory of film lubrication. 1949, vol. 197 (1049), pp. 201-217.
4. Young J. Thermal wedge effect in hydrodynamic lubrication. *The Engineering Journal*, 1962, vol. 45, pp. 46–54.
5. Lebeck A. Parallel sliding load support in the mixed friction regime. Part 2. Evaluations of the mechanisms. *Journal of Tribology*, 1987, vol. 109, pp. 196-205.
6. Meng Xi., Khonsar M.M. On the effect of viscosity wedge in microtextured parallel surfaces. *Tribology International*, 2017, vol. 107, pp. 116 – 124.
7. Savin L., Kornaev A., Kornaeva E. Effect of lubrication of fluid friction bearings with media of complex rheology. *Applied mechanics and materials*, 2014, no. 630, pp. 199 – 208.
8. Hori Yukio. Hydrodynamic Lubrication. Hardcover, 2006, 250 p.
9. Kornaev A.V., Kornaeva E.P., Savin L.A. Theoretical premises of thermal wedge effect in fluid-film bearings supplied with a non-homogeneous lubricant. *International Journal of Mechanics*, 2017, vol. 11, pp. 197-203.
10. Korn G.A., Korn T.M. Mathematical Hand-book for Scientists and Engineers. Dover Publications, 2000, 832 p.
11. Kornaev A. V., Kornaeva E. P., Savin L. A. Povyshenie tochnosti chislennogo reshenija uravnenija Rejnl'dsa posredstvom estestvennoj adaptacii setki v bicilindricheskih koordinatah. *Izvestija Ju-go-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 49–58.
12. Patankar S.V. Numerical heat transfer and fluid flow. New York, Hemisphere Publishing Corporation, 1980, 148 p.
13. GNU Octave. URL: <http://www.gnu.org/software/octave> (data obrashchenija 12.10.2018).
14. Object-Oriented Programming. MATLAB R2017a. Massachusetts: The MathWorks Inc, 2017, 838 p.
15. MATLAB. URL: <https://matlab.ru/products/MATLAB>

УДК 519.876.2

И.В. Буркова, д-р техн. наук, доцент, в.н.с., Институт РАН проблем управления им. В.А. Трапезникова (Россия, 117342, Москва, ул. Профсоюзная, 65) (e-mail: irbur27@gmail.com)

Б.К. Уандыков, канд. техн. наук, Институт РАН проблем управления им. В.А. Трапезникова (Россия, 117342, Москва, ул. Профсоюзная, 65) (e-mail: vlab17@bk.ru)

Ю.А. Халин, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: yur-khalin@yandex.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

В статье рассматривается применение метода сетевого программирования к решению дискретной задачи минимизации стоимости проекта при заданной продолжительности его реализации. Суть метода состоит в том, что целевую функцию и ограничение в задаче календарного планирования можно представить в виде суперпозиции более простых функций. Такое представление удобно изображать в виде сети, на нижнем уровне которой находятся вершины, соответствующие переменным (входы сети), промежуточные вершины соответствуют функциям, входящим в суперпозицию, а конечная вершина (выход) соответствует исходной функции.

Задачи календарного планирования очень распространены на практике и при этом относятся к классу NP-трудных, что делает актуальной разработку алгоритмов их решения. В работе описаны два базовых алгоритма решения задачи для случаев независимых и последовательных работ. Более сложные случаи (сеть типа дерева и агрегируемая сеть) могут быть представлены в виде комбинации этих случаев и решаются на основе последовательного применения базовых алгоритмов. В качестве примера производственного сетевого графика приводится сеть типа «сборка с комплектующими». Для нее предлагается метод, который состоит в определении множества работ, фиксация продолжительности которых приводит к одному из рассмотренных выше случаев (либо сеть-дерево, либо – агрегируемая сеть). Далее рассматриваются все возможные варианты фиксации продолжительностей работ выделенного множества и решение задачи для каждого варианта. Из всех вариантов выбирается лучший.

Предложенные в статье алгоритмы могут быть полезны в управлении проектами, в частности – при решении задач календарного планирования.

Ключевые слова: продолжительность работ; стоимость работ; сетевой график дерева; агрегируемая сеть; метод сетевого программирования.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-119-126

Ссылка для цитирования: Буркова И.В., Уандыков Б.К., Халин Ю.А. Применение метода сетевого программирования в задачах календарного планирования // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 119-126.

Введение

Задачи календарного планирования относятся, как правило, к сложным (NP-трудным) задачам дискретной оптимизации ([1-8] и др.). В статье рассматривается так называемая задача оптимизации сети по стоимости. Она заключается в определении стоимости выполнения работ проекта так, чтобы проект был вы-

полнен за определенное время, а суммарная стоимость работ была минимальной. При этом для каждой работы имеется конечное число вариантов ее выполнения, отличающихся величиной стоимости и величиной продолжительности выполнения. Без ограничения общности в статье рассматривается случай, когда для каждой работы имеется два варианта.

Предложенные алгоритмы могут быть полезны в системах поддержки принятия решений [9-11].

Постановка задачи

Рассмотрим сетевой график, содержащий n работ (работы изображаются вершинами). Обозначим τ_i – продолжительность i -й работы. Для каждой работы i задана величина Δ_i возможного сокращения ее продолжительности и затраты s_i на это сокращение. Обозначим T_k – продолжительность проекта (длина критического пути) при продолжительностях работ τ_i , T – требуемая продолжительность проекта ($Q = T_k - T$ – требуемое сокращение). Обозначим $x_i = 1$, если продолжительность работы i сокращается, $x_i = 0$ в противном случае.

Задача. Определить $\{x_i; i = \overline{1, n}\}$ так, чтобы продолжительность проекта была не более T , а суммарные затраты на уменьшение продолжительности проекта

$$S(x) = \sum_i s_i x_i \rightarrow \min \quad (1)$$

были минимальными.

Будем рассматривать пять вариантов сетевых графиков.

1. Независимые работы

В этом случае задача принимает вид: минимизировать (1) при ограничениях (2).

$$x_i \Delta_i \geq \tau_i - T, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Задача легко решается. Оптимальное решение имеет вид

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{если } \tau_i \leq T \\ 1, & \text{если } \tau_i > T \end{cases}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Этот алгоритм назовем базовым алгоритмом 1. В дальнейшем нам потребуется его параметрическая реализация, т.е. параметрическая зависимость минималь-

ных затрат $S(Y)$ от продолжительности проекта Y , где величина Y меняется в пределах

$$\max_i (\tau_i - \Delta_i) \leq Y \leq \max_i \tau_i. \quad (4)$$

Пример 1. Имеются 6 работ, данные о которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные о работах

i	1	2	3	4	5	6
τ_i	5	9	8	10	6	7
Δ_i	2	5	4	7	2	3
s_i	3	7	6	12	4	5

Вычисляем $4 \leq Y \leq 10$. Таблица вариантов имеет вид:

Таблица 2

Зависимость $S(Y)$ от Y

Вариант	0	1	2	3	4	5	6
Y	10	9	8	7	6	5	4
$S(Y)$	0	12	19	25	30	34	37

2. Последовательные работы (сетевой график-путь)

В этом случае ограничение задачи (1) принимает вид:

$$\sum_i x_i \Delta_i \geq Q. \quad (5)$$

Этот и последующие случаи решаются методом сетевого программирования, который будет рассмотрен ниже.

Получение параметрической зависимости $S(Y)$ для последовательности работ будем называть базовым алгоритмом 2.

3. Сетевой график-дерево

Сетевой график типа дерева, как правило, соответствует процессам сборки сложных изделий (рис. 1).

4. Агрегируемый сетевой график

Агрегируемым называется сетевой график, который путем замены последо-

вательных и (или) параллельных работ одной работой можно свести к одной работе (рис. 2).

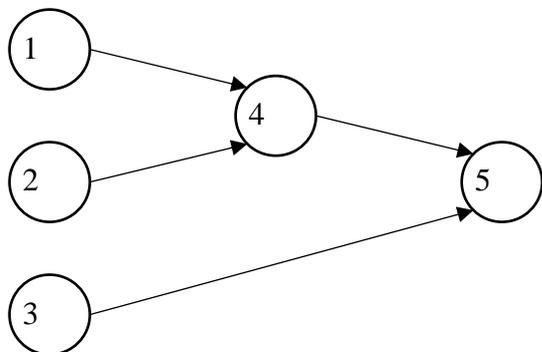


Рис. 1

На рис. 2 две работы – 2 и 3 можно заменить одной работой (2, 3) (эти работы независимые, т.е. параллельные). Затем последовательность работ $1 \rightarrow (2,3)$

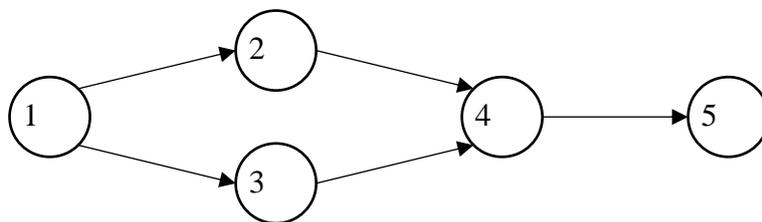


Рис. 2

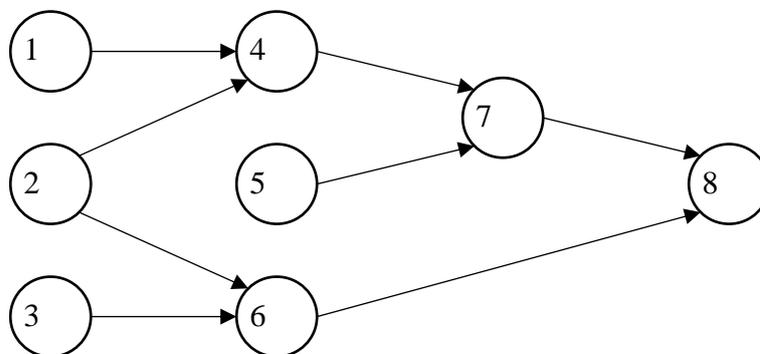


Рис. 3

$\rightarrow 4 \rightarrow 5$ можно также заменить одной работой.

5. Сетевой график «сборка с комплектацией»

Мы не будем рассматривать общий случай производственного сетевого графика, а ограничимся сетевым графиком типа «сборка с комплектацией» (рис. 3). К дереву сборки добавляются работы 1, 2 и 3, производящие необходимые комплекты для сборки.

Метод сетевого программирования

Суть метода сетевого программирования состоит в том, что целевую функцию и ограничение в задаче календарного планирования можно представить в виде суперпозиции более простых функций.

Такое представление удобно изображать в виде сети, на нижнем уровне которой находятся вершины, соответствующие переменным (входы сети), промежуточные вершины соответствуют функциям, входящим в суперпозицию, а конечная вершина (выход) соответствует исходной функции.

Метод применим, если и целевая функция, и ограничение имеют одинаковые сетевые представления. Если сетевое представление имеет вид дерева, то метод дает оптимальное решение задачи. В противном случае получаем верхнюю (нижнюю) оценку, которую можно использовать в методе ветвей и границ [12]. Метод сетевого программирования подробно изложен в [12]. Поэтому дадим иллюстрацию его работы на примере последовательности работ (вариант 2).

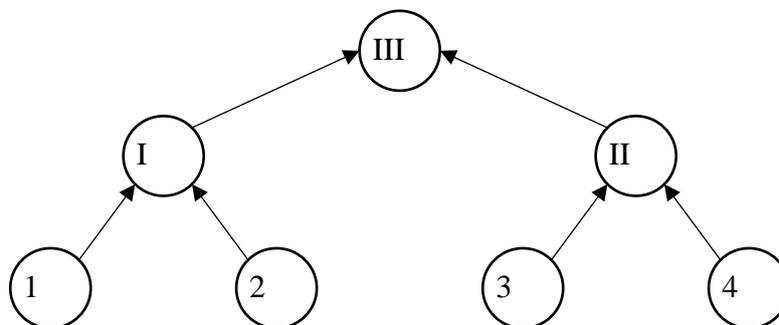


Рис. 4

1 шаг. Рассматриваем работы 1 и 2. Решение приведено ниже.

1	8; 3	15; 5
0	0	47; 2
2 / 1	0	1

Пример 2. Проект состоит из четырех последовательных работ, данные о которых приведены ниже (табл. 3).

Таблица 3
Данные о работах

i	1	2	3	4
τ_i	5	6	9	8
Δ_i	2	3	5	4
s_i	7	8	4	6

Пусть $T = 20$, $Q = 28 - 20 = 8$.

Задача имеет вид:

$$7x_1 + 8x_2 + 4x_3 + 6x_4 \rightarrow \min$$

при ограничении

$$2x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 4x_4 \geq 8.$$

Возьмем структуру сетевого представления, приведенную на рис. 4.

Первое число в клетке – это затраты, а второе – сокращение продолжительности. Результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4
Объединенная работа I

Вариант	0	1	2	3
Затраты	0	7	8	15
Сокращение продолжительности	0	2	3	5

2 шаг. Рассматриваем работы 3 и 4.

Решение приведено ниже.

1	6; 4	10; 9
0	0	4; 5
2 1	0	1

Результат сведены в таблицу 5.

Таблица 5

Объединенная работа II

Вариант	0	1	2
Затраты	0	4	10
Сокращение продолжительности	0	5	9

3 шаг. Рассматриваем объединенные работы I и II. Решение приведено ниже.

2	10; 9	17; 11	18; 12	25; 14
1	4; 5	11; 7	12; 8	19; 10
0	0	7; 2	8; 3	15; 5
2 1	0	1	2	3

Результаты сведены в таблицу 6.

В результате получили параметрическую таблицу $S(Y)$. Для $Y \geq Q = 8$ имеем: $Y = 9, S(9) = 10$, что соответствует сокращению продолжительностей работ 3 и 4.

Таблица 6

Объединенная работа III

Вариант	0	1	2	3	4	5
Затраты	0	4	10	17	18	25
Сокращение продолжительности	0	5	9	11	12	14

Фактически мы рассматриваем случай последовательных работ, т.е. базовый алгоритм 2. Далее покажем, как на основе базовых алгоритмов 1 и 2 решать задачу для вариантов 3, 4 и 5.

Сетевой график-дерево

Рассмотрим рис. 1. Работы 1 и 2 являются параллельными, поэтому применим алгоритм 1. Объединенная работа $I = (1, 2)$ и работа 4 являются последовательными, поэтому применяем алгоритм 2. Получаем объединенную работу $II = (I, 4)$. Теперь параллельными являются объединенная работа II и работа 3. Применяем алгоритм 1. Получаем объединенную работу $III = (II, 3)$. Наконец объединенная работа III и работа 5 являются последовательными, поэтому при-

меняем алгоритм 2. Само решение получаем методом обратного хода [12].

Агрегируемый сетевой график

В данном случае также применяем последовательность базовых алгоритмов. Так на рис. 2 работы 2 и 3 являются параллельными – применяем алгоритм 1. Получаем объединенную работу $I = (2, 3)$. Теперь работы 1, I, 4 и 5 являются последовательными – применяем базовый алгоритм 2. Алгоритм естественно обобщается на случай любой агрегируемой сети.

Сетевой график «сборка с комплектацией»

Идею алгоритма поясним на примере сети (рис. 3). Если зафиксировать продолжительность работы 2, то без учета этой работы получаем сетевой график-

дерево, и можно применить алгоритм пункта 4 (при дополнительном ограничении на моменты начала работ 4 и 6). Работа 2 имеет две возможных продолжительности – τ_2 и $\tau_2 - \Delta_2$. Для каждого варианта решаем задачу алгоритмом из пункта 4. Из двух вариантов выбираем лучший.

В общем случае определяем множество R работ, фиксация продолжительности которых превращает сеть в дерево. Далее рассматриваем все варианты фиксации продолжительностей работ этого множества (число вариантов равно 2^q , где q – число работ множества R). Решаем задачу для каждого варианта, из которых выбираем лучший.

Заключение

Предложенный способ решения задач календарного планирования, основанный на методе сетевого программирования, позволяет использовать простые алгоритмы, легко поддающиеся программной реализации. При сетевой структуре типа дерева мы получаем точное решение задачи, а в общем случае – верхнюю или нижнюю оценку для использования в методе ветвей и границ. При большом количестве работ (больше 8) метод дает заметный выигрыш по времени реализации по сравнению с методом перебора или динамического программирования.

Рассмотренные в статье алгоритмы использовались при составлении календарных планов реализации проектов в «Роскосмосе».

Список литературы

1. Сетевые модели и задачи управления / В.Н. Бурков, Б.Д. Ланда, С.Е. Ло-

вецкий [и др.]. М.: Советское радио, 1967. 144с.

2. Математические основы управления проектами / С.А. Баркалов, И.В. Буркова, В.И. Воропаев [и др.]; под ред. В.Н. Буркова. М.: Высшая школа, 2005. 423 с.

3. Andres C., Hatami S. Evolutionary heuristics and an algorithm for the two-stage assembly scheduling problem to minimize makespan with setup times // International Journal of Production Research. 2011. 44. Pp. 4713-4735.

4. Allaoui H., Artiba A. Johnson's algorithm: a key to solve optimally or approximately flow shop scheduling problems with unavailability periods // International Journal of Production Economics. 2009. 121. Pp. 81-87.

5. Chenkong V., Haimes Y.Y. The tree stage assembly permutation flowshop scheduling problem. Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Cartagena. September 7-9, 2011.

6. Demeulemeester E.L., Herroelen W., Project scheduling: a research handbook. Kluwer Academic Publisher, 1976. P. 710.

7. Garey M.R. The complexity of flowshop and jobshop scheduling // Mathematics of Operations Research 1976. №1 (2). Pp. 117-129.

8. Sun Y., Zhang C.Y., Gao L., Wang X.J. Multy-objective optimization algorithms for flow shop scheduling problem: a review and prospects // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011. 55. Pp. 723-739.

9. Лисицин Л.А., Халин Ю.А., Лисицин А.Л. Системы поддержки принятия управленческих решений в условиях неполной информации // Известия Юго-

Западного государственного университета. 2012. № 4-2 (43). С. 95-99.

10. Халин Ю.А., Сизов А.С., Игнатенко А.Н. Нечётко-множественная модель многокритериальной оценки конкурентоспособности предприятия // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-1 (38). С. 53-57.

11. Кузьбожев Э.Н., Можейко А.Г., Халин Ю.А. Управление инновационны-

ми процессами на основе интеллектуальных информационных технологий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 6-2 (39). С. 83-86.

12. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации // Автоматика и телемеханика. 2009. № 10. С. 15-21.

Поступила в редакцию 10.08.18

UDC 519.876.2

I. V. Burkova, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences named after V. A. Trapeznikov (Russia, Moscow, Profsoyuznaya Str., 65) (e-mail: irbur27@gmail.com)

B. K. Uandykov, Candidate of Engineering Sciences, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences named after V. A. Trapeznikov (Russia, Moscow, Profsoyuznaya Str., 65) (e-mail: vlab17@bk.ru)

Yu.A. Khalin, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya Str., 94) (e-mail: yur-khalin@yandex.ru)

THE NETWORK PROGRAMMING METHOD APPLICATION IN THE SCHEDULING TASKS

The article considers the application of the network programming method to the solution of the discrete problem of minimizing the cost of the project for a given duration of its implementation. The essence of the method is that the target function and the restriction in the scheduling problem can be represented as a superposition of simpler functions. This representation is convenient to depict in the form of a network, at the lower level of which there are vertices corresponding to variables (network inputs), intermediate vertices correspond to the functions included in the superposition, and the final vertex (output) corresponds to the original function.

Calendar planning tasks are very common in practice and at the same time belong to the class of NP-difficult. This makes the development of algorithms for their solution actual. The paper describes two basic algorithms for solving the problem for the cases of independent and sequential works. More complex cases (tree-type network and an aggregated network) can be represented as a combination of these cases and solved based on sequential application of basic algorithms. As an example of a production network is given a network of the type "Assembly with a components". For it the method which consists in definition of a set of works which fixing of duration leads to one of the cases considered above (tree-type network or aggregated network) is offered. Next all possible options for fixing the duration of the work of the selected set and the solution of the problem for each option are considered. The best of all the options is chosen.

The algorithms proposed in paper may be useful in the of the project management, particularly in solving scheduling tasks.

Key words: work duration; work cost; tree-type network; aggregated network; network programming method.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-119-126

For citation: Burkova I. V., Uandykov B. K., Khalin Yu.A. The Network Programming Method Application in the Scheduling Tasks. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 119-126 (in Russ.).

Reference

1. Burkov V.N., Landa B.D., Loveckij S.E. i dr. Setevye modeli i zadachi upravleniya. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1967, 144 p.
2. Barkalov S.A., Burkova I.V., Voropaev V.I. i dr. Matematicheskie osnovy upravleniya proektami; ed. by Burkov V.N. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005, 423 p.
3. Andres C., Hatami S. Evolutionary heuristics and an algorithm for the two-stage assembly scheduling problem to minimize makespan with setup times. *International Journal of Production Research*, 2011, no. 44, pp. 4713-4735.
4. Allaoui H., Artiba A., Johnson's algorithm: a key to solve optimally or approximately flow shop scheduling problems with unavailability periods. *International Journal of Production Economics*, 2009, no. 121, pp. 81-87.
5. Chenkong V., Haimes Y.Y. The tree stage assembly permutation flowshop scheduling problem. Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Cartagena, September 7-9, 2011.
6. Demeulemeester E.L., Herroelen W. Project scheduling: a research handbook. Kluwer Academic Publisher, 1976, p. 710.
7. Garey M.R. The complexity of flowshop and jobshop scheduling. *Mathematics of Operations Research*, 1976, no. 1 (2), pp. 117-129.
8. Sun Y., Zhang C.Y., Gao L., Wang, X.J. Multy-objective optimization algorithms for flow shop scheduling problem: a review and prospects. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, no. 55, pp. 723-739.
9. Lisicin L.A., Halin YU.A., Lisicin A.L. Sistemy podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij v usloviyah nepolnoj informacii. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 4-2 (43), pp. 95-99.
10. Halin Yu.A., Sizov A.S., Ignatenko A.N. Nechyotko-mnozhestvennaya model' mnogokriterial'noj ocenki konkurentosposobnosti predpriyatiya. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 5-1 (38), pp. 53-57.
11. Kuz'bozhev Eh.N., Mozhejko A.G., Halin Yu.A. Upravlenie innovacionnymi processami na osnove intellektual'nyh informacionnyh tekhnologij. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 6-2 (39), pp. 83-86.
12. Burkova I.V. Metod setevogo programmirovaniya v zadachah nelinejnoj optimizacii. *Avtomatika i telemekhanika*, 2009, no. 10, pp. 15-21.

УДК 519.876.2

Д.А. Петросов, канд. техн. наук, доцент, Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (Россия, 308503, Белгород, пос. Майский, ул. Вавилова, 1) (e-mail: scorpionss2002@mail.ru)

Н.В. Петросова, преподаватель, Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (Россия, 308503, Белгород, пос. Майский, ул. Вавилова, 1) (e-mail: petrosova.nat@mail.ru)

А.Г. Бажанов, канд. техн. наук, Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (Россия, 308503, Белгород, пос. Майский, ул. Вавилова, 1) (e-mail: bazhanov.ag@bstu.ru)

О.И. Бажанова, канд. техн. наук, доцент, Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (Россия, 308503, Белгород, пос. Майский, ул. Вавилова, 1) (e-mail: bazhanova.oi@bstu.ru)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГРАФИЧЕСКОГО МУЛЬТИПРОЦЕССОРА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

В работе рассматривается проблема создания имитационных моделей графического мультипроцессора для проведения вычислительных экспериментов с целью определения эффективности применения параллельных вычислений на основе технологии GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units, неспециализированные вычисления на графических процессорах) в задачах структурно-параметрического синтеза больших дискретных систем на основе эволюционных процедур. В качестве математического аппарата предлагается использование теории сетей Петри, которая обладает свойством параллелизма и позволяет описывать дискретные процессы, протекающие как в генетическом алгоритме, так и в самой вычислительной системе. Разработка имитационной модели выполняется на основе архитектуры памяти графического мультипроцессорного модуля с учетом специфики ее работы, связанной с возможностью чтения, записи и передачи данных. Кроме того, рассмотрена особенность работы арифметико-логических устройств, которые способны выполнять одновременно одну команду над множеством данных. При построении модели учтена особенность графических мультипроцессоров, которая позволяет получить больший эффект от применения параллельных вычислений избегая срабатывания блоков ветвлений и управления, которые замедляют работу мультипроцессора (так как их количество меньше, чем количество вычислителей), образуя тем самым «узкие» места. Предложенная имитационная модель мультипроцессорного блока на основе выбранного инструментального средства, реализованная с помощью специализированного программного средства имитационного моделирования на базе теории сетей Петри – PIPE 5. Данное программное средство распространяется бесплатно и обладает широким спектром инструментальных и аналитических средств, что в значительной мере упрощает как процесс моделирования, так и процесс анализа полученных моделей. Полученная в результате исследования модель даст возможность оценить эффективность применения параллельных вычислений на основе технологии GPGPU при решении задачи повышения быстродействия интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений на базе адаптированных к предметной области генетических алгоритмов.

Ключевые слова: имитационное моделирование; интеллектуальные системы; эволюционные методы; генетические алгоритмы; параллельные вычисления; графический мультипроцессор.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-127-135

Ссылка для цитирования: Имитационная модель графического мультипроцессора на основе теории сетей Петри / Д.А. Петросов, Н.В. Петросова, А.Г. Бажанов, О.И. Бажанова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 127-135.

Введение

В настоящее время существует проблема повышения быстродействия ин-

теллектуальных информационных систем поддержки принятия решений. Для решения данной проблемы предлагаются

различные подходы, которые основываются как на повышении вычислительных возможностей аппаратной части, так и со стороны программной реализации. В свою очередь, программная реализация может использовать новые математические аппараты, модели и методы алгоритмизации, которые направлены на повышение скорости обработки данных для синтеза решений, а также возможно применение новых технологий при программировании систем искусственного интеллекта. Одним из таких подходов является технология GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units, неспециализированные вычисления на графических процессорах) [1].

Применение данной технологии может позволить в значительной мере повысить быстродействие систем поддержки принятия решений, которые базируются на эволюционных процедурах поиска решений [2, 3], таких как генетические алгоритмы и искусственные нейронные сети. Как в генетических алгоритмах [4], так и в нейронных сетях [5] заложено свойство параллелизма, которое может быть использовано совместно с технологией GPGPU. В этом случае возникает вопрос в описании данных методов с помощью единого математического аппарата, который позволит создать имитационную модель для проведения вычислительных экспериментов с целью выявления эффективности применения параллельных вычислений в области структурно-параметрического синтеза больших дискретных систем с заданным поведением. В качестве основного математического аппарата предлагается использовать

теорию сетей Петри [6]. В работе [2] была представлена имитационная модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри. Данная модель позволяла проводить процедуру синтеза моделей сетей Петри, описывающих поведение больших дискретных систем в соответствии с заданным поведением (способностью обрабатывать заданный входной вектор в эталонный выходной, проходя через ряд заданных состояний). В том числе данный подход можно применять для построения моделей дискретных процессов при создании управляющих автоматов [7, 8]. Для получения данных об эффективности применения технологии GPGPU целесообразно разработать имитационную модель мультипроцессора графического вычислителя, с использованием того же математического аппарата, и оценить повышение быстродействия.

Технология GPGPU позволяет распределить вычисления на множество процессоров, но существует проблема с работой памяти устройства, а также наличия «узких» мест [9], связанных с обработкой ветвлений и управления. Данная проблема связана с тем, что блоков управления и ветвления в мультипроцессоре меньше, чем процессоров, в которых, для повышения быстродействия, требуется обрабатывать одну команду на различных данных (архитектура памяти мультипроцессора показана на рисунке 1).

Особенности представленной архитектуры следует учесть при создании имитационной модели на основе теории сетей Петри.

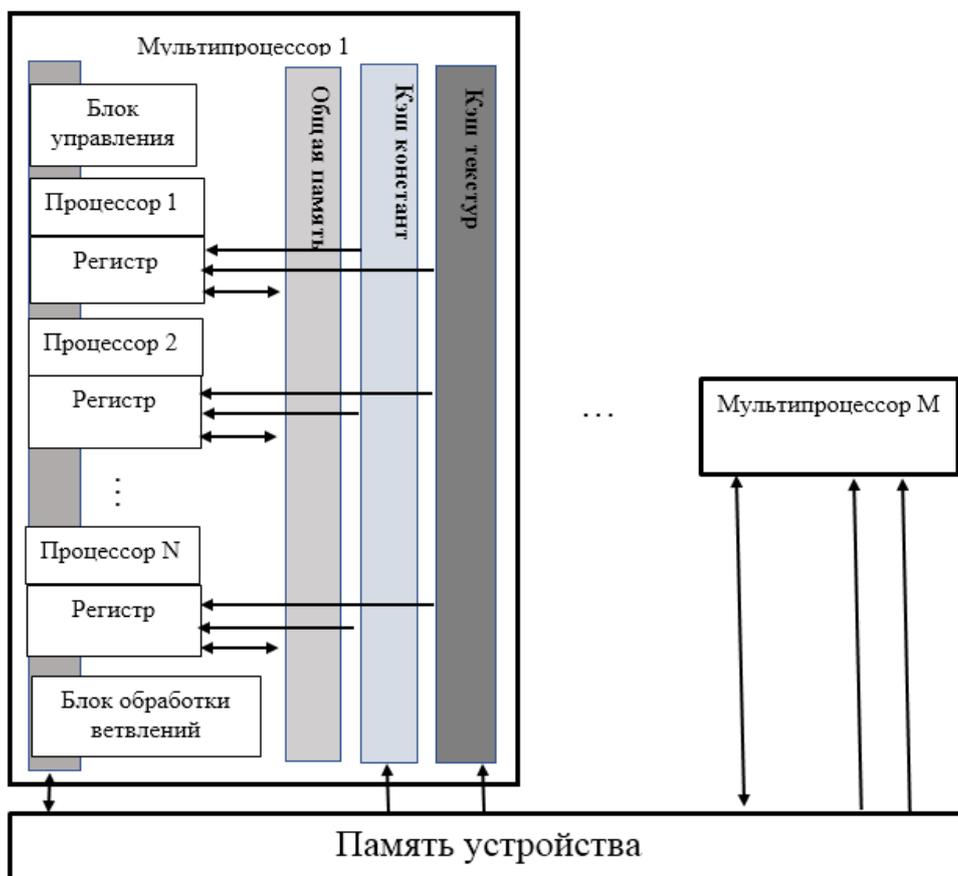


Рис. 1. Архитектура памяти мультипроцессора в графическом вычислителе

Постановка задачи

В рамках проводимого исследования требуется построить имитационную модель мультипроцессора графического вычислителя M_{mult} , которая сможет отразить специфику обработки данных. Для этого следует учесть:

- работу всех моделей памяти вычислительного устройства;
- количество вычислителей и его регистры;
- взаимосвязь вычислителей и модулей памяти с учетом записи и чтения данных;
- взаимосвязь структуры компонентов графического мультипроцессора;
- работу «узких» мест мультипроцессора: блока управления и блока ветвления;

– запись начальных данных и параметров функционирования генетических алгоритмов.

Методы, предложенные в статье

Таким образом разрабатываемую модель мультипроцессора в графическом вычислителе можно представить в следующем виде:

$$M_{mult} = (P, K_{str}, K_{const}, Rem_{all}, Rem_{dev}, Reg_{proc}, B_{contr}, B_{if}, C),$$

где M_{mult} – модель мультипроцессора;

P – модель процессора и его регистра;

K_{str} – кэш текстур;

K_{const} – кэш констант;

Rem_{all} – общая память;

Rem_{dev} – память устройства;

Reg_{proc} – регистры процессоров;

B_{contr} – блок управления;

B_{if} – блок ветвлений;

C – связи между элементами.

Для каждого компонента модели требуется разработать модели на основе сетей Петри, тогда представленный кортеж примет следующий вид:

$M_{mult} = (PN_{proc}, PN_{str}, PN_{const}, PN_{rem_{all}}, PN_{rem_{dev}}, PN_{reg_{proc}}, PN_{contr}, PN_{if}, T, F)$,

где PN_{proc} – множество $\{PN_{proc_i}\}_{i=1}^{M_r}$ моделей процессоров с регистром на основе сетей Петри;

PN_{str} – модель кэша текстур на основе сетей Петри (в качестве хранения данных используются позиции, количество позиций соответствует размеру блока памяти);

PN_{const} – модель кэша констант на основе сетей Петри (в качестве хранения данных используются позиции, количество позиций соответствует размеру блока памяти);

$PN_{rem_{all}}$ – модель общей памяти мультипроцессоров на основе сетей Петри (в качестве хранения данных используются позиции, количество позиций соответствует размеру блока памяти);

$PN_{rem_{dev}}$ – модель памяти устройств на основе сетей Петри (в качестве хранения данных используются позиции, количество позиций соответствует размеру блока памяти);

$PN_{reg_{proc}}$ – модель регистров процессоров на основе сетей Петри (в качестве хранения данных используются позиции, количество позиций соответствует размеру блока памяти);

PN_{contr} – модель блока управления на основе сетей Петри;

PN_{if} – модель блока разветвления на основе сетей Петри;

множество переходов T и соответствий F определяет структуру модели M_{mult} .

Модель процессора из множества PN_{proc} на основе сети Петри можно представить в следующем виде (рис. 2)

$PN_{proc_i} = \langle P, T, F, M_0 \rangle$.

Позиции $P = \{P_i\}_{i=1}^m$, где m – количество ячеек памяти в регистре (на примере отображено четыре ячейки памяти P_0, P_1, P_2, P_3), которые служат для хранения данных, над которыми следует провести вычисление.

Переход T_0 моделирует выполнение операций над данными (работу вычислителя).

Для обработки ветвлений и работы блока управления целесообразно применить переходы с таймингом (рис. 3), таким образом получится учесть временную задержку, которая возникает в «узких» местах.

Переход T_0 обладает таймингом, который выставляется на время срабатывания, данные для управления передаются из перехода T_1 (для того, чтобы отделить данные, которые требуют использования данного блока, можно использовать или отдельные ячейки памяти или разделить их с помощью цвета, применяя цветные сети Петри) в позиции, соединённые с переходом T_0 по входу, после обработки помещаются в позиции для дальнейшего участия в вычислениях.

Так как в соответствии с архитектурой мультипроцессора общая память имеет возможность записи и чтения из регистров процессора, это должно быть отражено в разрабатываемой модели, при этом данные для вычисления должны передаваться в свободные регистры. Для этого предлагается использовать ингибиторные дуги, которые позволяют сработать переходу при условии, что во входящей позиции нет меток (ячейки памяти свободны).

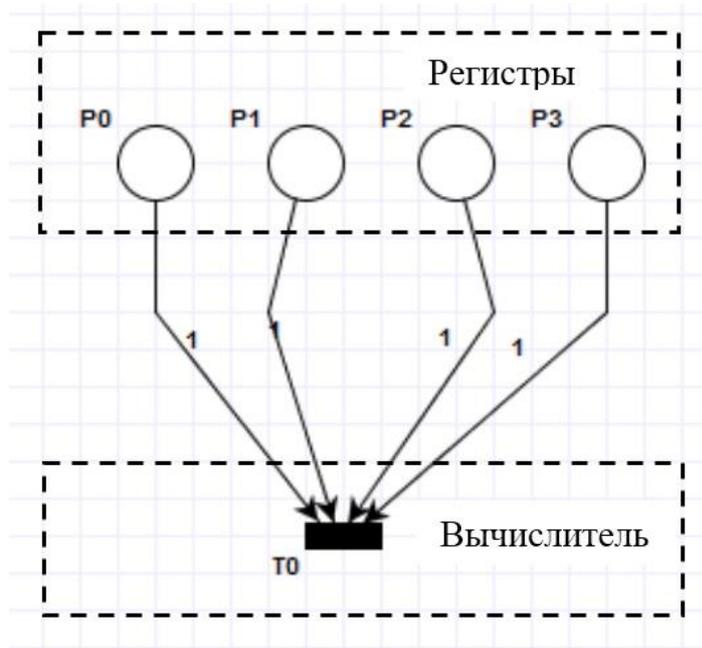


Рис. 2. Пример модели процессоров с регистром на основе сетей Петри

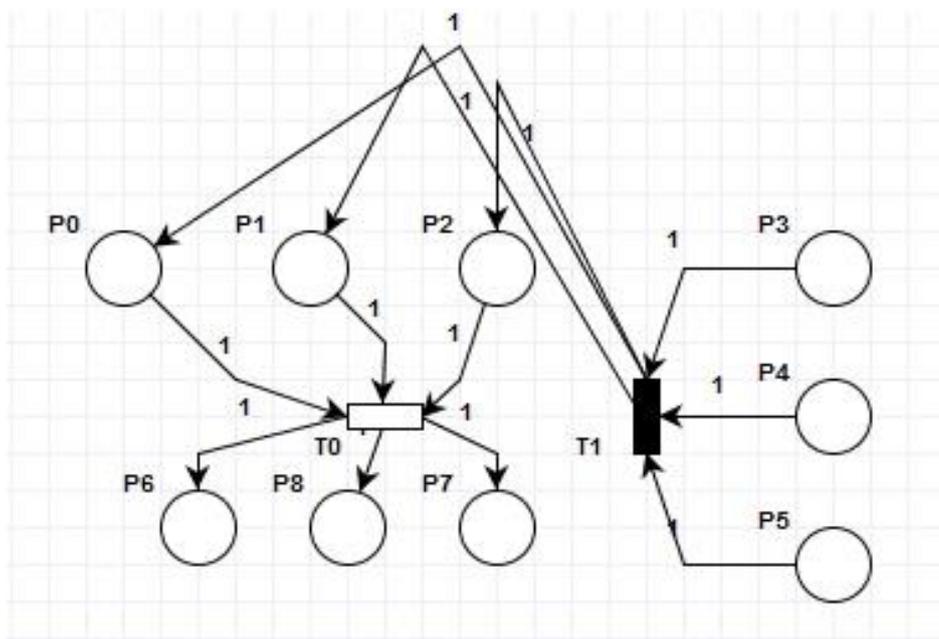


Рис. 3. Пример модели блока управления на сетях Петри

Регистры и кэши мультипроцессора можно моделировать с помощью позиций, соединённых с исполнительными модулями с помощью переходов.

Для моделирования модели мультипроцессорного модуля использовался

программный продукт PIPE 4.5. Данное программное средство поддерживает все расширения, которые требуются для построения имитационной модели. Полученная модель представлена на рисунке 4.

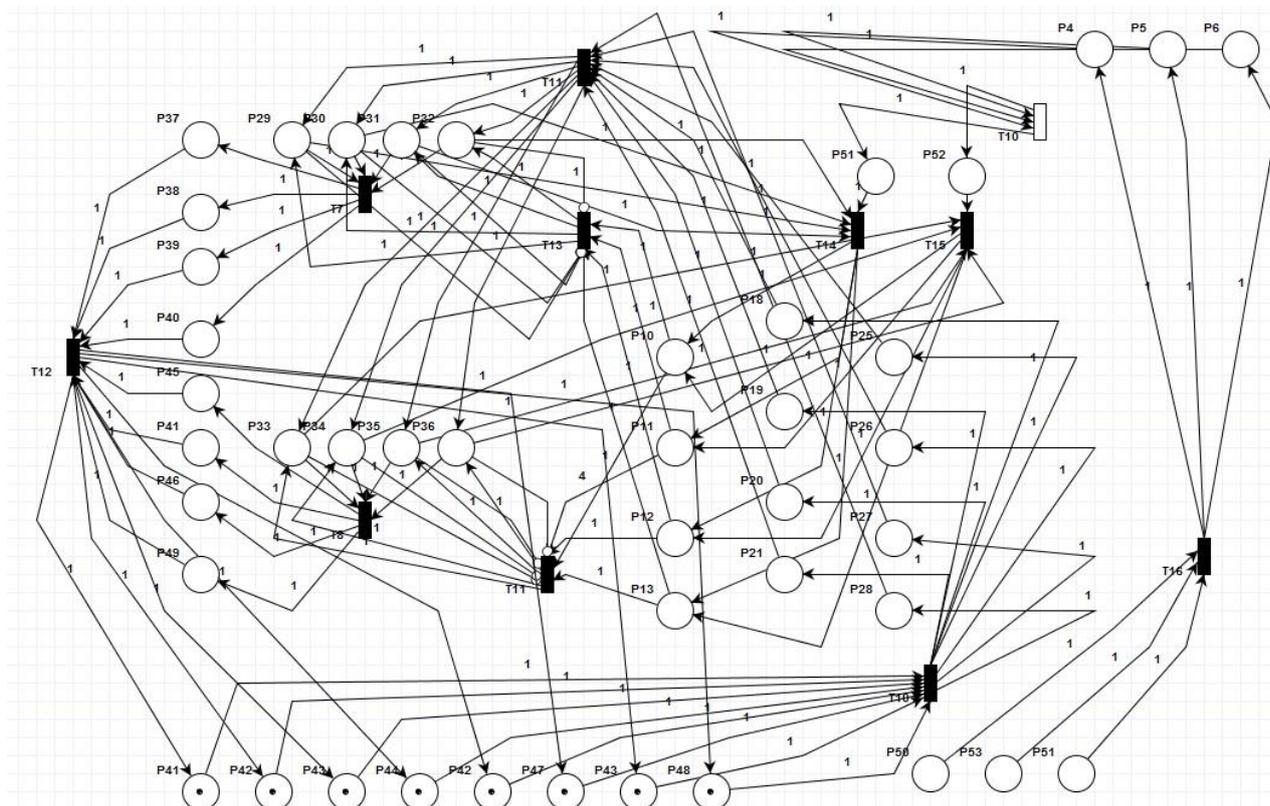


Рис. 4. Имитационная модель графического мультипроцессора на основе сетей Петри

Вычислительный эксперимент

В ходе проверки адекватности полученной модели был проведен ряд вычислительных экспериментов по корректности обработки данных имитационной моделью мультипроцессора:

- без использования блока ветвления и блока управления (учет возможности полного распараллеливания процессов);
- с учетом использования блока ветвлений;
- с учетом использования блока управления;
- с учетом использования блока ветвлений и блока управления.

Адекватность полученных в результате работы модели данных была проверена с помощью деревьев достижимых маркировок.

Обсуждение результатов и заключение

Предложенная модель иллюстрирует работу мультипроцессора при обработке популяций генетического алгоритма. В PN_{str} (кэше текстур) используется в M_{mult} для кэширования исходных данных задачи – популяция генетического алгоритма. PN_{const} (кэш констант) предлагается использовать для хранения неизменяемых в ходе вычисления данных для всех мультипроцессоров, для генетического алгоритма это могут быть параметры функционирования операторов, размер популяции, эталонные вектора и т.д. В PN_{rem_all} (общей памяти мультипроцессоров) хранятся промежуточные значения и доступ к данному виду памяти имеет исключительно мультипроцессор, в котором проводятся вычисления. Данный вид памяти устройства доступен всем мульт-

типроцессорам и является внешней, следовательно, может использоваться для обмена данными между мультипроцессорами.

Предложенная модель будет использована для проведения имитационного моделирования работы генетического алгоритма при решении задачи структурно-параметрического синтеза больших дискретных систем с заданным поведением с применением средств параллельных вычислений в сравнении с однопроцессорной вычислительной системой. Что даст возможность сравнить полученные данные с расчетами по закону Амдала [10], которые показали увеличение быстродействия за счет увеличения количества вычислителей более чем в три раза. Также целесообразно проведение вычислительных экспериментов с применением программной реализации на основе программно-аппаратной архитектуры параллельных вычислений CUDA (Compute Unified Device Architecture) с использованием видеокарт компании Nvidia. Такого рода исследование позволит сравнить полученные в результате работы предложенной модели результаты не только с расчетами по закону Амдала, но и с реальными значениями.

Благодарности:

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ: № 18-07-00634-А

Список литературы

1. Al-Mouhamed M., Khan A.H. Exploration of automatic optimisation for CUDA programming // *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. 2015. Vol. 30. Issue 4. Pp. 309 – 324. doi: 10.1080/17445760.2014.953158.
2. Петросов Д.А. Адаптация генетического алгоритма при моделировании вычислительной техники с изменяющейся структурой и набором компонентов на основе сетей Петри // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. 2009. № 6 (20). С. 151 – 160.
3. Петросов Д.А. Применение параллельных вычислений в интеллектуальных системах управления // *Информационно-аналитические системы и технологии: материалы V международной конференции*. 2018. С. 24 – 29.
4. Hart W. E., Baden S., Belew R. K., Kohn S. Analysis of the Numerical Effects of Parallelism on a Parallel Genetic Algorithm. In *IEEE (ed.): CD-ROM IPPS97*. 1997. 8p.
5. Al-Dabass D., Vindlacheruvu P., Evans D.J. Parallelism in neural nets // *Parallel Algorithms and Applications*. 1997. Is. 3-4. Pp. 169 – 185.
6. Lomazova I. A. Resource Equivalences in Petri Nets, in: *Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. 38th International Conference, PETRI NETS 2017, Zaragoza, Spain, June 25–30, 2017, Proceedings/ Ed. By W. van der Aalst E. Best. Vol. 10258: Lecture Notes in Computer Science*. Switzerland: Springer, 2017. Pp. 19 – 34.
7. Подходы к построению дискретных моделей непрерывных технологических процессов для синтеза управляющих автоматов / В.З. Магергут, В.А. Игнатенко, А.Г., Бажанов В.Г. Шаптала // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 2. С. 100 – 102.
8. Магергут В.З., Рубанов В.Г., Чуев А.С. Формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на ин-

дикаторных сетях: монография. Белгород: БГТУ, 2016. 149 с.

9. Басавин Д.А., Петросов Д.А., Игнатенко В.А. Применение технологии GPGPU в задачах создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Высокие интеллектуальные технологии в науке и образовании: материалы IV Меж-

дународной научно-практической конференции. СПб., 2017. С. 63 – 65.

10. Amdahl, Gene M. Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large-Scale Computing Capabilities // AFIPS Conference Proceedings. Pp. 483 – 485. doi:10.1145/1465482.1465560.

Поступила в редакцию 30.07.18

UDC 519.876.2

D.A. Petrosov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin (Russia, 308503, Belgorod, May Village, Vavilova Str., 1) (e-mail: scorpionss2002@mail.ru)

N.V. Petrosova, Lecturer, Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin (Russia, 308503, Belgorod, May Village, Vavilova Str., 1) (e-mail: petrosova.nat@mail.ru)

A.G. Bazhanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin (Russia, 308503, Belgorod, May Village, Vavilova Str., 1) (e-mail: bazhanov.ag@bstu.ru)

O.I. Bazhanova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin (Russia, 308503, Belgorod, May Village, Vavilova Str., 1) (e-mail: bazhanova.oi@bstu.ru)

SIMULATION MODEL OF GRAPHIC MULTIPROCESSOR BASED ON THE PETRI NETS THEORY

This work addresses the problem of creating the simulation models of a graphical multiprocessor for carrying out computational experiments to determine the efficiency of using the parallel computing based on GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units, non-specialized computing on graphics processors) in tasks of structural-parametric synthesis of big discrete systems based on evolutionary procedures. We propose to use the Petri nets theory as a mathematical tool. It has the parallelism property and allows describing discrete processes occurring both in the genetic algorithm and in the computing system itself. The development of a simulation model is carried out on the basis of the graphic multiprocessor module memory architecture taking into account the specifics of its work related to the ability to read, write and transmit data. In addition, we describe the feature of the arithmetic logic devices work, which are able to simultaneously execute one command over a set of data. When building the model we take into account a feature of graphic multiprocessors which allows to get a greater effect from using the parallel computing avoiding the branching and control blocks operation that slow down the multiprocessor (since their number is less than the calculators number), thereby forming the "narrow" places. The proposed simulation model of a multiprocessor unit based on the selected tool is implemented using the specialized software for simulation based on the Petri nets theory – PIPE 5. This software is distributed free of charge and has a wide range of instrumental and analytical tools, which greatly simplifies both the modeling process and the process of analyzing the obtained models. The resulting model will provide an opportunity to evaluate the efficiency of using parallel computing based on GPGPU technology in solving the task of improving the performance of intelligent information decision support systems based on genetic algorithms adapted to the subject area.

Key words: simulation; intelligent systems; evolutionary methods; genetic algorithms; parallel computing; graphic multiprocessor.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-127-135

For citation: Petrosov D.A., Petrosova N.V., Bazhanov A.G., Bazhanova O.I. Simulation Model of Graphic Multiprocessor Based on the Petri Nets Theory. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 127-135 (in Russ.).

Reference

1. Al-Mouhamed M., Khan A.H. Exploration of automatic optimisation for CUDA programming. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 2015, vol. 30, is. 4, pp. 309 – 324.
2. Petrosov D.A. Adaptacija genetičeskogo algoritma pri modelirovanii vychislitel'noj tehniki s izmenjajushhejsja strukturoj i naborom komponentov na osnove setej Petri. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2009, no. 6 (20), pp. 151 – 160.
3. Petrosov D.A. Primenenie paralel'nyh vychislenij v intel'lektual'nyh sistemah upravlenija. *Informacionno-analiticheskie sistemy i tehnologii. Materialy V mezhdunarodnoj konferencii*, 2018, pp. 24 – 29.
4. Hart W. E., Baden S., Belew R. K., Kohn S. Analysis of the Numerical Effects of Parallelism on a Parallel Genetic Algorithm. In IEEE (ed.): CD-ROM IPSP97. 1997, 8 p.
5. Al-Dabass D., Vindlacheruvu P., Evans D.J. Parallelism in neural nets. *Parallel Algorithms and Applications*, 1997, is. 3-4, pp. 169 – 185.
6. Lomazova I. A. Resource Equivalences in Petri Nets, in: Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. 38th International Conference, PETRI NETS 2017, Zaragoza, Spain, June 25–30, 2017, Proceedings. Ed. By W. van der Aalst E. Best. Vol. 10258: Lecture Notes in Computer Science. Switzerland: Springer, 2017, pp. 19 – 34.
7. Magergut V.Z., Ignatenko V.A., Bazhanov A.G., Shaptala V.G. Podhody k postroeniju diskretnyh modelej nepreryvnyh tehnologičeskikh processov dlja sin-teza upravljajushhih avtomatov. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2013, no. 2, pp. 100 – 102.
8. Magergut V.Z., Rubanov V.G., Chuev A.S. Formalizacija i analiz diskretnyh organizacionno-tehnologičeskikh sistem so strukturirovannymi agentami na indikatornyh setjah. Belgorod, 2016, 149 p.
9. Basavin D.A., Petrosov D.A., Ignatenko V.A. Primenenie tehnologii GPGPU v zadachah sozdaniya intellektual'nyh sistem podderzhki prinjatija reshenij. *Vysokie intel'lektual'nye tehnologii v nauke i obrazovanii. Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii*. Saint-Petersburg, 2017, pp. 63 – 65.
10. Amdahl Gene M. Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large-Scale Computing Capabilities. *AFIPS Conference Proceedings*, pp. 483 – 485.

К сведению авторов

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа.
- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);
- лицензионный договор.

3. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

4. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

5. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

6. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

7. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полуужирный), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200-250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

Например:

УДК 004.9:519.8

А.Л. Иванов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ivanov@gmail.com)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность. ...

Ключевые слова: агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

8. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

9. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω , η , β , μ , ω , ν и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (\sin , \cos , \tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы.**

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются**.

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). Приставительные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

13. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 22-25-26, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: <http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php>.