

**ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

2013

№ 1 (69)

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

Выходит один раз в квартал

Март 2013 г.

*Журнал включен в перечень ведущих
рецензируемых журналов и научных изданий,
утвержденный президиумом ВАК
Министерства образования и науки РФ,
в которых публикуются основные научные
результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора и кандидата наук*

**Главный редактор
Зам. главного редактора
Ответственный секретарь**

д.и.н., профессор И.Р. Плеве
д.т.н., профессор А.А. Сытник
д.ф.-м.н., профессор В.В. Астахов

Редакционный совет: д.т.н. В.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес,
д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатъев, д.т.н. В.В. Калашников, д.т.н. И.А. Новаков,
д.и.н. И.Р. Плеве (председатель), д.т.н. А.Ф. Резчиков, д. социол. н. С.Б. Суровов,
д.т.н. А.А. Сытник (заместитель председателя), д.ф.-м.н. Я. Аврейцевич (Польша),
д.э.н. У. Арнольд (Германия), д.ф.-м.н. Э. Мерсер (Великобритания), д.э.н. Э. де Соузе Феррейра
(Португалия), д.т.н. Т. Чермак (Чехия), д.э.н. Ю.В. Шленов

Редакционная коллегия: д.т.н. В.А. Крысько, д.ф.-м.н. В.В. Астахов,
д.х.н. А.В. Гороховский, д.т.н. В.Н. Лясников, д.ф.-м.н. Л.А. Мельников, д.т.н. Р.З. Аминов,
д.т.н. Ю.Г. Иващенко, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. А.А. Сытник, д.т.н. А.А. Большаков, д.филос.н.
Д.В. Михель, д.биол.н. Е.И. Тихомирова, д.э.н. А.Н. Плотников, д.и.н. Г.В. Лобачева

Редактор Л.А. Скворцова
Компьютерная верстка Н.В. Лукашовой
Перевод на английский язык А.Х. Аскаровой

Адрес редакции:
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77
Телефон: (845 2) 99-87-39
E-mail: vestnik@sstu.ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 15.02.13
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 40,0 Уч.-изд. л. 20,55
Тираж 500 экз. Заказ 95
Отпечатано в Издательстве СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Полная электронная версия журнала размещена в системе РИНЦ
в открытом доступе на платформе eLIBRARY.RU

Подписной индекс 18378
(каталог «Газеты. Журналы» на 2-е полугодие 2013 г.)



Scientific Journal

Since 2003

Once in a quarter

March 2013

This journal is included into the list of leading reviewed journals and scientific publications approved by the presidium of Ministry of Education and Sciences of Russian Federation where major scientific thesis's results for academic degree competition for a doctor and a candidate of sciences

Editor-in-chief Professor I.R. Plevе
Editor-in-chief assistant Professor A.A. Sytnik
Executive secretary Professor V.V. Astakhov

Drafting committee: Prof. V.I. Volchihin, Prof. V.A. Golenkov, Prof. V.A. Dines, Prof. V. Zelensky (Poland), Prof. V.A. Ignatyev, Prof. V.V. Kalashnikov, Prof. I.A. Novakov, Prof. I.R. Plevе (Chairman), Prof. A.F. Rezhnikov, Prof. A.A. Sytnik (Vice of the Chairman), Prof. S.B. Surovov, Prof. Y. Avreytsevich (Poland), Prof. U. Arnold (Germany), Prof. A. Merser (UK), Prof. E. D'Sousa Ferreira (Portugal), Prof. T. Chermak (Czech Republic), Prof. Y.V. Shlenov

Editorial board: Prof. V.A. Krysko, Prof. V.V. Astakhov, Prof. A.V. Gorokhovski, Prof. V.N. Lyasnikov, Prof. L.A. Melnikov, Prof. R.Z. Aminov, Prof. Y.G. Ivashchenko, Prof. A.S. Denisov, Prof. A.A. Sytnik, Prof. A.A. Bolshakov, Prof. D.V. Mikhel, Prof. Y.I. Tikhomirova, Prof. A.N. Plotnikov, Prof. G.V. Lobacheva

Editor L.A. Skvortsova
Computer-based page-proof N.V. Lukashova
Rendering A.H. Askarova

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street
Saratov, 410054
Russia
Telephone: +8452/99-87-39
E-mail: vestnik@sstu.ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 15.02.13
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 40,0 Acc.-pbl. l. 20,55
Edition 500 psc. Order 95
Printed in publishing house of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054,
Russia

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

- Крысько В.А., Крылова Е.Ю., Папкова И.В.** Нелинейная динамика параметрических колебаний двухслойных распределенных систем с учетом зазора между слоями.....7
- Руннова А.Е., Короновский А.А., Иванов А.В., Павлов А.Н., Куркин С.А., Яшков И.А., Храмов А.Е.** Применение адаптивного вейвлетного анализа для диагностики различных волновых компонент цифровых данных наземной сейсморазведки 12

ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

- Гришина Е.М., Архангельский Ю.С.** Многокритериальная технико-экономическая оптимизация в СВЧ электротермии..... 21
- Данилов Д.И., Журавлев М.О., Иванов А.В., Короновский А.А., Куровская М.К., Москаленко О.И., Сельский А.О., Шурыгина С.А.** Исследование характеристик перемежающегося поведения вблизи границы синхронного режима при изменении управляющего параметра27
- Кузнецов А.П., Попова Е.С., Селезнев Е.П., Станкевич Н.В.** Методика диагностики многочастотных тордов в эксперименте 33
- Лашков А.В.** О влиянии неравномерного нагрева линейки термокаталитических датчиков на распознавание газовых смесей 39
- Окишев Ю.А., Клинаев Ю.В.** Основные подходы к численному моделированию частной задачи трех тел для баллистического анализа перелета космического аппарата с низкой околоземной орбиты в точку L_1 системы «Земля-Луна»..... 44
- Розов А.С., Байбури В.Б.** Моделирование и расчёт траекторий зарядов в неоднородном и нестационарном магнитном поле 49

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Лазаренко А.С., Савельева Е.А.** Влияние импульсной катодной поляризации на величину потенциала и свойства трубной стали 54
- Минин И.В., Соловьева Н.Д.** Кинетика электровосстановления цинка из сульфатного электролита в присутствии добавок ПАВ 57
- Кучмин И.Б., Нечаев Г.Г.** Плотность тока как определяющий параметр процесса микродугового оксидирования.....62
- Попова С.С., Гоц А.Е., Россошанский А.В., Савченко С.Ю.** Электрохимическое поведение меди в растворах вольфраматов и молибдатов в щелочных растворах 66
- Попова С.С., Францев Р.К., Гусева Е.С., Жускеев А.Р.** Особенности катодного модифицирования MnO_2 электрода в фуллереносодержащих апротонных органических растворах 71
- Элькин М.Д., Смирнов В.В., Степанович Е.Ю., Пулин В.Ф., Лихтер А.М., Гречухина О.Н.** Моделирование колебательных состояний урациловых оснований ДНК и их спектральная идентификация 74
- Элькин П.М., Степанович Е.Ю., Смирнов В.В., Пулин В.Ф., Лихтер А.М.** Моделирование структуры и спектров димеров муравьиной кислоты..... 80

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Аникеева Ю.А., Изнаиров Б.М.** Базирование заготовок в машиностроении 84
- Ильиных А.С.** Научно-методические основы высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути 89
- Копылов К.А.** О выявлении низкоскоростных зон в процессе взаимодействия теплоносителя с прутком в спрейере ...95
- Муромцев Д.Н., Пичхидзе С.Я.** Оценка степени диспергирования и гомогенности резиновых смесей на основе этиленпропиленовых каучуков..... 102
- Нечаев Г.Г.** Модель микроразрядов в процессе микродугового оксидирования 107
- Синчури Д.В.** Моделирование процесса напряженного состояния цилиндрических втулок от действия сил давления газов методом конечных элементов..... 112
- Славин А.В.** Пороговая иерархическая система как средство факторного анализа процессов абразивной обработки..... 116
- Чернова Н.М., Кобзев Р.А.** Классификация и расчет зубчатых передач типа 3k-h на основе метода графического синтеза..... 118
- Шумарова О.С., Игнатъев С.А.** Анализ локальных дефектов деталей подшипников в диалоговом режиме с помощью пакета Wavelet Toolbox..... 123

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Муллин В.В., Сиберт И.И.** Результаты ресурсных испытаний вакуумных дугогасительных камер полюса высоковольтного выключателя 129
- Наумов А.С., Новикова З.Ю., Хрусталева В.А.** Повышение эффективности ПГУ на базе ГТУ и АЭС с ВВЭР.. 131
- Озеров Н.А., Семёнов Б.А.** Оптимизация энергетических и материальных затрат в системе обдува варочного бассейна стекловаренных печей 137
- Усачев А.П., Рулев А.В.** Сравнительный анализ условий кипения в промышленных проточных регазификаторах сжиженного углеводородного газа из смесей пропана и бутана..... 145
- Усачев А.П., Шурайц А.Л., Рулев А.В.** Использование теплоты грунта в системах резервуарного газоснабжения с искусственным испарением сжиженного углеводородного газа 148

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Проскураков Г.М., Буров А.С.** Исследование функций чувствительностей и погрешностей алгоритмов дифференциальной геомагнитной навигации..... 153

Наумова Е.В., Мельников Г.В. Люминесцентный сенсор для определения экотоксикантов в биологических средах	155
Козлов Д.В., Виноградов М.В., Добряков В.А. Экспериментальное исследование процесса шлифования валов для идентификации динамической системы станка по виброакустическим колебаниям	160
Рожков И.А., Игнатъев С.А., Иващенко В.А. Выбор архитектуры искусственной нейронной сети для распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников	165
Чуркин Г.М., Великанов А.М., Тырин Е.А. Формирование альтернатив в задаче выбора конфигурации иерархической структуры технических средств АСУ ТП.....	169
Щербатов И.А. Классификация неопределенностей в задачах моделирования и управления сложными слабоформализуемыми системами	175
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Крупейников Д.Е., Дрогайцев В.С. Методические и интеллектуальные средства обнаружения и диагностирования отказов функциональных устройств бортовых систем управления летательных аппаратов. I... 180	180
Крупейников Д.Е., Дрогайцев В.С. Методические и интеллектуальные средства обнаружения и диагностирования отказов функциональных устройств бортовых систем управления летательных аппаратов. Построение интеллектуальных средств. II	190
Сайкин А.И., Чурикова А.А. Оценка характеристик стохастических сетевых моделей вычислительных систем численными методами с применением имитационного моделирования при двухмоментной аппроксимации распределений времен	197
Соколов А.О., Блюштейн Л.А. Защищенный модуль управления памятью для микроконтроллера	204
Штырова И.А. Модель оценки деятельности подразделения вуза, осуществляющего реализацию дополнительных образовательных программ.....	208
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	
Зименкова Л.Д. Архитектура каретных сараев в купеческих усадьбах Балакова конца XIX – начала XX в.	212
ТРАНСПОРТ	
Калимуллин Р.Ф., Коваленко С.Ю., Тюняев И.В., Цибизов С.Б. Методика оценки режимов работы автомобильного двигателя по критерию износостойкости подшипников коленчатого вала	216
Разуваев А.В., Соколова Е.А. Экспериментальное исследование системы охлаждения дизеля 6ЧН 21/21	222
Данилов Ю.И., Денисов А.С., Данилов И.К. Совершенствование планирования эксплуатационно-ремонтных циклов двигателей внутреннего сгорания.....	229
ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ	
Инютина Т.С. Социологическая интерпретация речевой культуры педагогов учреждений начального и среднего профессионального образования	233
Жуковский В.П., Ильковская И.М., Скворцова Л.А. Нравственно-этические подходы к проблеме ответственности в деятельности педагогических работников	240
Костяев Э.В. Являлись ли Г. Плеханов, А. Потресов и их единомышленники приверженцами империализма в годы Первой мировой войны?	244
Медведев К.Е. Молодежные общественные объединения: барьер стереотипа	249
Мельникова Н.И. Научные социальные сетевые сервисы как средство дифференциации и интеграции научного сообщества	255
Ручин А.В., Дюндина М.А. Репрезентация предпринимательства в Российских СМИ.....	260
Фёдоров Д.И. Участие в молодежных объединениях как фактор социальной мобильности и средство достижения социального капитала	264
Щебланова В.В. Террористические действия и их последствия в ракурсе концепций социального действия	268
ЭКОЛОГИЯ	
Татаринцева Е.А., Карпенко А.В., Лемаев В.А., Ольшанская Л.Н. Модификация отходов термопластов как способ получения адсорбционных материалов	273
ЭКОНОМИКА	
Гросул В.А., Антонова Е.В. Основные подходы к оценке финансовой безопасности предприятия на основе исследования его денежных потоков	278
Ерина А.Е., Ананкина Ю.А. Методологические аспекты формирования логистической системы на основе проект-менеджмента.....	282
Евсеева Ю.В. Подходы к определению транснациональной корпорации	287
Кузнецов О.И., Махметова А.Е. Инновационные технологии в управлении бизнес-процессами предприятий	289
Куликова Ю.П. Эффективность выполнения научно-исследовательскими вузами России Федеральной целевой программы развития национального образования	292
Минева О.К., Акмаева Р.И., Усачева Л.В. Реализация стратегии развития университета на основе построения стратегической карты	297
Минева О.К., Ходенкова О.П. Интеллектуальное волонтерство студентов как инструмент ЛИН-менеджмента в образовании	304
Ольгин В.А. Алгоритм выбора логистического посредника в цепи поставок предприятий сферы общественного питания	306
Пудовкина О.Е. Уточнение понятия маркетинговая информация как основного элемента маркетинговой информационной системы предприятия	310

CONTENTS

MATHEMATICS AND MECHANICS

Krysko V.A., Krylova E.Yu., Papkova I.V. Nonlinear dynamics of parametric oscillations bilayer distributed systems in view of clearance between the layers 7

Runnova A.E., Koronovskii A.A., Ivanov A.V., Pavlov A.N., Kurkin S.A., Yashkov A.I., Khramov A.E. Adaptive wavelet analysis for diagnosing various wave components of the digital data for seismic prospecting 12

PHYSICS, RADIOTECHNICS AND ELECTRONICS

Grishina E.M., Archangelskiy Yu.S. Multicriteria technical and economic optimization for the microwave electrothermy 21

Danilov D.I., Zhuravlev M.O., Ivanov A.V., Koronovsky A.A., Kurovskaya M.K., Moskalenko O.I., Selskii A.O., Shurygina S.A. Research into the characteristics of intermittent behavior near the synchronization boundary for the varying control parameter 27

Kuznetsov A.P., Popova E.S., Seleznev E.P., Stankevich N.V. A diagnostic approach for the multifrequency torus 33

Lashkov A.V. Non-uniform heating impact of thermocatalytic sensors on gas mixture detection 39

Okishev Yu.A., Klinaev Yu.V. Basic approaches to solving the three bodies problem for the ballistic analysis of the low-earth orbit to the L_1 point flight of the «Earth-Moon» spacecraft 40

Rozov A.S., Baiburin V.B. Modeling and calculation of the charge trajectories in a non-homogeneous and time-dependent magnetic field 49

CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGIES

Lazarenko A.S., Saveleva E.A. The pulsed cathodic polarization impact on the potential value and properties of the pipe steel 54

Minin I.V., Solovyeva N.D. Kinetics of zinc electroreduction from the sulfate electrolyte in the presence of surfactant additives 57

Kuchmin I.B., Nechaev G.G. The current density as the determining parameter for the micro-arc oxidation process 62

Popova S.S., Gots A.E., Rossoshansky A.V., Savchenko S.J. Electrochemical behavior of copper in tungsten and molybdenum in alkaline solutions 66

Popova S.S., Frantsev R.K., Guseva E.S., Zhuskeev A.R. Cathode modification features of MnO_2 electrode in fullerene-containing aprotic organic solutions 71

Elkin M.D., Smirnov V.V., Stepanovich E.Yu., Pulin V.F., Lihter A.M., Grechuhina O.N. Modelling of vibrational states for uracil's foundations of dnk and their spectral identification 74

Elkin P.M., Stepanovich E.Yu., Smirnov V.V., Pulin V.F., Lihter A.M. Modelling of structure and spectra of formic acid dimers 80

ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

Anikeev Yu.A., Iznairov B.M. Preforms registration in mechanical engineering 84

Ilinykh A.S. Research and methodological basis for high-performance technology of the rail grinding in rail roads 89

Kopylov K.A. Formation of stagnant zones in the problem of interaction between the coolant and rod in the spray chamber 95

Muromtsev D.N., Pichhidze S.Ya. Assessment of the dispersion degree and homogeneity of rubber compounds based on the EPDM rubber 102

Nechaev G.G. A model in the microdischarge micro-arc oxidation 107

Sinchurin D.V. Modelling of process of the tension cylinder plugs from action of pressure forces of gases by the method of final elements 112

Slavin A.V. The threshold hierarchical system as a means of the abrasive factor analysis 116

Chernova N.M., Kobzev R.A. Classification and calculation of the 3k-h type gear sets using the graphic synthesis method 119

Shumarova O.S., Ignatyev S.A. The interactive mode of analyzing the local defects of the bearing parts using the wavelet toolbox package 123

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

Mullin V.V., Sybert I.I. Life test results for vacuum interrupters operating in high-voltage circuit breaker pole 129

Naumov A.S., Novikova Z.Yu., Khrustalev V.A. Improving the efficiency of combined cycle power plants based on gas turbines and nuclear power plants with PWR 132

Ozerov N.A., Semyonov B.A. Optimization power and material inputs in cooling-system of melter zone glass furnaces 138

Usachev A.P., Rulev A.V. Comparative analysis of boiling conditions in industrial evaporators flowing from liquefied petroleum gas propane and butane mixture 145

Usachev A.P., Shurayts A.L., Rulev A.V. Using the soil heat for the tank systems of gas supply with artificial evaporation of the liquefied hydrocarbonic gas 149

AUTOMATION AND CONTROL

Proskuryakov G.M., Burov A.S. A research into the sensitivity function and error algorithms of the differential geomagnetic navigation 153

Naumova E.V., Melnikov G.V. Luminescent sensor for determining ecotoxicants in biological environments	156
Kozlov D.V., Vinogradov M.V., Dobryakov V.A. Experimental research into the grinding process of shafts for identification of the dynamic system of a machine by the vibroacoustic fluctuations.....	161
Rozhkov I.A., Ignatiev A.A., Ivaschenko V.A. Selecting the architecture of the artificial neural network to diagnose the defects in the bearings blankets.....	165
Churkin G.M., Velikanov A.M., Tyrin E.A. Developing alternatives for the hierarchical structure of a hardware configuration in the automatic process control system.....	169
Shcherbatov I.A. Classification of uncertainties for the analysis and control of complex pure formalizable systems	175
INFORMATION TECHNOLOGIES	
Krupeynikov D.E., Drogaytsev V.S. Methods and smart tools for detecting and diagnosing failures with the functional devices of on-board aircraft control systems. I.....	180
Krupeynikov D.E., Drogaytsev V.S. Methods and smart tools for detecting and diagnosing failures of functional devices of on-board aircraft control systems. Construction of smart tools. II.....	190
Saikin A.I., Churikova A.A. An approximate method for calculating characteristics of stochastic network models of computing systems with elements of modeling	198
Sokolov A.O., Blushteyn L.A. A protected memory management unit for microcontrollers	204
Shtyrova I.A. An assessment model for the activity of a high school division providing additional education programs.....	208
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Zimenkova L.D. The coach house architecture of the merchant mansions in Balakovo in the late XIX – early XX centuries	212
TRANSPORT	
Kalimullin R.F., Kovalenko S.Yu., Tyunyaev I.V., Tsibizov S.B. A method for assessing the operation modes of an automobile engine by the wear resistance of bearings in the crankshaft	216
Razuvaev A.V., Sokolova E.A. Experimental study of cooling diesel 6CHN 21/21	222
Danilov Yu.I., Denisov A.S., Danilov I.K. Improving the planning of the operation and maintenance cycles of internal combustion engines (ICE)	230
PHILOSOPHY, SOCIOLOGY AND CULTUROLOGY	
Inutina T.S. Sociological interpretation of speech culture of teachers at establishments of primary and secondary professional education	233
Zhukovsky V.P., Ilkovskaya I.M., Skvortsova L.A. Moral and ethical approaches to the issues of responsibility of pedagogical workers	241
Kostyaev E.V. Were G. Plekhanov, A. Potresov and their adherents of imperialistic views during the First world war?	244
Medvedev K.E. Non-governmental organizations of the youth: stereotype barriers	249
Melnikova N.I. Scientific social network services as the tools for differentiation and integration of the academic community	255
Ruchin A.V., Dyundina M.A. Presentation of entrepreneurship in the Russian mass media	260
Fyodorov D.I. Participation in youth movements as a factor of social mobility and mechanism of social capital attainment.....	264
Scheblanova V.V. Terrorist actions and their consequences regarding the concepts of social actions	268
ECOLOGY	
Tatarintseva E.A., Karpenko A.V., Lemaev V.A., Olshanskaya L.N. Modification of thermoplastic wastes as a means for producing adsorption materials	273
ECONOMY	
Grosul V.A., Antonova Y.V. Basic approaches to estimation of the financial safety of an enterprise based on the cash flow study I.....	278
Erina A.E., Anankina Yu.A. Methodological aspects of creating the logistics system based on the project management.....	283
Evseeva Yu.V. Approaches to defining the transnational corporation.....	287
Kuznetsov O.I., Makhmetova A.E. Innovative technologies in the management of business processes of enterprises.....	289
Kulikova Yu.P. Efficiency of performing the target program for the development of national education by the research institutions of higher learning in Russia	292
Mineva O., Akmaeva R., Usacheva L. The university development strategy on the basis of creating the strategic map	297
Mineva O.K., Khodenkova O.P. Volunteering intellectual property by the students as a tool for line-management education	304
Olgin V.A. The algorithm of logistical intermediaries in the supply chain of food service industry	307
Pudovkina O.E. The marketing data concept as the key component of the marketing data system at enterprises	310

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 539.3, 534.1

В.А. Крысько, Е.Ю. Крылова, И.В. Папкина

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ЗАЗОРА МЕЖДУ СЛОЯМИ¹

Исследуется нелинейная динамика гибких прямоугольных в плане двухслойных пластин под действием внешней продольной знакопеременной нагрузки. Выявлено, что применение классического аппарата – Фурье анализа не позволяет увидеть точную картину частотных характеристик колебаний в каждый момент времени, в то время как вейвлет анализ, как математический микроскоп, дает возможность оценить ее более конкретно, увидеть ее эволюцию с течением времени.

Метод установления, нелинейная динамика, контактное взаимодействие, оболочки

V.A. Krysko, E.Yu. Krylova, I.V. Papkova

NONLINEAR DYNAMICS OF PARAMETRIC OSCILLATIONS BILAYER DISTRIBUTED SYSTEMS IN VIEW OF CLEARANCE BETWEEN THE LAYERS

We study the nonlinear dynamics of the flexible rectangular bilayer plates under the action of external longitudinal alternating loads. It has been found that application of the Fourier analysis as the classical system will not provide the precise picture of the frequency characteristics for every time point. Meanwhile, the Wavelet analysis regarded as the mathematical microscope allows conducting a more detailed estimation in terms of its evolution over time.

Method of establishment, nonlinear dynamics, contact interaction of the shell

Введение. Настоящая работа посвящена изучению явления хаотической синхронизации двухслойных гибких прямоугольных в плане оболочек. До настоящего времени одной из самых важных характеристик выявления хаотических колебаний системы являлся Фурье спектр [1-3]. Но авторами настоящей работы было выяснено, что при наличии перемежаемости в сигнале математический аппарат быстрого преобразования Фурье не позволяет в полной мере проанализировать характер нелинейных колебаний и построить, как это традиционно делалось, сценарии перехода системы в хаос, что необходимо для нахождения способа предотвращения потери устойчивости системы, в то время как вейвлет-преобразование позволяет видеть эволюцию частотных характеристик колебаний во времени. Вейвлет-преобразование представляет собой как бы непрерывный банк оконных преобразований Фурье с различными окнами для каждой частоты. Изучение хаотической синхронизации и прогнозирование колебаний двухслойных гибких прямоугольных в плане оболочек при помощи вейвлет-анализа будут проводиться впервые. В силу своих свойств вейвлет-преобразование позволяет глубже изучить процесс перехода колебаний системы в состояние хаоса, а также выявить качественно новые сценарии перехода от гармонических колебаний к хаотическим. Практическое изучение подобных задач является очень важным, так как в результате перехода колебаний системы из гармонических в хаотические возникает явление жесткой потери устойчивости и разрушения конструкций, чего можно избежать с помощью прогнозирования характера колебаний. В настоящее время проблема прогно-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 12-01-31204 мол_а)

зирования хаоса и исследования хаотической синхронизации в многослойных механических системах в известной нам литературе освещена крайне мало.

Постановка задачи. В рамках нелинейной классической теории рассмотрим двухслойную сферическую гибкую изотропную упругую оболочку на прямоугольном плане с постоянной жесткостью и плотностью, находящуюся под действием нагружения различного типа (продольного, поперечного равномерно распределенного по верхнему слою оболочки). Нагрузка приложена только к верхнему слою оболочки. Здесь рассматриваются задачи теории оболочек, составленных из эквидисциальных слоев и взаимодействующих односторонне. Конструкции, включающие в качестве элементов подобные оболочки, широко распространены в технике. Слои, как правило, проскальзывают с трением или свободно. Появление зон сцепления маловероятно, поскольку контактное давление невелико. Условия контакта между слоями могут зависеть от координат и включают все виды несовершенного одностороннего контакта. Условия спайки слоев не рассматриваются. Функция контактного давления исключена из числа неизвестных. Порядок разрешающей системы нелинейных дифференциальных уравнений равен произведению числа слоев на порядок системы уравнений, то есть по сути дела мы имеем модель Болотина-Новичкова. Поведение слоев подчинено теории Кармана-Власова, одинаково для всех слоев. В настоящей работе рассматриваются двухслойные оболочки $\Omega_1 = \{x, y, z \mid (x, y) \in [0; a] \times [0; b], z \in [-h; h]\}, 0 \leq t < \infty$.

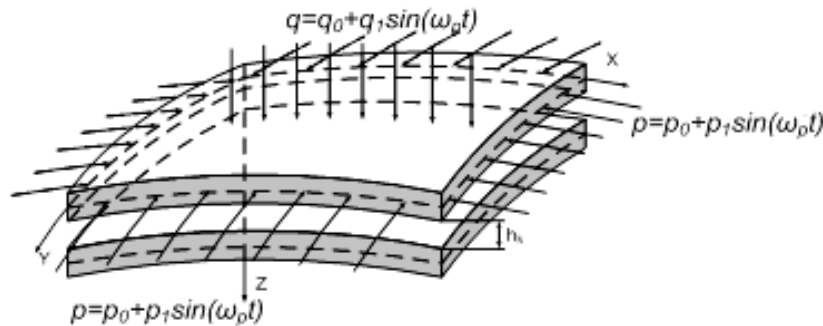


Рис. 1. Расчетная схема

Исходными являются уравнения теории пологих оболочек, записанные в безразмерном виде [4, 5]:

$$\begin{cases} \nabla^4 w_m + L(w_m; F_m) + \nabla^2 F_m + 4q - p_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - p_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \pm K(w_1 - h_k - w_2) \Psi = \frac{\partial^2 w_m}{\partial t^2} + \varepsilon \frac{\partial w_m}{\partial t} \\ \nabla^4 F_m = -\frac{1}{2} L(w_m; w_m) - \nabla^2 w_m \end{cases} \quad (1.1)$$

где, $L(w_m, F_m) = \frac{\partial^2 w_m}{\partial x^2} \frac{\partial^2 F_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_m}{\partial x^2} \frac{\partial^2 F_m}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 w_m}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 F_m}{\partial x \partial y}$ – известный нелинейный оператор,

$\Psi = \frac{1}{2} [1 + \text{sign}(w_1 - h_k - w_2)]$ и F_m – функция прогиба и усилия, где $m = 1; 2$, K – коэффициент жесткости трансверсального обжатия структуры в зоне контакта. $\Psi = 1$, если $w_1 > w_2 + h_k$ – есть контакт между пластинами, иначе $\Psi = 0$; w_1, w_2 – функции прогибов верхней и нижней пластины соответственно.

Система уравнений (1.1) приведена к безразмерному виду следующим образом:

$$x = a\bar{x}, \quad y = b\bar{y}; \quad \bar{k}_x = k_x \frac{a^2}{h}, \quad \bar{k}_y = k_y \frac{b^2}{h}, \quad k_x = \frac{1}{R_x}, \quad k_y = \frac{1}{R_y}, \quad q = \bar{q} \frac{Eh^4}{a^2 b^2}, \quad p_x = \bar{p}_x \frac{Eh^3}{b^2},$$

$p_y = \bar{p}_y \frac{Eh^3}{a^2}, \quad \tau = \frac{ab}{h} \sqrt{\frac{\rho}{Eg}}, \quad \lambda_1 = \frac{a}{b}$, где a, b – размеры прямоугольной оболочки в плане по x и y соответственно, h – толщина оболочки, g – ускорение силы тяжести, $\rho = \gamma h$, где γ – объемный вес материала, R_x, R_y – радиус кривизны срединной поверхности по x и y соответственно. Для за-

мкнутой цилиндрической оболочки: $x = a\bar{x}$, $y = R\bar{y}$, $k_y = \bar{k}_y \frac{h}{R^2}$ ($k_x = 0$), $q = \bar{q} \frac{Eh^4}{a^2 R^2}$,

$p_x = \bar{p}_x \frac{Eh^3}{R^2}$, $\tau = \frac{aR}{h} \sqrt{\frac{\rho}{Eg}}$, $\lambda_2 = \frac{a}{R}$, где a и $R = R_y$ – длина и радиус замкнутой цилиндрической

оболочки (рис. 2.1.1с). Здесь t – время, ε – коэффициент сопротивления среды, в которой происходит движение оболочки, ν – коэффициент Пуассона для изотропного материала $\nu = 0.3$, E – модуль упругости, $p_x(t)$, $p_y(t)$ – продольные нагрузки, $q(x, y, t)$ – поперечная нагрузка. Далее черта над безразмерными величинами для простоты опущена.

К уравнениям (1.1) присоединим граничные условия: шарнирное опирание на гибкие несжимаемые ребра:

$$\begin{aligned} w_m = 0; \frac{\partial^2 w_m}{\partial x^2} = 0; F_m = 0; \frac{\partial^2 F_m}{\partial x^2} = 0 \text{ при } x = 0; 1; \\ w_m = 0; \frac{\partial^2 w_m}{\partial y^2} = 0; F_m = 0; \frac{\partial^2 F_m}{\partial y^2} = 0 \text{ при } y = 0; 1 \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\text{Начальные условия } w_m(x, y)|_{t=0} = \varphi_1(x, y), \quad \frac{\partial w_m}{\partial t} = \varphi_2(x, y). \quad (1.3)$$

Для сведения распределенной системы (1.1) к системе с сосредоточенными параметрами воспользуемся методом конечных разностей с аппроксимацией $O(c^2)$ по пространственным переменным x и y .

Задачу Коши будем решать методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. На каждом шаге по времени решается система линейных алгебраических уравнений, которое получается из второго уравнения системы относительно функции усилия методом обратной матрицы. Шаг по времени выбирается по правилу Рунге.

Численный эксперимент. Численный эксперимент проводился для двухслойной прямоугольной в плане оболочки с геометрическими параметрами $k_x = k_y = 0; 12; 24$, находящейся под действием продольной знакопеременной нагрузки $p = p_1 \sin(\omega_p t)$, которая приложена только в верхней оболочке. Исследования проводились для квадратной в плане двухслойной оболочки $\lambda = 1$ с зазором между оболочками $h_k = 0.25$ и коэффициентом диссипации $\varepsilon = 1$.

Рассмотрим зависимость максимального прогиба от амплитуды вынуждающей знакопеременной нагрузки $p_1(w_{\max})$ (рис. 2). Под графиком расположены шкалы характера колебаний. Для каждой пары $k_x = k_y = 0; 12; 24$ были построены сигналы для всех комбинаций управляющих параметров $\{p_1, \omega_p\}$, где $\omega_p = 6; 13.35; 26$. Анализ полученных данных поведился на основе Фурье анализа. Условные обозначения указаны под графиком. Колебания рассматривались на временном интервале $0 \leq t \leq 128$. С увеличением вынуждающей силы на всех трех графиках вначале наблюдаются затухающие колебания. При соприкосновении оболочек происходит резкий рост максимального прогиба w_{\max} и колебания системы становятся квазипериодическими. Далее незначительное движение по амплитуде вынуждающей нагрузки p_1 приводит систему в хаотическое состояние. На графике $p_1(w_{\max})$ наблюдается рост максимального прогиба и серии скачков. Следует отметить, что при увеличении кривизны оболочки зона затухающих колебаний увеличивается. В задачах с геометрической и конструктивной нелинейностью гармонические колебания обнаружены не были, бифуркации удвоения, утроения, независимые частоты были найдены, однако на графиках спектров мощностей также присутствует хаотическая составляющая. Это объясняется тем, что с течением времени происходит «включение» и «выключение» частот с малой мощностью.

Для более детального исследования поведения двухслойной системы были построены (таблица) сигналы для верхней (h) и нижней (i) пластинок, спектры мощности (с, f), двумерный вейвлет спектр (a, d) и трехмерный (b, e) и график разности фаз (g).

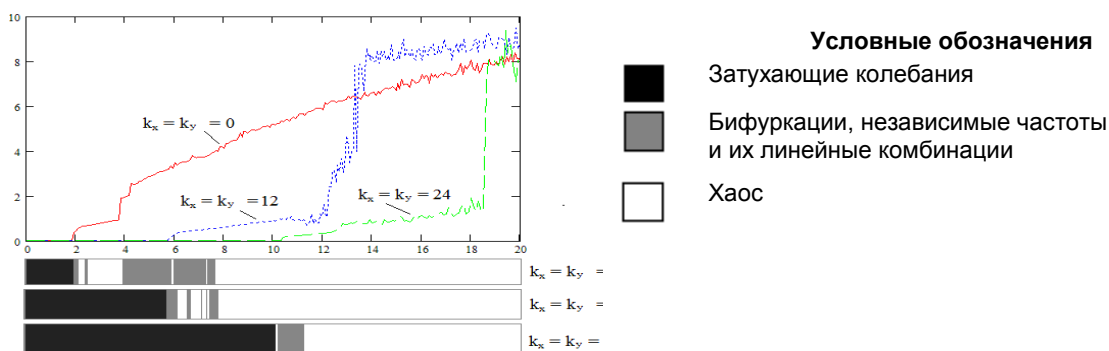
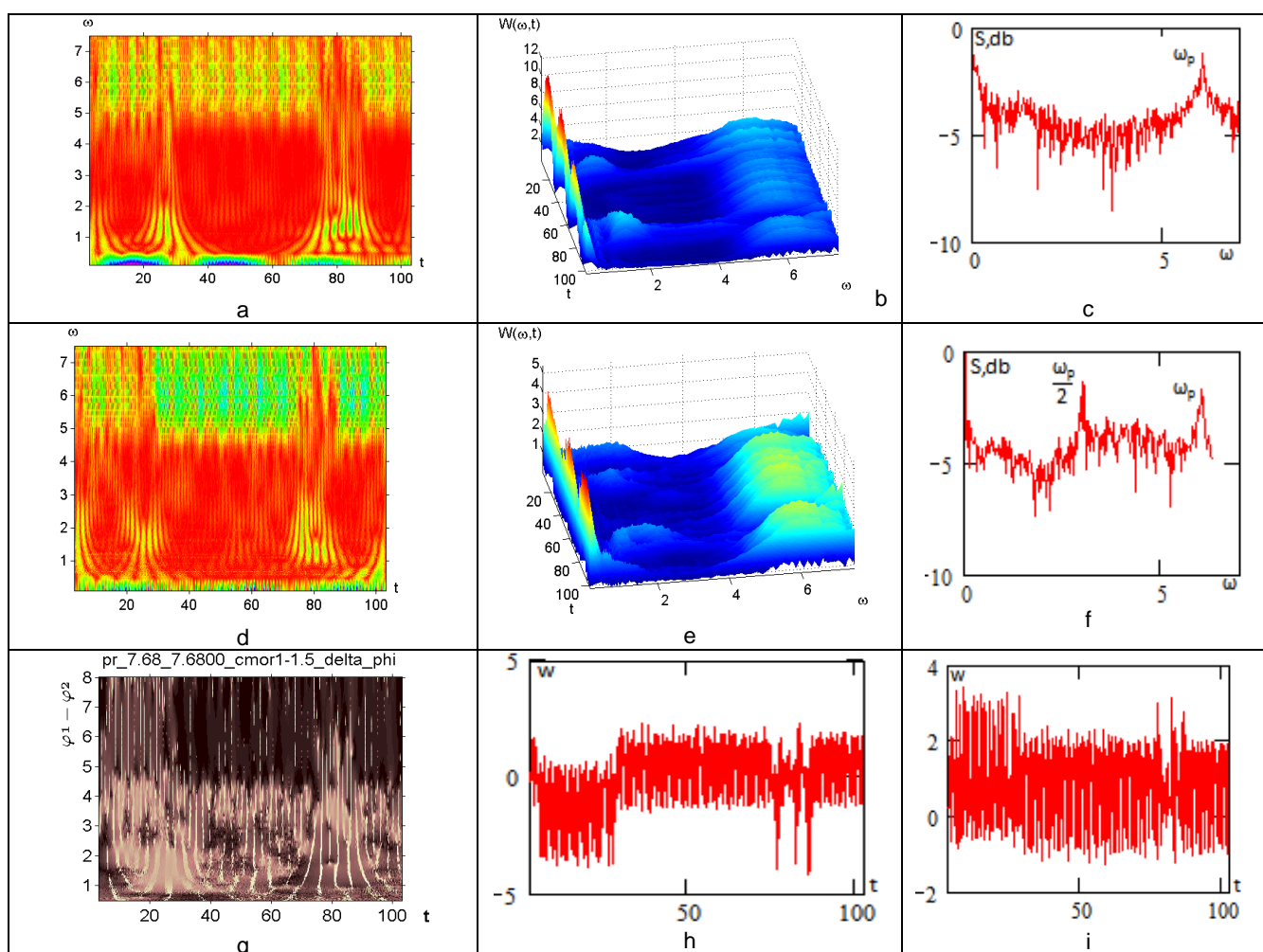


Рис. 1. Шкалы характера колебаний в зависимости от управляющих параметров $\{p_1, \omega_p\}$

Некоторые характеристики колебаний пластины ($p = 7.68 * \sin(6 * t)$)



Исследования проводились для двухслойной гибкой прямоугольной в плане пластинки, находящейся под действием продольной знакопеременной нагрузки $p = p_1 \sin(6 * t)$, действующей только на верхнюю оболочку, с геометрическими параметрами $k_x = k_y = 0$, $\lambda = 1$, $h_k = 0.25$, $\varepsilon = 1$.

В численном эксперименте с $p_1 = 7.68$ (таблица) был получен хаотический сигнал с перемежаемостью (h, i), спектр мощности верхней пластинки (c) – сплошной пьедестал, что характерно для хаоса на частоте возбуждения, а спектр мощности нижней пластинки (f) показывает хаос на первой бифуркации. Однако вейвлет-спектры (a, b, d, e) показывают, что имеет место «включение» и «выключение» частот, т.е. хаос не всюду по времени. Например, на интервале $t \in (40; 60)$ наблюдаются

гармонические колебания. Кроме того, на 3D вейвлет спектре (b) видно, что максимальное значение энергетической составляющей у верхней пластинки не всегда находится на частоте возбуждения, а мигрирует на частоту $\omega_p = 1.5$, что сопровождается изменением равновесного состояния пластинок. При сопоставлении сигнала (h, i), вейвлет спектров (a, d) и графика разности фаз (g) можно отметить, что фазовая синхронизация (черный цвет) наблюдается на частоте возбуждения и на некоторых промежутках по времени на частоте, равной половине частоты возбуждения. Фазовая синхронизация пропадает (белый цвет), когда максимальное значение энергетической составляющей переходит с частоты возбуждения на другую частоту.

При детальном исследовании характера колебаний двухслойной пластинки, находящейся под действием продольной знакопеременной нагрузки, приложенной к верхней пластинке, было выявлено, что результаты, полученные на основании вейвлет и Фурье преобразований, не противоречат, а существенно дополняют друг друга. Так на вейвлет спектрах сложно оценивать результат, если мощность одних частот существенно превышает мощность других, первые просто поглощают последних. Но это легко устранить, если рассматривать вейвлет спектр не на всем интервале частот, а частями. В то время как Фурье спектр демонстрирует все частоты, встречающиеся на рассматриваемом интервале времени очень наглядно. Однако вейвлет-преобразование позволяет исследовать изменение частотных характеристик колебаний системы во времени. А так как частотное наполнение сигнала может существенно меняться с течением времени его анализ на всем временном интервале с помощью быстрого преобразования Фурье приводит к принципиально ошибочным результатам. Но если рассматривать Фурье спектр на каждом из временных интервалов, где характер колебаний различен, противоречий с вейвлет спектром не будет. Вейвлет-анализ является тем «микроскопом», который позволяет анализировать систему в каждый момент времени, а не интегрально.

Заключение. В результате проведенных исследований были получены шкалы характера колебаний оболочки, которые позволяют выделять как безопасные параметры внешнего воздействия, так и наиболее опасные. Это позволит прогнозировать режимы колебаний и избегать перевода колебаний в неблагоприятные режимы, что очень важно при использовании подобных пластин в инженерных конструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Awrejcewicz J. Feigenbaum Scenario Exhibited by Thin Plate Dynamics / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko // *Nonlinear Dynamics*. 2001. № 24. P. 373-398.
2. Крысько В.А. Динамика и статика секториальных оболочек / В.А. Крысько, И.В. Кравцова // *Вестник СГТУ*. 2004. № 3.
3. Awrejcewicz J. Nonlinear Dynamics of Continuous Elastic Systems / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.F. Vakakis. Springer-Verlag, Berlin, New York, London, Paris, Tokyo, 2004. 356 p.
4. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем / А.С. Вольмир. М.: Физматгиз, 1963. 880 с.
5. Кантор Б.Я. Контактные задачи нелинейной теории оболочек вращения / Б.Я. Кантор. Киев: Наук. думка, 1990. 136 с.

Крысько Вадим Антонович – студент Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vadim A. Krysko – Graduate
Gagarin Saratov State Technical University

Крылова Екатерина Юрьевна – аспирант кафедры «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ekaterina Yu. Krylova – Postgraduate
Department of Mathematics and Modeling
Gagarin Saratov State Technical University

Папкина Ирина Владиславовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Irina V. Papkova – Ph. D., Associate Professor
Department of Mathematics and Modeling
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 11.12.12, принята к опубликованию 01.03.13

**А.Е. Руннова, А.А. Короновский, А.В. Иванов, А.Н. Павлов,
С.А. Куркин, И.А. Яшков, А.Е. Храмов**

**ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО ВЕЙВЛЕТНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЛНОВЫХ КОМПОНЕНТ
ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

Представлены результаты изучения различных возможностей адаптации непрерывного вейвлетного анализа для диагностики характерных компонент сейсмической записи цифровых данных наземной сейсморазведки. Предложены методы построения численных базисов непрерывного вейвлетного преобразования на основе геофизических данных. Приведены результаты обработки экспериментальных данных.

Вейвлетный анализ, цифровой сигнал, сейсморазведка, звуковые и поверхностные волны

**A.E. Runnova, A.A. Koronovskii, A.V. Ivanov, A.N. Pavlov,
S.A. Kurkin, A.I. Yashkov, A.E. Khramov**

**ADAPTIVE WAVELET ANALYSIS FOR DIAGNOSING VARIOUS WAVE COMPONENTS
OF THE DIGITAL DATA FOR SEISMIC PROSPECTING**

The article deals with the study of the various adaptation possibilities referring the continuous wavelet analysis for diagnosing specific wave components of the seismic digital data. The methods for constructing the continuous wavelet transform bases founded on the experimental geophysical data are developed. The results of the experimental data are presented.

Wavelet analysis, digital signal, seismic prospecting, sound and surface waves

На сегодняшний день потребности современной промышленности и экономики в энергетических ресурсах не перестают возрастать, приводя к необходимости повышения уровня эффективности методов поиска, добычи и эксплуатации запасов таких невозобновляемых источников энергии, как нефть и газ. Нефть и природный газ являются одними из основных полезных ископаемых, которые использовались человеком еще в глубокой древности. Особенно быстрыми темпами добыча нефти стала расти после того, как для ее извлечения из недр земли стали применяться буровые скважины. Отметим, что хотя в современном понимании нефтяная промышленность в разных странах мира существует всего 110-140 лет, за этот отрезок времени добыча нефти и газа увеличилась более чем в 40 тысяч раз. В 1860 г. мировая добыча нефти составляла всего 70 тысяч тонн, в 1970 г. было извлечено 2280 миллионов тонн, а в 1996 г. уже 3168 миллионов тонн. Быстрый рост добычи связан с условиями залегания и извлечения этого полезного ископаемого. Нефть и газ приурочены к осадочным породам и распространены регионально. Причем в каждом седиментационном бассейне отмечается концентрация основных их запасов в сравнительно ограниченном количестве месторождений. Все это с учетом возрастающего потребления нефти и газа в промышленности и возможностью их быстрого и экономичного извлечения из недр делают эти полезные ископаемые объектом первоочередных поисков. Целью поисково-разведочных работ является выявление, оценка запасов и подготовка к разработке промышленных залежей нефти и газа. В ходе поисково-разведочных работ применяются геологические, геофизические, гидрогеохимические методы, а также бурение скважин и их исследование. В настоящее время одним из лидирующих способов поисково-разведочных работ и методов исследований строения земной коры является сейсмическая разведка [1-3]. Хорошо известны недостатки первичного этапа полевых работ сейсмогеологических исследований, а именно, высокая стоимость и относительная экологическая небезопасность, которые, однако, вполне компенсируются достижением высокой детальности при большой глубинности приобретаемой в ходе информации о земных недрах. Вместе с

тем, окончательный результат прогнозирования литологического состава и нефтегазоносности изучаемого участка недр определяется не только наличием фактических первичных материалов, но и качественным проведением камеральных геофизических работ – обработки и интерпретации. Получение сейсмогеологической информации из полевых данных ведется путем обработки экспериментальных временных рядов с постоянным интервалом дискретизации, записанных с помощью современной аппаратуры цифровой регистрации сейсмических данных. Геофизики традиционно работают в частотной области 0-150 Гц, причем чаще всего в низкочастотной части этого диапазона. Отметим, что стоимость камеральных исследований может быть весьма высока даже для сухопутных сейсморазведочных работ сравнительно небольшого количественного объема и достигать стоимости проведения полевых экспериментов. Кроме того, с каждым годом перед специалистами в области обработки и интерпретации геофизических данных сейсмической разведки встают всё более и более сложные задачи, определяемые тем, что потребности в освоении новых месторождений, доразведки старых и изучения геологического строения района постоянно растут, а все наиболее простые и «лежащие на поверхности» объекты уже открыты, и, кроме того, все время повышается актуальность проблемы разработки малотолщинных пластов по мере выработки запасов нефти основных пластов [4, 5]. Хорошо известно, что ввод в активную разработку малотолщинных пластов является существенным резервом замедления темпа падения добычи нефти на месторождении. При этом получение искомой геолого-геофизической информации о разрезе базируется на решении обратной задачи теории сейсморазведки – задачи определения сейсмогеологических параметров среды на изучаемой территории по наблюдаемому в ходе экспериментальных полевых работ полю упругих волн. Успешное решение обратной задачи теории сейсморазведки зависит от многих факторов, в первую очередь, соответствующего уровня проведения полевых работ, а затем наличия априорной информации о геологическом разрезе, уже имеющихся геофизических исследований и т.д. Однако современное развитие вычислительной техники, математического аппарата теории обработки сложных и случайных зашумленных данных и, соответственно, программных обрабатывающих комплексов позволяют говорить о принципиальной важности фактора качественной обработки сейсмоматериалов, позволяющей на новом уровне произвести геологическую интерпретацию результатов сейсмического профилирования и составить прогноз нефтегазоносности исследуемой территории.

На сегодняшний день мировым стандартом обработки геофизических данных, полученных в результате сейсмогеологических исследований земной коры, является динамический подход, основанный на одновременном количественном и качественном анализе как времени прихода, так и формы и интенсивности зарегистрированных сейсмических колебаний. Динамическая обработка позволяет достигнуть существенного повышения разрешения и точности методов сейсморазведки для изучения продуктивных пластов мелких залежей и завершения изучения старых площадей, а также делает возможным получение достоверных сведений не только о форме сейсмических границ, но и о характере распределения во всем разрезе акустической жесткости и коэффициентов поглощения упругих волн. Получаемые в ходе выполнения качественной динамической обработки достоверные геофизические сведения позволяют извлечь из материалов сейсморазведки дополнительную информацию о тонких особенностях строения изучаемой геологической среды, в частности, становится возможно восстановить историю формирования осадочной толщи в районе исследований, изучить детальные особенности структуры геологических границ и фациального состава отдельных слоев, установить наличие и тип флюидов в слоях и т. п. [6-8]. Очевидно, что динамический подход к исследованию недр требует и соответствующего уровня методов и подходов к отработке материалов полевых работ – правильного сейсмического профилирования и соответствующего качественного «отстрела» профилей с обязательным наличием каротажа [9].

Теория динамического подхода к обработке сейсмических данных постоянно обогащается новыми методами и подходами к анализу временных рядов, которые основаны на новых математических алгоритмах и подходах, уже апробированных в других областях естественных наук (например, в нелинейной физике, биологии и радиофизике) [10]. Такая ситуация постоянных улучшений и модернизации существующего теоретико-математического аппарата обработки геофизических данных о земной коре связана, во-первых, со сложностью самих данных, являющихся конгломератором регулярных волн-помех разнообразной природы, случайных сигналов и полезных данных, требующих рассмотрения и изучения в много- и одноканальных комбинациях для решения всего комплекса стоящих задач. Во-вторых, современное состояние запасов и темпов освоения нефтяных месторождений обуславливает необходимость существенного повышения разрешенности и

точности методов сейсморазведки для изучения продуктивных пластов мелких залежей и доизучения старых площадей уже известных продуктивных территорий.

Одним из наиболее перспективных в применении из апробированных на сегодня новых математических методов к задачам поисковой сейсмической геофизики является вейвлетный анализ. В [10, 11] предоставлены результаты разработок различных методов диагностики и фильтрации волновых компонент на полевых данных наземной сейсмической разведки МОВ МОГТ на основе непрерывного вейвлетного анализа. Среди основных достоинств разрабатываемых на основе вейвлетных преобразований методов можно особо подчеркнуть следующие: принципиальные возможности автоматизации процесса обработки и одноканальности разработанных алгоритмов, незначительные затраты машинного времени, высокая точность и устойчивость к шумам.

Настоящая статья посвящена вопросу адаптации вейвлетного преобразования к конкретным задачам геофизической разведки и к характерным особенностям цифровых сигналов, получаемых в результате проведения наземной сейсмической съемки. Непрерывное вейвлетное преобразование с комплексным материнским вейвлетом для хаотического временного ряда $x(t)$ осуществляется [12]:

$$W(s, t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{s, t_0}^*(t) dt \quad (1)$$

где $\psi_{s, t_0}(t)$ – вейвлетная функция, получающаяся из материнского вейвлета:

$$\psi_{s, t_0}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi_0\left(\frac{t - t_0}{s}\right). \quad (2)$$

Параметр s , называемый масштабом вейвлетного преобразования ($s \in \mathfrak{R}^+$), отвечает за ширину вейвлета $\psi_{s, t_0}(t)$, а $t_0 \in \mathfrak{R}$ – параметр сдвига, определяющий положение вейвлета на временной оси t . В формуле (1) символ «*» означает комплексное сопряжение. Необходимо отметить, что при проведении вейвлетного анализа термин «временной масштаб» используется вместо термина «частота», традиционного для Фурье-анализа.

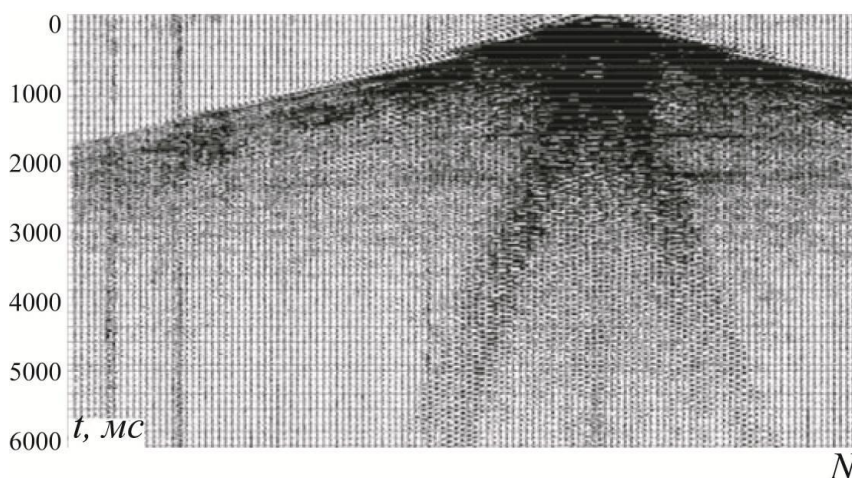


Рис. 1. Сейсмограмма общего пункта возбуждения волнового поля первичного полевого материала, отработанного на территории Узбекистана. По оси абсцисс отложен номер трассы N , по оси ординат – время t

Очевидно, что возможности анализа сигналов на основе конкретного вейвлетного преобразования целиком будут определяться видом и свойствами материнского вейвлета. Известен достаточно обширный ряд классических базовых вейвлетных функций, хорошо зарекомендовавших себя для изучения сложных нестационарных сигналов различной природы. Среди наиболее распространенных и универсальных по своим возможностям классических материнских вейвлетов можно выделить следующие базисные функции: морлет-вейвлет, МНАТ-вейвлет, паул-вейвлет [12-15]. В представленной статье приведены результаты расчетов вейвлетных спектральных и фазовых характеристик материалов сейсморазведки на основе различных базисных функций. Проведенная затем геофизическая интерпретация полученных результатов позволила совершить оптимальный выбор параметров вейвлетного преобразования для различных задач, стоящих перед обработкой и интерпретацией сейсмических материалов.

В качестве тестовых материалов для проведения вышеуказанных расчетов были выбраны первичные полевые материалы, обработанные на территории Узбекистана. На рисунке 1 представлен внешний вид сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ) исследуемого полевого материала. Территория полевых исследований принадлежит западной равнинной части Узбекистана. Сейсмогеологические условия участка работ весьма удобны для расчета вейвлетных спектральных и фазовых характеристик материалов, поскольку влияние верхней части разреза (ВЧР) на глубинные отражения практически отсутствует. Сразу же можно ориентировочно идентифицировать зарегистрированные четыре отраженных волны от различных сейсмогеологических границ. Для большей наглядности на рис. 2 приведена та же сейсмограмма ОПВ после проведения одноканальной процедуры автоматической регулировки усиления (АРУ), на которой выделены времена регистрации сигналов, свидетельствующих о наличии отражающих горизонтов в геологической среде. Для проведения цифровых исследований были выбраны трассы пунктов приема (ПП) №№ 85 и 87, время записи которых содержит полезную информацию, шумовой сигнал и сигналы помехи, в частности, зарегистрированные поверхностные и звуковые волны. Рассчитанный вейвлетный спектр $W(t_0, s) = |W(t_0, s)|e^{-j\varphi W(t_0, s)}$ одномерного временного ряда представляет собой две поверхности амплитуды $|W|$ и фазы φ_W коэффициентов вейвлетного преобразования в трехмерном пространстве.

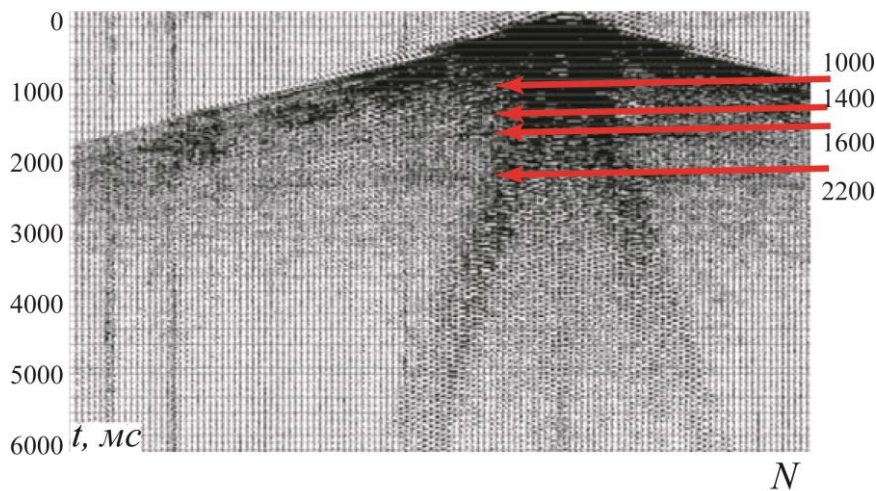


Рис. 2. Сейсмограмма общего пункта возбуждения волнового поля полевого материала, обработанного на территории Узбекистана, после проведения одноканальной потрассной процедуры автоматической регуляции амплитуд. По оси абсцисс отложен номер трассы N , по оси ординат – время t

На рис. 3 представлен временной ряд данных, составляющих полевой материал, снятый в ПП № 85 при выбранном ПВ и результаты построения соответствующих проекций распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученных с помощью различных базисных вейвлетных функций (морлет-вейвлета (а), МНАТ-вейвлета (б); паул-вейвлета (в)). На рисунке 4 представлены результаты аналогичного исследования, проведенные для трассы № 87. Отметим, что наилучшее разрешение по частоте предоставляет использование в качестве материнской функции – морлет-вейвлета:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} \exp(j\omega_0\eta) \exp(-\eta^2/2), \tag{3}$$

где ω_0 – параметр вейвлета. Очевидно, что при увеличении ω_0 будет расти локализация представления результатов в Фурье-пространстве, но будет ухудшаться разрешение данных в реальном времени [12, 16].

Наилучшую локализованность наблюдающихся волновых компонент во времени демонстрирует применение вейвлетного анализа с действительным базисным МНАТ–вейвлетом:

$$\psi_0(\eta) = \frac{(-1)^{m+1} j^m m!}{\left[\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)\right]^{0.5}} \frac{d^m}{d\eta^m} e^{-\frac{\eta^2}{2}}, \tag{4}$$

где материнский вейвлет, соответствующий $m=2$ и называется МНАТ–вейвлетом (Mexican Hat – «Мексиканская шляпа»).

Отметим, что, кроме перечисленных базисных функций, широкой популярностью пользуется вейвлет Паула:

$$\psi_0(\eta) = \frac{2^m j^m m!}{\sqrt{\pi(2m!)}} (1 - j\eta)^{-(m+1)}, \quad (5)$$

где m – порядок вейвлета.

Для задач анализа особенностей опытных сигналов сейсморазведки оптимальным выбором параметров вейвлетного преобразования представляется использование материнского морлет-вейвлета. Параметр базиса для расчета всех вейвлетных характеристик геофизических данных выбран $\omega_0 = 6.0$, позволяющий, в первую очередь, произвести лёгкое сравнение результатов с классическим фурье-анализом [17], а во-вторых, обеспечивающий вполне достаточную дискретизацию как в частотной, так и во временной областях. Отметим, что сильная локализованность волновых компонент во временной области, достигаемая применением вейвлетного преобразования с действительным базисным МНАТ-вейвлетом, является для данной задачи нефизичным решением и «ловит» малые дребезжания, лишь затрудняющие проведение геофизической интерпретации рассчитанных характеристик. Однако для некоторых задач, например, изучения полевого материала, отработанного для глубинных геологических сред, характеризуемых большим количеством тонких пластов, наличием сложных разрывов и т.д., вопрос дискретизации материала может стоять весьма остро. В таких случаях вейвлетный анализ на МНАТ-базисе может быть полезен для поиска и разделения слабых, практически сливающихся при обработке отражений. Оценив временной диапазон, в котором по результатам вейвлет-МНАТ-анализа можно предполагать наличие зарегистрированных волн от близко расположенных отражающих геологических границ, геофизик может провести более тщательный подбор кинематического закона на этих глубинах и, возможно, действительно обнаружить искомые отражающие границы.

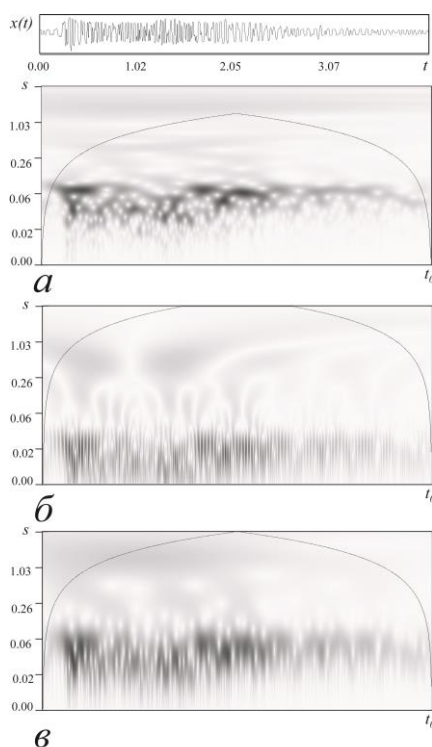


Рис. 3. Временная реализация, полученная регистрацией в ПП № 85 сейсмического отклика геологической среды на взрыв, проведенный в выбранном ПВ (см. рис. 1), соответствующая проекция распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного морлет-вейвлета ($\omega = 6.0$) (а); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным МНАТ-вейвлетом (б); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным паул-вейвлетом (в). Длительность временной реализации $N = 2^{11}$ отсчетов, $\Delta t = 0.002$. Конус отмечает область влияния краевых эффектов

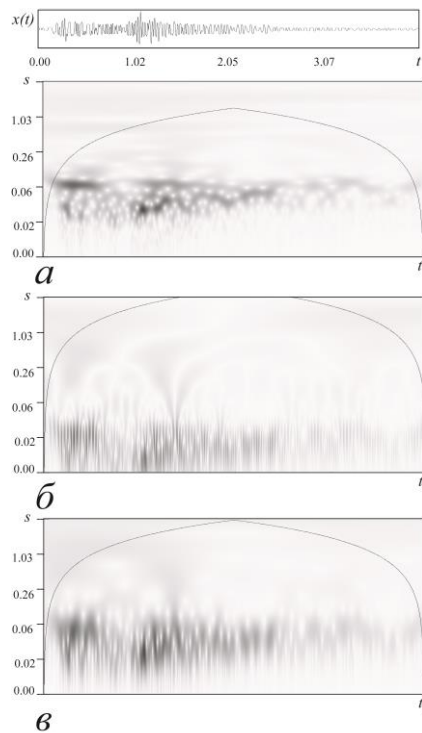


Рис. 4. Временная реализация, полученная регистрацией в ПП № 87 сейсмического отклика геологической среды на взрыв, проведенный в выбранном ПВ (см. рис. 1), соответствующая проекция распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного морлет-вейвлета ($\omega = 6.0$) (а); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным МНАТ-вейвлетом (б); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным паул-вейвлетом (в). Длительность временной реализации $N = 2^{11}$ отсчетов, $\Delta t = 0.002$. Конус отмечает область влияния краевых эффектов

Теперь рассмотрим вопрос о возможности построения вейвлетного материнского базиса на основе теоретических представлений о форме сейсмического импульса. Заметим, что поскольку фокус внимания наших исследований нацелен на изучение материалов наземной сейсмической разведки, полученной в результате невзрывных работ, импульс отраженной волны, регистрируемой сейсмоприемником, стремится к нуль-фазовому виду, описываемому в идеальном случае например, импульсом Пузырева [2, 3, 18, 19]:

$$U(t) = U_0 e^{-\beta t} \cos(2\pi f t). \quad (6)$$

В случае классического импульса Пузырева можно утверждать, что идеальной базисной функцией для проведения анализа на основе вейвлетного преобразования является материнский вейвлет Морле, практически повторяющий в своей действительной части форму импульса Пузырева или, иными словами, адаптивно настроенный на форму такого идеального сигнала. Также хорошо подходят для изучения сейсмических данных МНАТ- и Паул-вейвлеты. Однако с другой стороны, очевидно, что для реальных сейсмических данных нельзя утверждать абсолютное преобладание нуль- или минимально-фазового состояния зарегистрированных сейсмоприемником колебаний [3]. К сожалению, вид сейсмического импульса очень сильно зависит как от записывающей и передающей аппаратуры, так и от непосредственных сейсмических свойств геологической среды. Это свидетельствует, с одной стороны, о крайней сложности проблемы, с другой – также и о недостаточном количестве экспериментальных работ, которые нужны для ее разрешения, в которых влияние, оказываемое искажениями, изучалось бы при соблюдении постоянства всех прочих факторов и самые эти искажения строго контролировались. Таким образом, по большому счету, в каждом конкретном случае, если необходимо точное знание о характере импульса на сейсмозаписях (например, для решения прямой задачи геофизики и моделирования геологических разрезов), приходится проводить его прямую оценку из сейсмического материала. Определение формы импульса отраженной волны на конкретной сейсмической записи является весьма непростой задачей. Иногда выполняют наблюдения с целью регистрации прямой (падающей) волны, за счет которой образуются отражения. Однако возможности записи прямой волны во внутренних точках среды

ограничены необходимостью иметь скважины для проведения вертикального сейсмического профилирования (ВСП). В этом отношении более благоприятны условия при морской сейсморазведке, где проще обеспечить во время профилирования регистрацию прямой волны от источника.

В качестве альтернативного варианта выбора вейвлетного базиса, оптимизированного для конкретных сейсмогеологических условий, можно предложить численное конструирование адаптивных вейвлетов на основе отрезков анализируемых временных рядов. Подобный адаптивный вейвлетный базис служит для выделения из сигналов (в том числе и в присутствии шумов) тех или иных характерных особенностей и структур. В ходе наших исследований использовалась следующая процедура построения комплексной вейвлетной функции на основе временного ряда $x(t)$. В качестве временного ряда выбирался характерный для данной площади работ сигнал на среднем удалении от ПВ.

Выделим характерный временной масштаб τ (или соответствующую ему частоту $\omega_\tau = 2\pi/\tau$) нерегулярного нестационарного процесса $x(t)$. В случае периодических колебаний τ совпадает с периодом колебаний. В случае исследуемых нерегулярных временных рядов геофизической природы величина τ будет сильно варьироваться для различных колебаний, суперпозицией которых данный сигнал является. В частности, разнообразные регулярные помехи и полезные отклики от отражающих геологических границ будут иметь различные характерные частоты ω_τ , что даёт возможность тонкой настройки вейвлетного преобразования для конкретных задач диагностики, стоящих перед геофизиком. Далее, определившись с периодом τ искомым колебаний, выберем некий отсчет t_0 во временной реализации сигнала $x(t)$, относительно которого будем строить вейвлетный базис. Реальная и мнимая части вейвлетной функции будут строиться в соответствии со следующими формулами [12, 15, 20]:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}\psi(t) &= \pi^{-1/4} \left\langle x(t-t_0) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t-t_0)^p}{(n\tau)^p}\right) \right\rangle, \\ \operatorname{Im}\psi(t) &= \pi^{-1/4} \left\langle x(t-t_0 + \tau/2) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t-t_0)^p}{(n\tau)^p}\right) \right\rangle, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\langle \dots \rangle$ обозначает операцию удаления среднего значения для удовлетворения условия нулевого среднего, n и p – параметры вейвлета. Из формулы (7) видно, что параметр t_0 вейвлета характеризует отрезок ряда $x(t)$, который оказывает наибольшее влияние на вейвлетный спектр $W(t, s)$. Таким образом, вейвлетное преобразование с базисом (7) позволит эффективно выделять из сигнала участки длиной $\Delta t \approx 4\pi\tau$, которые будут «похожи» или «однородны» с участком временного ряда $x(t)$, где $t \in (t_0 - 2\pi\tau, t_0 + 2\pi\tau)$.

На рис. 5 продемонстрированы результаты расчета адаптивных вейвлетных функций (7) по трассе ПП № 85 при выбранном ПВ (см. рис. 1, 2). Видно, что в зависимости от выбора t_0 при сохранении всех остальных параметров неизменными вид вейвлетной функции сильно меняется и определяется видом волновой компоненты, преобладающей на соответствующем временном интервале. На рис. 5а показан вид вейвлет-базиса, построенного по данным временной реализации, отвечающим первому сильному отраженному отклику на 1000-1100 мс, рис. 5б демонстрирует аналогичную вейвлетную функцию, рассчитанную по временному интервалу вблизи 1400 мс отражения от второго характерного горизонта.

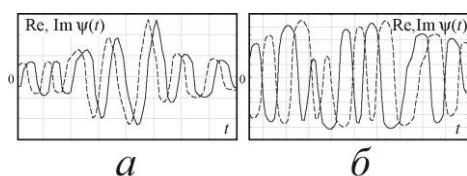


Рис. 5. Вид адаптивных численно рассчитанных вейвлетных базисов (7) на основе временного ряда из трассы ПП № 85. Параметры n и p на рисунках а и б одинаковы и выбраны равными 2 и 4, соответственно

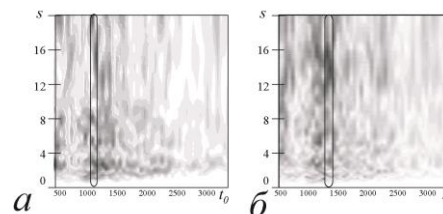


Рис. 6. Проекция распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученные с помощью адаптивных вейвлет-базисов, для трассы ПП № 85: а – вейвлет-базис рассчитан вблизи $t_0 = 1050$ мс; б – вейвлет-базис рассчитан вблизи $t_0 = 1454$ мс

На рис. 6 приведены результаты построения соответствующих проекций распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученных с помощью созданных адаптивных базисных вейвлетных функций для трассы № 85. Хорошо видно, что разработанные базисы позволяют осуществить «тонкую» настройку вейвлетного преобразования на определенные волновые

особенности и позволяют легко диагностировать искомые участки геофизических сигналов, а именно время прихода целевых отражений от первой и второй отражающих геологических границ.

Итак, подытоживая вышесказанное, оценим адекватный выбор вида материнской вейвлетной функции для проведения анализа сложных данных геофизической сейсмической разведки. Для решения задач анализа, фильтрации и обработки данных форма функции базисного вейвлета должна выбираться наиболее близкой к форме сейсмического импульса. Для данных, полученных путем проведения наземной сейсмической вибрационной разведки, форма сейсмического импульса оказывается хотя и близкой к нуль-фазовой, но с несколько смещенным из центра максимум и возрастанием энергии импульса в начальной его части. Иными словами, полевой материал демонстрирует далеко не идеальный случай нуль-фазового импульса, далёкий от модельных сигналов. Таким образом, становится очевидным, что построение вейвлетного анализа на основе базисных функций, построенных на основе идеальных сейсмических импульсов (например, импульс Рикера), по своим свойствам будет аналогично применению вейвлетного анализа на классических базисных функциях (таких как вейвлет Морле или Паула). Наилучший результат выделения различных волновых компонент, наблюдаемых на сейсмозаписях, предоставит вейвлетный анализ, подстраивающийся под каждый конкретный полевой материал, демонстрирующий конкретно свой уникальный тип смещения минимально- и нуль-фазовых импульсов, для которого базисная функция будет создаваться путем численного моделирования формы выбранного характерного для конкретных сейсмоматериалов волнового паттерна. Однако такой путь численной оценки формы сейсмического импульса доступен лишь для высококогерентных полевых материалов, характеризующихся высоким качеством полевой отработки, безупречным проведением первичной обработки (например, изучение и учёт влияния зоны ВЧР), хорошей зоной непосредственной просматриваемости целевых отражений и т.д. Иными словами, для условий реальных полевых испытаний в сложных петрофизических и сейсмогеологических условиях, затрудненных возможными погодными и технологическими факторами, возможности такого метода представляются крайне затрудненными, а использование универсального математического аппарата оказывается более выгодным.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.В37.21.0632).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке / А.Г. Авербух. М.: Недра, 1982.
2. Бондарев В.И. Основы обработки и интерпретации данных сейсморазведки / В.И. Бондарев, С.М. Крылатков. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001.
3. Yilmaz O. Seismic Data Analysis / Yilmaz O. V. I, II. USA: Tulsa, Society of Exploration Geophysicists, 2001.
4. Корпев В.А. Прогнозирование объектов для поисков залежей углеводородного сырья по сейсмогеологическим данным / В.А. Корпев. Тюмень: ТюмГНГУ, 2000.
5. Конторович С.А. Сейсмогеологические адаптивные методы прогноза качества коллекторов и подготовки сложнопостроенных ловушек нефти и газа в верхней юре центральных и южных районов Западной Сибири (горизонт Ювасюганской свиты) / С.А. Конторович, С.А. Бердникова, Л.М. Калинина, А.А. Поляков // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 79-90.
6. Корягин В.В. Математическое моделирование в сейсморазведке / В.В. Корягин, Ю.П. Сахаров. М.: Наука, 1988.
7. Нежданов А.А. Геологическая интерпретация сейсморазведочных данных / А.А. Нежданов. Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2000.
8. Корягин В.В. Проблемы структурной сейсморазведки / В.В. Корягин. Самара: СНЦ РАН, 2006.
9. Потапов О.А. Технология полевых сейсморазведочных работ / О.А. Потапов М.: Недра, 1987.
10. Успехи и перспективы применения вейвлетных преобразований для анализа нестационарных нелинейных данных в современной геофизике / А.Е. Филатова, А.Е. Артемьев, А.А. Короновский, А.Н. Павлов, А.Е. Храмов // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2010. Т. 18. № 3. С. 3.
11. Филатова А.Е. Применение вейвлетного преобразования для диагностики волн-помех звукового и поверхностного типов по цифровым данным наземной сейсморазведки / А.Е. Филатова, А.А. Овчинников, А.А. Короновский, А.Е. Храмов // Вестник ТГУ. 2010. Т. 15. № 2. С. 524.
12. Короновский А.А. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / А.А. Короновский, А.Е. Храмов. М.: Физматлит, 2003.
13. Morlet J. Wave propagation and sampling theory – Part I: Complex signal and scattering in multi-layered media / J. Morlet, G. Arens, E. Fourgeau, D. Glard // Geophysics. 1982. Vol. 47. № 2. P. 203.
14. Fofoula-Georgiou E. Wavelets in geophysics / E. Fofoula-Georgiou, P. Kumar. N.Y.: Academic Press, 1994.

15. Дремин И.М. Вейвлеты и их применение / И.М. Дремин, О.В. Иванов, А.С. Нечитайло // УФН. 2001. Т. 171. № 5. С. 465.
16. Euskai M.B. Wavelets and their applications and data analysis / M.B. Euskai, G. Beylkin, E. Coifman. Boston: Jones and Bartlett, 1992.
17. Новиков Л.В. Адаптивный вейвлет-анализ сигналов / Л.В. Новиков // Научное приборостроение. 1999. Т. 9. № 2. С. 47.
18. Stanley W.D. Digital Signal Processing / W.D. Stanley. Reston publishing Company, Inc, 1975.
19. Клаербоут Д.Ф. Теоретические основы обработки геофизической информации с применением к разведке нефти / Д.Ф. Клаербоут. М.: Недра, 1981.
20. Гусев В.А. Применение адаптивных вейвлетных базисов к анализу нелинейных систем с хаотической динамикой / В.А. Гусев, А.А. Короновский, А.Е. Храмов // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. № 18. С. 61.

Руннова Анастасия Евгеньевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Короновский Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Иванов Алексей Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геоэкология и инженерная геоэкология», декан факультета экологии и сервиса Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Яшков Иван Александрович – кандидат географических наук, доцент кафедры «Геоэкология и инженерная геоэкология», заместитель декана факультета экологии и сервиса Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Павлов Алексей Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Куркин Семён Андреевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика открытых систем» факультета нелинейных процессов Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Храмов Александр Евгеньевич – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anastasiya E. Runnova – Ph. D., Senior Researcher Scientific and Education Center «Nonlinear Dynamics of Complex Systems», Gagarin Saratov State Technical University

Alexey A. Koronovsky – Dr. Sc., Professor, Leading Scientific Researcher Scientific and Education Center «Nonlinear Dynamics of Complex Systems», Gagarin Saratov State Technical University

Alexey V. Ivanov – Ph. D., Professor Head: Department of Geocology and Engineering Geocology, Dean: Faculty of Ecology and Service, Gagarin Saratov State Technical University

Ivan A. Yashkov – Ph. D., Associate Professor Department of Geocology and Engineering Geocolog, Vice-Dean: Faculty of Ecology and Service, Gagarin Saratov State Technical University

Alexey N. Pavlov – Dr. Sc., Professor, Leading Scientific Researcher: Scientific and Education Center «Nonlinear Dynamics of Complex Systems», Gagarin Saratov State Technical University

Semen A. Kurkin – Ph. D., Associate Professor Department of Physics of Open Systems, Faculty of Nonlinear Processes, Chernyshevsky Saratov State University

Alexander E. Hramov – Dr. Sc., Professor Leading Scientific Researcher: Scientific and Education Center «Nonlinear Dynamics of Complex Systems», Gagarin Saratov State Technical University

ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.365.5

Е.М. Гришина, Ю.С. Архангельский

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В СВЧ ЭЛЕКТРОТЕРМИИ

Сформулированы критерии технико-экономической оптимизации сверхвысокочастотных электротермических установок с камерами лучевого типа. Найдены допустимые решения, сформулированы отношения предпочтения. Указаны особенности технико-экономических расчетов установок на камерах с бегущей и со стоячей волной.

СВЧ электротермическая установка, целевые функции, критерии, технико-экономическая оптимизация, камеры лучевого типа с бегущей и со стоячей волной

E.M. Grishina, Yu.S. Arkhangelskiy

MULTICRITERIA TECHNICAL AND ECONOMIC OPTIMIZATION FOR THE MICROWAVE ELECTROTHERMY

Criteria have been formulated for the technical and economic optimization of the super-high frequency electrothermal facilities with cameras of the beam type. The admissible resolutions and the prioritized relationships have been found. The focus is made on the specific features of the technical and economic calculations for the facilities with the cameras having the traveling or the standing wave.

Electrothermal facility, the target function, criteria, technical and economic optimization, beam type cameras, traveling wave, standing wave

При проектировании СВЧ электротермических установок (СВЧ ЭТУ) такие параметры, как количество установок, необходимых для выпуска заданного годового объема продукции, структура и параметры одной СВЧ ЭТУ определяются с помощью технико-экономической оптимизации [1]. В качестве целевой функции такой оптимизации в [1, 2] предложен интегральный за срок службы установки доход [2] (чистый дисконтированный эффект [3]) при $T = t_{cl}$:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = \sum_{t=0}^T \left[\sum_{j=1}^n (P_j C_j)_t + H_t + S_t + M_t - Z_t \right] (1+E)^{-t} + \Phi_T (1+E)^{-T}, \quad (1)$$

где P_j , C_j – количество и цена единицы j -й продукции, выпускают установкой на t -м шаге расчета; n – число видов продукции на горизонте расчета T ; H_t – стоимостная оценка сопутствующего эффекта в производственной сфере на t -м шаге расчета; S_t – стоимостная оценка сопутствующего эффекта на t -м шаге расчета; M_t – остаточная стоимость основных фондов производственной инфраструктуры, исключенных из эксплуатации на t -м шаге расчета; Z_t – эксплуатационные издержки на работу установки, включая налоги и платежи на t -м шаге расчета; E – норма дисконта (определяется финансовой политикой государства и меняется в пределах 0,08-0,12 для стабильного развивающейся экономики); Φ_T – остаточная на момент времени T стоимость основных фондов; t_{cl} – срок службы (эксплуатации) установки.

Но выбор лучшего варианта СВЧ ЭТУ можно проводить и по таким экономическим показателям, как индекс доходности, внутренняя норма прибыли и срок окупаемости [1, 3, 4].

Срок окупаемости (срок возврата инвестиций) $t_{от}$ – это период, измеряемый в месяцах, кварталах, годах, начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с оснащением производства СВЧ ЭТУ, покрываются суммарными результатами ее эксплуатации.

Индекс доходности можно записать в виде [1, 3].

$$I_{\partial} = \frac{\sum_{t=0}^T (R_t - Z_t^*) (1 + E)^{-t}}{\sum_{t=0}^T K_t (1 + E)^{-t}}, \quad (2)$$

где $R_t = \sum_{j=0}^n \left(\Pi_j \Pi_j \right)_t$; Z_t^* – затраты на t -м шаге расчета при условии, что в них не входит капиталовложение.

Внутренняя норма доходности представляет собой норму дисконта $E_{\text{вн}}$, при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям, так что $E_{\text{вн}}$ находится из уравнения [1, 3]

$$\sum_{t=0}^T (R_t - Z_t^*) (1 + E_{\text{вн}})^{-t} = \sum_{t=0}^T K_t (1 + E_{\text{вн}})^{-t}. \quad (3)$$

$E_{\text{вн}}$ определяется в процессе технико-экономических расчетов и сравнивается с требуемой нормой дохода на вкладываемый в СВЧ ЭТУ капитал.

СВЧ окупается обычно за год ($t_{\text{вн}} \leq 1$ год). За это время основные фонды реализуются не частично ($M_t = 0$) и не полностью ($\Phi_t = 0$). Пусть $H_t = S_t = 0$, СВЧ ЭТУ выпускает один вид продукции ($n = 1$), тогда соотношение (1) принимает вид

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = \text{ПЦ} - 3, \quad (4)$$

индекс доходности –

$$I_{\partial} = \frac{\text{ПЦ} - 3^*}{K}, \quad (5)$$

а уравнение (3) становится тождеством.

Строго говоря, оптимизировать структуру и параметры СВЧ ЭТУ следует на базе целевых функций (критериев) (4) и (5), то есть речь идет о так называемой задаче многокритериальной оптимизации [3]. Постановка такой задачи включает в себя формулировку целевых функций, определение множества возможных (допустимых) решений и отношения предпочтения лица, принимаемого решения (ЛПР).

Сформулируем целевые функции задачи. В соотношении (4) эксплуатационные издержки можно представить в виде

$$3 = C + C_{\text{нп}}, \quad (6)$$

где $C = C_c + C_{\text{э}} + C_{\text{зн}} + C_{\text{зч}} + C_a + C_{\text{бр}}$ – издержки производства; C_c – затраты на сырье; $C_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию и воду, потребляемые установкой; $C_{\text{зн}}$ – затраты на зарплату; $C_{\text{зп}}$ – затраты на запасные части; C_a – амортизационные отчисления; $C_{\text{бр}}$ – затраты на брак; $C_{\text{нп}} = C_n + C_{\text{ндс}} + C_y + C_{\%} + C_{\text{ни}}$ – налоги и платежи; $C_n = C_{\text{нр}} + C_{\text{ндс}} + C_{\text{им}}$ – налоговые отчисления; $C_{\text{нзп}}$ – начисления на зарплату; C_y – выплаты дивидендов; $C_{\%}$ – возврат банковского кредита; $C_{\text{ни}}$ – затраты на научные исследования; $C_{\text{нр}}$ – налог на прибыль; $C_{\text{ндс}}$ – налог на добавочную стоимость; $C_{\text{им}}$ – налог на имущество.

Ведем следующие упрощения я: банковский кредит краткосрочный ($t_{\text{кр}}=1$ год), выдается в начале реализуемого проекта, $C_{\text{ни}} = C_{\text{бр}} = 0$.

Но $C_{\text{нр}} = (\text{ПЦ} - C)\gamma_n$; $C_{\text{ндс}} = (\text{ПЦ} - C)\gamma_{\text{ндс}}$; $C_{\text{зн}} = K_{\text{зн}}K$; $C_a = \kappa_a K$; $C_{\text{им}} = \gamma_{\text{им}}K$; $C_{\%} = K(1 + i_{\text{кр}})$; $C_{\text{нзп}} = \gamma_{\text{зн}}C_{\text{зн}}$, где γ_n – коэффициент, учитывающий налог на прибыль; $\gamma_{\text{ндс}}$ – коэффициент, учитывающий налог на добавочную стоимость; $K_{\text{зн}}$ – коэффициент, учитывающий долю K , приходящуюся на запасные части (резервирование); κ_a – коэффициент амортизации; $\gamma_{\text{им}}$ – коэффициент, учитывающий налог на имущество; $i_{\text{кр}}$ – банковский кредит; $\gamma_{\text{зн}}$ – коэффициент, учитывающий начисления на зарплату. Тогда соотношение (4) с учетом (6) можно записать в виде

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = \left\{ (\text{ПЦ} - C) (1 - \gamma_n - \gamma_{\text{ндс}}) - C_{\text{э}} (1 - \gamma_n) - C_{\text{зп}} (1 - \gamma_n - \gamma_{\text{зп}}) - K \left[1 + i_{\text{кр}} + \gamma_{\text{им}} + (K_{\text{зч}} + K_a) (1 - \gamma_n) \right] \right\} (1 - \gamma_y), \quad (7)$$

СВЧ ЭТУ будет экономически максимально эффективной, если $\mathcal{E}_{\Sigma} = \mathcal{E}_{\Sigma \text{max}}$.

Что касается индекса доходности I_{∂} , то по аналогии с (7) его можно записать в виде

$$I_{\partial} = \frac{1}{K} \left\{ (PC - C_c) (1 - \gamma_n - \gamma_{ндс}) - C_{\partial} (1 - \gamma_n) - C_{3n} (1 - \gamma_n - \gamma_{3n}) - K [\gamma_{ум} + (K_{3ч} + K_a) (1 - \gamma_n)] (1 - \gamma_y) \right\} \quad (8)$$

В этом случае СВЧ ЭТУ будет экономически максимально эффективной, если $I_{\partial} = I_{\partial max}$.

Итак, целевые функции задачи многокритериальной оптимизации представляют соотношения (7) и (8).

Найдем допустимые решения – значения числа СВЧ ЭТУ N , обеспечивающих заданный годовой объем производства $П$, число источников СВЧ энергии M , работающих на одну рабочую камеру, мощность P одного СВЧ генератора и его частоту f .

Пусть СВЧ ЭТУ собрана на камере лучевого типа (рис. 1), работает в периодическом режиме, в ней проводится термообработка диэлектрика без фазного перехода.

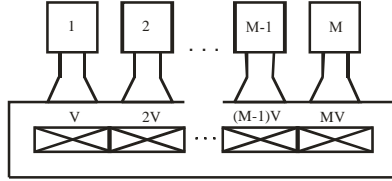


Рис. 1. Рабочая камера лучевого типа СВЧ ЭТУ с M источниками СВЧ энергии и объемом MV обрабатываемого диэлектрика

Согласно [1]

$$C_{3n} = N \sum_{i=1}^k \Psi_i \Phi_i, \quad (9)$$

где Ψ_i, Φ_i – численность и годовая зарплата сотрудников i -й категории; k – количество категорий сотрудников, работающих на одной СВЧ ЭТУ,

$$C_{\partial} = DN \left\{ t_p \left[T_{\partial} \frac{MP}{\eta_{эл}} + MG_{xв} \Pi_{xв} \right] + t_{3вс} T_{\partial} MP_{3в} \right\}, \quad (10)$$

где D – число рабочих дней в году; t_p – время работы СВЧ ЭТУ в сутки; T_{∂} – тариф на электроэнергию промышленной частоты; $\eta_{эл}$ – КПД СВЧ генератора (магнетрона); $G_{xв}$ – количество воды, расходуемой на охлаждение одного магнетрона; $\Pi_{xв}$ – цена холодной воды (тариф); $t_{3вс}$ – время загрузки-выгрузки диэлектрика в сутки, когда СВЧ ЭТУ работает в дежурном режиме; $P_{3в}$ – мощность, потребляемая от сети СВЧ генератором во время загрузки-выгрузки (в дежурном режиме), причем [1]

$$t_{3вс} = \frac{t_{3в} t_p}{t_{об}} = \frac{Mt_{3в} t_p (1 - |\Gamma|^2) MP}{c_{\partial} \rho_{\partial} MV \Theta_{3ад}},$$

$$P_{3в} = \frac{0,1P}{\eta_{эл}},$$

где $t_{3в}, t_{3в}$ – время загрузки-выгрузки диэлектрика объемом MV и V ; Γ – коэффициент отражения от рабочей камеры СВЧ ЭТУ; $c_{\partial}, \rho_{\partial}$ – удельная теплоемкость и плотность диэлектрика; $\Theta_{3ад} = T_{3ад} - T_0$; $T_{3ад}, T_0$ – заданная и начальная температуры диэлектрика, так что в (10)

$$t_{3в} T_{\partial} MP_{3в} = \frac{0,1 t_{3в} t_p (1 - |\Gamma|^2) (MP)^2}{c_{\partial} \rho_{\partial} V \Theta_{3ад} \eta_{эл}}. \quad (11)$$

Кроме того [1]

$$G_{xв} = \frac{(1 - \eta_{эл}) P}{1,17 \eta_{эл} \Delta T}, \quad (12)$$

где ΔT – разность температур воды на выходе и входе системы водяного охлаждения магнетрона.

Далее

$$K = N(\Pi_k + \Pi_{иэ}), \quad (13)$$

где $C_K, C_{uэ}$ – цены КЛТ и источников СВЧ энергии СВЧ ЭТУ, причем [1]

$$C_K = C_1 M, \quad (14)$$

$$C_{uэ} = M(a_4 P^2 + b^4 P + C). \quad (15)$$

В (15) $P_{min} \leq P \leq P_{max}$, где P_{max}, P_{min} – минимальная и максимальная СВЧ-мощности СВЧ генераторов, выпускаемых серийно, так что соотношение (7) с учетом (9)-(15) можно записать в виде:

$$\mathcal{E}_\Sigma = [A_1 - N(L_1 + L_2 MP + L_3 M^2 P^2 + L_4 MP^2 + L_5 M)](1 - \gamma_y), \quad (16)$$

где

$$A_1 = (ПЦ - C_c)(1 - \gamma_H - \gamma_{ндс}),$$

$$L_1 = \sum_{i=1}^K \psi_i \Phi_i (1 - \gamma_H - \gamma_{zn}),$$

$$L_2 = \frac{Дт_p T_\mathcal{E}}{\eta_\mathcal{E}} (1 - \gamma_H) + \frac{Дт_p C_{xв} (1 - \eta_{эл}) (1 - \gamma_H)}{1,17 \eta_{эл} \Delta T} + \epsilon_4 A_2,$$

$$L_3 = \frac{0,1 Дт_{3v_1} t_p (1 - |\Gamma|^2) T_\mathcal{E}}{c_\partial \rho_\partial V \Theta_{зад} \eta_{эл}},$$

$$L_4 = a_4 A_2,$$

$$L_5 = (c_1 + c_4) A_2,$$

$$A_2 = 1 + i_{кр} + \gamma_{ум} + (\kappa_{зч} + \kappa_a)(1 - \gamma_H),$$

при этом в (16) $A_1, A_2, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$ – величины нормативные.

В соотношении (16) по [1]

$$N = \frac{\Pi}{\Pi_y} = \frac{\Pi}{Дт_p G} = \frac{H_1 \Pi}{MP}, \quad (17)$$

где Π_y, G – годовая и почасовая производительность одной СВЧ ЭТУ; H_1 – величина нормативная, равная

$$H_1 = \frac{c_\partial \rho_\partial \Theta_{зад}}{Дт_p (1 - |\Gamma|^2)}. \quad (18)$$

Наконец [1],

$$P = \frac{c_\partial \rho_\partial V T_H}{1 - |\Gamma|^2}, \quad (19)$$

где T_H – требуемый темп нагрева, так что P – величина нормативная.

С учетом (17)-(19) целевую функцию (16) можно записать в виде

$$\frac{P \mathcal{E}_\Sigma}{H_1 \Pi (1 - \gamma_y)} = \frac{1}{M} [L_6 M - L_1 - L_2 P M - L_3 P^2 M^2 - L_4 P^2 M - L_5 M]$$

или

$$\frac{P \mathcal{E}_\Sigma}{H_1 \Pi (1 - \gamma_y)} = \frac{-L_1 + L_7 M - L_8 M^2}{M} \quad (20)$$

где

$$L_6 = \frac{A_1 P}{H_1 \Pi},$$

$$\begin{aligned} L_7 &= L_6 - L_2 P - L_4 P^2 - L_5, \\ L_8 &= L_3 P^2. \end{aligned}$$

Максимум \mathcal{E}_Σ будет при

$$L_8 M^2 - L_1 = 0. \quad (21)$$

Действительно

$$\left(\frac{P \mathcal{E}_\Sigma}{H_1 \Pi (1 - \gamma_y)} \right)'' = -\frac{2L_1}{M^3} < 0 \quad (22)$$

так как $L_1 > 0$; $M > 0$.

В таком случае из (21), (19), (18), (17)

$$M_{opt} = \sqrt{\frac{L_1}{L_8}} \Rightarrow M_{opt} P_{норм} = \sqrt{\frac{L_1}{L_8}}; \quad (23)$$

$$P_{норм} = \frac{c_\partial \rho_\partial V T_H}{1 - |\Gamma|^2}, \quad (24)$$

$$N_{opt} = \frac{\Pi c_\partial \rho_\partial \Theta_{зад}}{Dt_p (1 - |\Gamma|^2)} \sqrt{\frac{L_3}{L_1}}. \quad (25)$$

Так как длина волны СВЧ генератора в соотношении (7) в явном виде не входит, её можно определить, исходя из объема диэлектрика и его диэлектрических свойств

$$\lambda_{opt} = \sqrt[3]{V} \sqrt{\varepsilon' \sqrt{1 + tg^2 \delta}}. \quad (26)$$

Аналогичным путем найдем максимум целевой функции I_∂ , воспользовавшись соотношением (8). В этом случае справедливы соотношения для L_1 , L_3 , а L_4 и L_5 следует заменить на L_4' и L_5' , где

$$\begin{aligned} L_4' &= a_4 A_2', \\ L_5' &= (c_1 + c_4) A_2', \\ A_2' &= \gamma_{им} + (\kappa_{3ч} + \kappa_a)(1 - \gamma_H). \end{aligned}$$

Тогда

$$I_\partial = \frac{\left[A_1 - N \left(L_1 + L_2 MP + L_3 M^2 P^2 + L_4' MP^2 + L_5' M \right) \right] (1 - \gamma_y)}{NM \left[a_4 P^2 + b_4 P + (c_1 + c_4) \right]},$$

или

$$\frac{\left[a_4 P^2 + b_4 P + (c_1 + c_4) \right] I_\partial}{1 - \gamma_y} = \frac{1}{M} \left[L_6 M - L_1 - L_2 PM - L_3 P^2 M^2 - L_4' P^2 M + L_5' M \right],$$

т.е.

$$\frac{\left[a_4 P^2 + b_4 P + (c_1 + c_4) \right] I_\partial}{1 - \gamma_y} = \frac{-L_1 + L_7'' M + L_8 M^2}{M}, \quad (27)$$

где $L_7 = L_7 - L_7 P - L_4' P^2 - L_5'$.

Так как структуры правых частей соотношений (20) и (26) одинаковы, для функции (8) справедливы соотношения (21)-(26) с заменой левой части условия (25) на

$$\left[\left[a_4 P^2 + b_4 P + (c_1 + c_4) \right] \left(1 - \gamma_y \right)^{-1} I_{\partial} \right]''$$

Итак, допущенные решения для обеих целевых функций (краевые) \mathcal{E}_{Σ} и I_{∂} одинаковы и определяются соотношениями (23)-(26).

Что касается предпочтения ЛПП, то после расчета $P_{норм}$, M_{opt} и N_{opt} следует выбрать величину $P_{норм}$ с учетом ближайшей величины СВЧ мощности серийного магнетрона, генерирующего длину волны λ_{opt} , а величины M_{opt} и N_{opt} следует округлить до целого числа, учитывая, результаты, соотношения (32) и (25).

Допустимые решения для целевой функции I_{∂} не изменятся, если в соотношении (2) в затратах учесть капиталовложение.

Проведенные расчеты проведены для СВЧ ЭТУ на КЛТ. Что касается СВЧ ЭТУ на камерах с бегущей волной, то каждая такая камера запитывается только от одного СВЧ генератора, т.е. $M=1$, $P_{норм}$, как и в КЛТ, величина нормативная, а потому нормативно числу СВЧ ЭТУ N . Если СВЧ ЭТУ собрана на камерах со стоячей волной, то обычно каждая такая камера также запитывается от одного СВЧ генератора. Однако для более равномерного распределения СВЧ энергии по объему резонатора рекомендуется запитывать камеру от двух одинаковых СВЧ генераторов, подключенных к камере в разных местах. В таком случае при технико-экономических расчетах можно ограничиться определением

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E}_{\Sigma} &= \mathcal{E}_{\Sigma_1} - \mathcal{E}_{\Sigma_2}, \\ \Delta I_{\partial} &= I_{\partial_1} - I_{\partial_2}, \end{aligned}$$

где индекс 1 означает, например, камеру с одним СВЧ генератором, а индекс 2 – камеру с двумя СВЧ генераторами.

Выводы

1. Допущенные решения для чистого дисконтированного эффекта и индекс доходности как критериев многоцелевой технико-экономической оптимизации СВЧ ЭТУ одинаковы.
2. При технико-экономической оптимизации требуется знание величины многочисленных нормативных величин (параметров), определение которых представляет серьезную самостоятельную задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский Ю.С. Элементная база СВЧ электротермического оборудования / Ю.С. Архангельский, В.А. Воронкин. Саратов: СГТУ, 2003. 212 с.
2. Архангельский Ю.С. СВЧ электротермия / Ю.С. Архангельский. Саратов: СГТУ, 1918. 408 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Офиц. изд. М.: Госстрой России, Минэкономики РФ, Минфин РФ, Госкомпром России, 1994. 31 марта. № 7. 12/47.
4. Воронкин В.А. Оптимизация СВЧ электротермического оборудования / В.А. Воронкин // Электротехнология на рубеже веков: сб. науч. ст. по материалам конф. Саратов: СГТУ, 2001. С. 51-56.
5. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях / В.Д. Ногин. СПб.: ЮТАС, 2007. 104 с.

Гришина Екатерина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Архангельский Юрий Сергеевич –

Ekaterina M. Grishina – Ph. D., Associate Professor Department of Automated Electrotechnological Facilities and Systems», Gagarin Saratov State Technical University

Yuri S. Arkhangel'skiy –

заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Автоматизированные электротехнологические
установки и системы» Саратовского
государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.

Honored Worker of Science
of the Russian Federation,
Dr. Sc., Professor,
Head: Department of Electrotechnological
Facilities and Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 16.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 530.182

**Д.И. Данилов, М.О. Журавлев, А.В. Иванов, А.А. Короновский,
М.К. Куровская, О.И. Москаленко, А.О. Сельский, С.А. Шурыгина**

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕЖАЮЩЕГОСЯ ПОВЕДЕНИЯ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ СИНХРОННОГО РЕЖИМА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ПАРАМЕТРА

Исследуются характеристики перемежающегося поведения, наблюдающегося вблизи границы синхронизации осциллятора Ван дер Поля под внешним гармоническим воздействием в случае, когда амплитуда внешнего сигнала изменяет свое значение случайным образом через некоторые интервалы времени.

Хаотическая синхронизация, перемежаемость, хаотический осциллятор

**D.I. Danilov, M.O. Zhuravlev, A.V. Ivanov, A.A. Koronovsky,
M.K. Kurovskaya, O.I. Moskalenko, A.O. Selskii, S.A. Shurygina**

RESEARCH INTO THE CHARACTERISTICS OF INTERMITTENT BEHAVIOR NEAR THE SYNCHRONIZATION BOUNDARY FOR THE VARYING CONTROL PARAMETER

Characteristics of intermittent behavior near the synchronization boundary are studied for the Van der Pole oscillator under the external harmonic signal where the amplitude is changed randomly at the given time intervals.

Chaotic synchronization, intermittency, chaotic oscillator

Явление перемежаемости широко встречается в природе и весьма активно изучается исследователями. Одной из важных особенностей перемежаемости является ее фундаментальный характер, приводящий к тому, что явление перемежающегося поведения наблюдается в системах самой различной природы. Известно, что перемежаемость является одним из классических сценариев перехода от периодических колебаний к хаотическим [1, 2]. На сегодняшний день существует определенная классификация перемежающегося поведения, в частности, выделяют перемежаемость типов I-III [1-3], on-off перемежаемость [4, 5], перемежаемость кольца [6], перемежаемость «игольного ушка» [7], тесно связанную с перемежаемостью типа I в присутствии шума [8].

Как правило, в подавляющем большинстве случаев перемежающееся поведение, наблюдающееся в той или иной системе, рассматривается при фиксированных во времени (стационарных) значениях управляющих параметров. Однако, вполне возможны ситуации, когда параметры системы, демонстрирующей перемежающееся поведение, будут изменяться с течением времени. В частности, подобная ситуация может быть характерна для живых систем. Например, известно, что перемежающееся поведение наблюдается вблизи границы возникновения режимов хаотической синхронизации [9]. Известно также, что режимы хаотической синхронизации (например, фазовой хаотической синхронизации) имеют место в живых системах, например, в кардиоваскулярной системе человека [10]. Очевидно, что на границе установления синхронного режима будет наблюдаться перемежающееся поведение, при этом на его характеристики будет оказывать существенное влияние изменение управляющих параметров системы с течением времени, присущее живым системам.

В настоящей работе рассматривается вопрос о характеристиках перемежающегося поведения осциллятора вблизи границы синхронного режима, если один из управляющих параметров системы будет менять свое значение случайным образом через некоторые промежутки времени. Пусть A – управляющий параметр, A_c – значение этого управляющего параметра, соответствующее границе установления синхронного режима. Будем считать, что при $A > A_c$ в системе наблюдается синхронная динамика, а при $A < A_c$ – асинхронное поведение, демонстрирующее черты перемежаемости. Предположим, что значение управляющего параметра находится вблизи критической точки A_c и подвержено случайным флуктуациям с течением времени, причем в разные моменты времени величина A может быть как выше, так и ниже критического значения A_c .

В качестве исследуемой системы был выбран осциллятор Ван дер Поля, находящимся под внешним гармоническим воздействием, амплитуда которого A изменялась случайным образом:

$$\ddot{x} - (\lambda - x^2)\dot{x} + x = (A_0 + D\xi)\sin(\omega_e t), \quad (1)$$

где A и ω_e – амплитуда и частота внешнего гармонического воздействия, соответственно, λ – параметр нелинейности, D – величина, характеризующая интенсивность флуктуаций, ξ – случайная величина, характеризующаяся нормальным законом распределения

$$p(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_\xi^2}\right), \quad (2)$$

где $\sigma_\xi^2 = 1$. Значения указанных выше параметров были выбраны фиксированными: $\lambda = 0.1$, $\omega_e = 0.98$, $A_0 = 0.024$, что больше граничного значения $A_c = 0.0238$, соответствующего порогу синхронизации в отсутствие случайной добавки $D\xi$.

В качестве упрощающего предположения будем считать, что амплитуда внешнего воздействия изменяет свое значение случайным образом через фиксированные (равные) интервалы времени. Параметр, отвечающий за интенсивность флуктуаций $D = 5 \cdot 10^{-4}$, величина ξ , а соответственно и величина $A = A_0 + D\xi$, отвечающая за амплитуду внешнего воздействия, принимала новое значение через интервал времени $\tau_\xi = 900$. Очевидно, для плотности распределения вероятности $p(A)$ величины A можно записать

$$p(A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(A - A_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

при этом $\sigma = D\sigma_\xi = 5 \cdot 10^{-4}$, $\mu = A_0 = 0.024$.

Рассмотрим, что происходит в системе между флуктуациями управляющего параметра A с точки зрения возникновения фазовых проскоков, соответствующих возникновению турбулентных участков поведения. Очевидно, что в случае, когда $A > A_c$, система оказывается в синхронизованном состоянии, и, как следствие, в этот интервал времени длительностью τ_ξ фазовых проскоков не возникает и рассматриваемый интервал времени полностью принадлежит участку ламинарной (синхронной) динамики. Ситуация оказывается сложнее, если в результате флуктуации управляющий параметр A принял значение, меньшее A_c . Хорошо известно, что в случае малой расстройки параметров при постоянном значении параметра A ниже границы синхронизации наблюдается поведение, демонстрирующее черты перемежаемости типа I, при этом зависимость средней длительности ламинарных участков поведения (участков синхронной динамики) для данного типа перемежающегося поведения имеет вид

$$T(A) = C_1 \cdot (A_c - A)^{-1/2}, \quad (4)$$

где C_1 – некоторая константа. В рассматриваемом случае для указанных значений управляющих параметров, $C_1 \approx 26$. Очевидно, что если средняя длительность $T(A)$ участка ламинарного поведения оказывается существенно меньше длительности интервала времени τ_ξ , в течение которого

значение управляющего параметра A остается неизменным, то с вероятностью почти наверное в системе будет наблюдаться фазовый проскок, соответствующий окончанию участка ламинарного (синхронного) поведения. Введем в рассмотрение значение A_* , которое соответствует такому значению параметра A , при котором средняя длительность ламинарной фазы $T(A_*) = \tau_\xi$. Из соотношения (4) нетрудно получить, что

$$A_* = A_c - (C_1/\tau_\xi)^2. \quad (5)$$

Таким образом, если $\tau_\xi = 900$, то $A_* = 0.023$. Нетрудно заметить, что при всех $A < A_*$, $T(A) < \tau_\xi$, и, следовательно, можно считать, что до смены значения параметра A в рассматриваемой системе с вероятностью, близкой к единице, произойдет фазовый проскок. В том же случае, когда значение управляющего параметра оказывается в диапазоне $A_* < A < A_c$, вероятность фазового проскока может быть оценена как $\tau_\xi/T(A)$. Таким образом, для вероятности наблюдения фазового проскока в течение интервала времени между флуктуациями значения управляющего параметра A можно записать

$$P(A) = \begin{cases} 1, & A < A_*, \\ \frac{\tau_\xi}{T(A)}, & A_* < A < A_c, \\ 0 & A > A_c. \end{cases} \quad (6)$$

На рис. 1 представлено распределение величины управляющего параметра A для рассматриваемой системы (кривая 1), полученное в результате численного моделирования системы (1). Одновременно на этом же рисунке показано распределение значений того же самого параметра A , при котором наблюдался фазовый проскок (кривая 2). Оба распределения получены для одного и того же временного ряда по всем значениям, которые принимал параметр A за время наблюдения. На рисунке также показаны стрелками значения A_* и A_c , играющие важную роль в формировании распределения плотности вероятности фазового проскока в рассматриваемой системе. Из рисунка отчетливо видно, что для значений параметра $A \leq A_*$ оба распределения совпадают друг с другом, что говорит о том, что для данных значений управляющего параметра в 100% случаев происходил фазовый проскок, то есть в системе начинался турбулентный участок поведения, и, соответственно, вероятность фазового проскока в данном случае равняется единице, в полном соответствии с соотношением (6). Точно так же наблюдается полное соответствие результатов численного моделирования для случаев, когда $A > A_c$ – в этой ситуации фазовые проскоки практически отсутствуют, что говорит о том, что для значений параметра, принимающих в ходе флуктуаций значения больше порога установления синхронного режима, вероятность возникновения фазового проскока равняется нулю. Наконец, видно, что в диапазоне значений $A_* < A < A_c$ с ростом значения A количество фазовых проскоков уменьшается, что говорит об уменьшении вероятности P . Для сопоставления поведения вероятности P возникновения фазовых проскоков, полученной численно, с аналитической зависимостью (6) в диапазоне $A_* < A < A_c$, на рисунке приведена также зависимость $p(A)\Delta A P(A)$, показанная пунктирной линией (ΔA – диапазон агрегации представления данных). Как видно из рисунка, и в этом диапазоне значений параметра A соотношение (6) хорошо описывает процессы, происходящие в анализируемой системе.

С учетом всего вышеизложенного, можно говорить о том, что при рассмотрении динамики системы (1) в интервале времени τ_ξ между флуктуациями значения параметра A вероятность наблюдать уход фазы будет определяться соотношением

$$P_1 = \int_0^\infty p(A)P(A)dA = \int_0^{A_*} p(A)dA + \int_{A_*}^{A_c} \frac{\tau_\xi p(A)}{T(A)}dA. \quad (7)$$

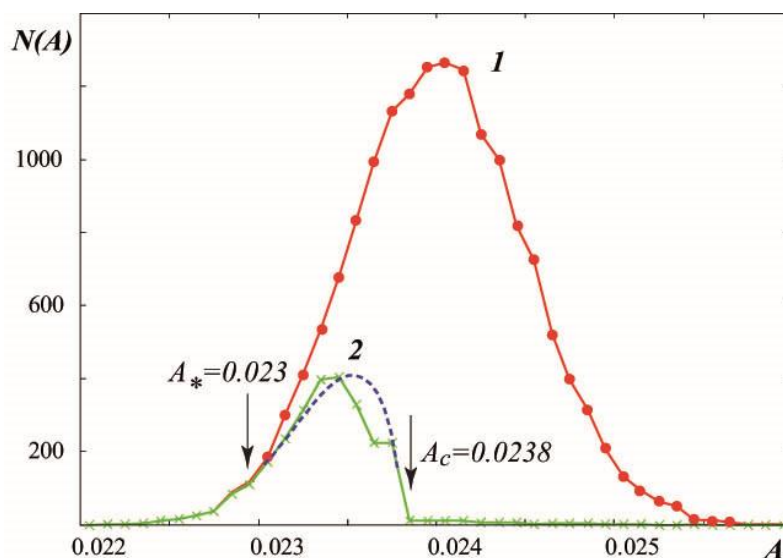


Рис. 1: Плотность распределения вероятности $p(A)$ значений параметра A для системы (1).

Распределение 1 построено по всем значениям, которые принимал параметр A за время наблюдения, распределение 2 получено для значений параметра A , при которых наблюдался фазовый проскок.

Обе зависимости получены для одного и того же временного ряда по всем значениям, которые принимал параметр A за время наблюдения. Штриховой линией показана зависимость $p(A)\Delta p(A)$

Тогда вероятность того, что в системе реализуется ламинарная фаза длительностью s , соответствующей k интервалам флуктуаций параметра A (иными словами, $s = k\tau_\xi$), будет определяться как

$$P_2(k) = (1 - P_1)^{k-1} \cdot P_1^2, \tag{8}$$

где вероятность P_1 определяется соотношением (7). Соответственно, распределение длительностей ламинарных участков поведения, характеризующихся синхронной динамикой во времени, в этом случае будет подчиняться закону

$$N(s) \sim (1 - P_1)^{s/\tau_\xi - 1} \cdot P_1^2, \tag{9}$$

и, соответственно, данное соотношение может быть переписано в виде

$$N(s) = C_2 \exp(\kappa s), \tag{10}$$

где

$$\kappa = (1/\tau_\xi) \ln(1 - P_1), \tag{11}$$

C_2 – коэффициент пропорциональности, являющийся нормировочным множителем, обеспечивающим выполнение условия нормировки. Таким образом, следует ожидать, что в случае медленных флуктуаций управляющего параметра A распределение длительностей ламинарных фаз в рассматриваемой системе будет подчиняться экспоненциальному закону (10). В случае, если распределение длительностей ламинарных участков поведения строить для длительностей ламинарных фаз, нормированных на интервал времени τ_ξ , показатель степени κ в соотношении (10) будет определяться исключительно величиной вероятности наблюдать уход фазы за интервал времени между флуктуациями управляющего параметра A :

$$\kappa = \ln(1 - P_1). \tag{12}$$

На рис. 2 приведены распределения длительностей ламинарных фаз, полученные в результате численного моделирования рассматриваемой системы при указанных выше значениях параметров, для различных значений интервала τ_ξ , в течение которого управляющий параметр A считается неизменным. Для сопоставления с теоретическими данными на рисунке приведены также зависимости, соответствующие аналитическому соотношению (9), значения величины P_1 для которых определялись с помощью соотношения (7). Точки на графике соответствуют данным,

полученным численно, сплошными линиями показана зависимость (9) для каждого конкретного значения τ_ξ . Нетрудно видеть хорошее соответствие численных данных и теоретического соотношения, независимо от величины интервала времени τ_ξ , по истечении которого происходило изменение значения параметра A , моделирующее медленную флуктуацию данного параметра.

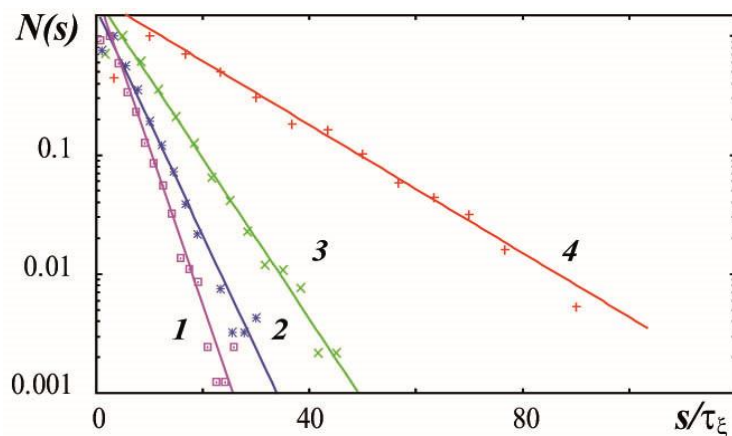


Рис. 2: Распределения длительностей ламинарных фаз для системы (1), полученные при различных значениях τ_ξ . Точки на графике соответствуют численным данным, аналитическое

соотношение (9) показано сплошной линией. Значения интервала времени τ_ξ и вероятности P_1 , соответствующие каждому конкретному распределению следующие:

$$1 - \tau_\xi = 1200, P_1 = 0.247; 2 - \tau_\xi = 900, P_1 = 0.197; 3 - \tau_\xi = 600, P_1 = 0.133;$$

4 - $\tau_\xi = 300, P_1 = 0.066$. Значения по оси ординат отложены в логарифмическом масштабе, чтобы показать экспоненциальный характер распределения длительностей участков ламинарного поведения

Таким образом, в настоящей работе исследованы характеристики перемежающегося поведения, наблюдающегося близи границы синхронизации осциллятора ван дер Поля, находящегося под внешним гармоническим воздействием в случае, когда амплитуда этого воздействия изменяла свое значение случайным образом через фиксированные интервалы времени. Был установлен аналитический закон для распределения длительностей ламинарных участков поведения и показано хорошее соответствие выявленной теоретической зависимости с данными, полученными в ходе численного моделирования системы при различных значениях интервала времени, через который происходила смена значения управляющего параметра.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашения 14.B37.21.0569 и 14.B37.21.0751) и Фонда некоммерческих программ «Династия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Berge P. L'ordre dans le chaos / P. Berge, Y. Pomeau, and Ch. Vidal Hermann, Paris, 1988.
2. Берже П. Порядок в хаосе / П. Берже, И. Помо, К. Видаль. М.: Мир, 1991.
3. Dubois M. Experimental evidence of intermiasttencies associated with a subharmonic bifurcation / M. Dubois, M. Rubio, P. Berge // Phys. Rev. Lett. 1983. V 51. P. 1446-1449.
4. Platt N. On-off intermittency: a mechanism for bursting / N. Platt, E. A. Spiegel, and C. Tresser // Phys. Rev. Lett. 1993. V. 70. P. 279-282.
5. Heagy J. F. Characterization of on-off intermittency / J.F. Heagy, N. Platt, S.M. Hammel // Phys. Rev. E. 1994. V. 49. P. 1140-1150.
6. Hramov A. E. Ring intermittency in coupled chaotic oscillators at the boundary of phase synchronization / A.E. Hramov, A.A. Koronovskii, M.K. Kurovskaya, S. Boccaletti // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 97. P. 114101.
7. Pikovsky A.S. Attractor-repeller collision and eyelet intermittency at the transition to phase synchronization / A.S. Pikovsky, G.V. Osipov, M.G. Rosenblum, M. Zaks, J. Kurths // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 79. P. 47-50.
8. Hramov A.E. Type-I intermittency with noise versus eyelet intermittency / A.E. Hramov, A.A. Koronovskii, M.K. Kurovskaya, O.I. Moskalenko // Phys. Lett. A. 2011. V. 375. P. 1646-1652.

9. Rosenblum M.G. From phase to lag synchronization in coupled chaotic oscillators / M.G. Rosenblum, A.S. Pikovsky, J. Kurths // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 78. P. 4193-4196.

10. Hramov A.E. Detecting synchronization of self-sustained oscillators by external driving with varying frequency / A.E. Hramov, A.A. Koronovskii, V.I. Ponomarenko, M.D. Prokhorov // Phys. Rev. E. 2006. V. 73. P. 026208.

Данилов Дмитрий Игоревич – аспирант кафедры «Физика открытых систем» факультета нелинейных процессов Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Журавлев Максим Олегович – младший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Иванов Алексей Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геоэкология и инженерная геоэкология» декан факультета экологии и сервиса Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Короновский Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Куровская Мария Константиновна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Нелинейная физика» Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Москаленко Ольга Игоревна – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Сельский Антон Олегович – младший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Шурыгина Светлана Андреевна – младший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Dmitry I. Danilov – Postgraduate
Department of Physics of Open Systems,
Gagarin Saratov State University

Maxim O. Zhuravlev – Junior Researcher
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Alexey V. Ivanov – Ph. D., Professor
Head: Department of Geocology
and Engineering Geocology,
Dean: Faculty of Ecology and Service,
Gagarin Saratov State Technical University

Alexey A. Koronovsky – Dr. Sc., Professor, Leading Scientific Researcher:
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Maria K. Kurovskaya – Ph. D., Associate Professor
Department of Nonlinear Physics,
Faculty of Nonlinear Processes,
Chernyshevsky Saratov State University

Olga I. Moskalenko – Ph. D., Associate Professor,
Senior Researcher:
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Anton O. Selsky – Junior Researcher:
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Svetlana A. Shurygina – Junior Researcher:
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

А.П. Кузнецов, Е.С. Попова, Е.П. Селезнев, Н.В. Станкевич

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ МНОГОЧАСТОТНЫХ ТОРОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В работе предложена новая методика диагностики многочастотных торов в эксперименте, базирующаяся на визуализации инвариантной кривой в «кратном» сечении Пуанкаре. Данная методика апробирована на примере нелинейного контура с тремя внешними воздействиями, реализовано двойное сечение Пуанкаре.

Квазипериодические колебания, торы, инвариантная кривая, сечение Пуанкаре

A.P. Kuznetsov, E.S. Popova, E.P. Seleznev, N.V. Stankevich

A DIAGNOSTIC APPROACH FOR THE MULTIFREQUENCY TORUS

A new approach has been proposed for diagnosing the multi-frequency torus under the experiment based on the visualization of invariant curve in the «multiple» Poincaré section. The given approach has been piloted for the nonlinear circuit with three external actions, and the double Poincaré section has been realized.

Quasiperiodic oscillations, torus, invariant curve, Poincare section

Введение. Квазипериодические колебания широко распространены в науке и технике [1-4]. Соответствующие примеры можно найти в электронике, радиотехнике, биофизике, климатологии, астрофизике. Квазипериодические колебания можно классифицировать по числу независимых несоизмеримых частот. В фазовом пространстве образами квазипериодических колебаний являются *инвариантные торы*, при этом размерность тора равна числу неизмеримых частот [4]. При этом двухчастотный тор вложен в трехмерное фазовое пространство, трехчастотный – в четырехмерное и т.д. Спектры таких колебаний достаточно сложно устроены и содержат не только «комплект» основных частот, но и набор их гармоник. Задачи о генерации квазипериодических колебаний, их управления внешними сигналами, взаимной синхронизации являются сложными, причем заметный прогресс в теоретическом описании достигнут сравнительно недавно [4-14]. Одной из проблем изучения многочастотных колебаний является их диагностика. Традиционным и физически мотивированным методом является анализ спектра Фурье. Для двухчастотной квазипериодичности такой метод является достаточно приемлемым, однако для более высокоразмерных колебаний картина может усложниться за счет большого числа гармоник. Одним из методов, который может быть заимствован из теории динамического хаоса, является анализ показателей Ляпунова. Эти показатели характеризуют наличие (отсутствие) разбегания близких фазовых траекторий [15,16]. Так для систем с хаотическими колебаниями присутствует, по крайней мере, один положительный показатель. Для квазипериодических колебаний несколько показателей обращаются в ноль, причем чем больше нулевых показателей, тем больше число несоизмеримых частот. Однако процесс расчета полного спектра показателей Ляпунова с хорошей точностью занимает достаточно длительное время. Кроме того, этот метод не применим к экспериментальным данным, так как по временным реализациям достаточно надежно фиксируется только старший показатель Ляпунова. Еще одним из методов может служить построение сечения Пуанкаре [15,16]. В этом случае при численном моделировании системы производится поиск точек пересечения фазовой траектории с некоторой гиперповерхностью, размерность которой на единицу меньше фазового пространства. Так как для двухчастотных квазипериодических колебаний аттрактором является двумерный тор, то его сечение плоскостью представляет собой овал, или, как говорят, *инвариантную кривую*. Такую диагностику удобно использовать как при теоретическом исследовании, так и в эксперименте. Однако появление новых несоизмеримых частот «размывает» инвариантную кривую. Для исследования этого случая применяют «кратное», в простейшем случае *двойное сечение Пуанкаре (double Poincaré section)*. Так трехчастотный тор в сечении Пуанкаре дает набор точек, формирующих инвариантную кривую в трехмерном пространстве. Ее, в свою очередь, можно рассеять плоскостью, которая и даст двойное сечение Пуанкаре. При этом надо иметь в виду, что набор точек дискретен, и они не попадают точно на секущую плоскость. Поэтому в численных расче-

тах в этом случае необходимо фиксировать точки, попадающие в некоторый очень тонкий, но конечный слой, что затрудняет численную процедуру. Примеры использования двойного сечения Пуанкаре в теоретических исследованиях можно найти в [7, 8, 17-19]. Следует также отметить, что задачи о многочастотных колебаниях являются сложными, поэтому при их исследовании приходится применять разные методы, которые взаимно дополняют друг друга [4-14].

Если говорить об экспериментальных исследованиях многочастотной квазипериодичности, то можно указать работу [10], в которой анализировался спектр Фурье. В этом случае спектр был достаточно простым, а анализ системы дополнялся теоретическим моделированием, так что легко идентифицировались новые спектральные компоненты. В [20] на основе анализа спектра Фурье предложена схема, с помощью которой строились плоскости параметров, на которых различали различную динамику системы, включая двух и трехчастотные квазипериодические колебания в автоматическом режиме. В [21] авторы по экспериментальным временным реализациям конструировали отображение фаз, по которым также можно говорить о квазипериодичности реализующихся процессов. Что касается метода кратного сечения Пуанкаре, то практически не известно экспериментальных методик его определения. Можно указать лишь на работы [22, 23], в которых проведен анализ механических систем типа балки, вибрирующей во внешнем поле. В данных работах экспериментально реализовано двойное сечение Пуанкаре, фиксированное по частотам внешнего воздействия. Таким образом, вопрос разработки метода диагностики многочастотных колебаний с помощью «кратных» сечений Пуанкаре в радиотехническом эксперименте является актуальным и малоисследованным.

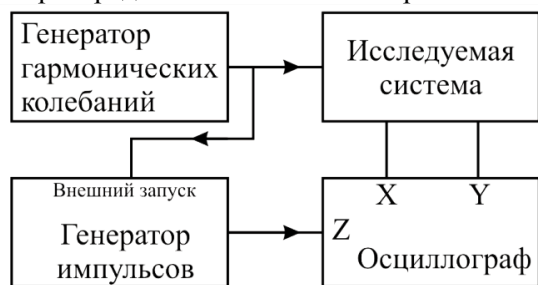


Рис. 1. Функциональная схема электронной установки, позволяющая визуализировать инвариантную кривую на экране осциллографа

Постановка задачи. Наиболее просто реализовать сечение Пуанкаре можно в неавтономных системах. В этом случае используют так называемое *стробоскопическое сечение*, которое выбирается через период внешнего сигнала. В эксперименте оно реализуется следующим образом. Сигнал внешнего воздействия (рис. 1) от стандартного генератора гармонических колебаний поступает на исследуемую систему. Этот же сигнал поступает на вход внешнего запуска импульсного генератора. Динамические переменные исследуемой системы поступают на входы X и Y осциллографа, работающего в режиме x-y, то есть без развертки, и в результате на

экране осциллографа формируется изображение проекции фазового портрета на соответствующую плоскость. Короткие импульсы, следующие с частотой гармонического сигнала стандартного генератора, с выхода генератора импульсов поступают на вход Z внешней подсветки изображения осциллографа. В результате на экране наблюдается фазовый портрет, на фоне которого более яркими точками отмечено его стробоскопическое сечение. Подбирая яркость свечения луча осциллографа, можно погасить фон и оставить только само сечение. Таким образом, на экране формируется аттрактор в сечении Пуанкаре. Такой метод визуализации инвариантной кривой реализован в [22-24].

В случае двумерного тора в сечении Пуанкаре наблюдается замкнутая кривая, по изменениям которой при вариации управляющих параметров можно судить об эволюции квазипериодических колебаний. Если кривая преобразуется в набор дискретных точек, то имеет место *синхронизация* на торе, если наблюдается формирование изломов, то можно делать предположение о рождении *странного нехаотического аттрактора* [25, 26]. Если кривая размывается, то возможны либо рождение *трехмерного тора*, либо переход к *хаосу*. Для исследования эволюции трехмерного тора в эксперименте необходимо построить уже двойное сечение Пуанкаре. Целью данной работы является разработка экспериментальной методики наблюдения многочастотных торов в радиотехническом эксперименте и ее апробация на примере нелинейного осциллятора с трехчастотным воздействием.

Методика диагностики многочастотных торов в эксперименте. Объект исследований представляет собой нелинейный колебательный контур *RLD* (рис. 2), возбуждаемый сигналом, представляющим сумму трех гармонических составляющих $A_1 \sin \omega_1 t$, $A_2 \sin \omega_2 t$ и $A_3 \sin \omega_3 t$. Характер колебаний анализировался по проекции фазового портрета на плоскость $(A_0 \sin \omega_2 t, i)$, где i – сила тока диода. Значения частот воздействия заданы следующим образом: ω_1 выбиралась близкой частоте линейного резонанса колебательного контура и равнялась 51 кГц, $\omega_2 = k_2 \omega_1$, $\omega_3 = k_3 \omega_1$, где k_2 и k_3 – иррациональные числа, которые выбирались как решения минимальных многочленов второй и третьей

степени: $k_2 = (\sqrt{5} - 1) / 2$, $k_3 = 1,324718\dots$ [27]. При $A_1 \neq 0$, $A_2 \neq 0$ и $A_3 \neq 0$ в исследуемой системе существует трехмерный тор. Исследуем его эволюцию с помощью двойного сечения Пуанкаре.

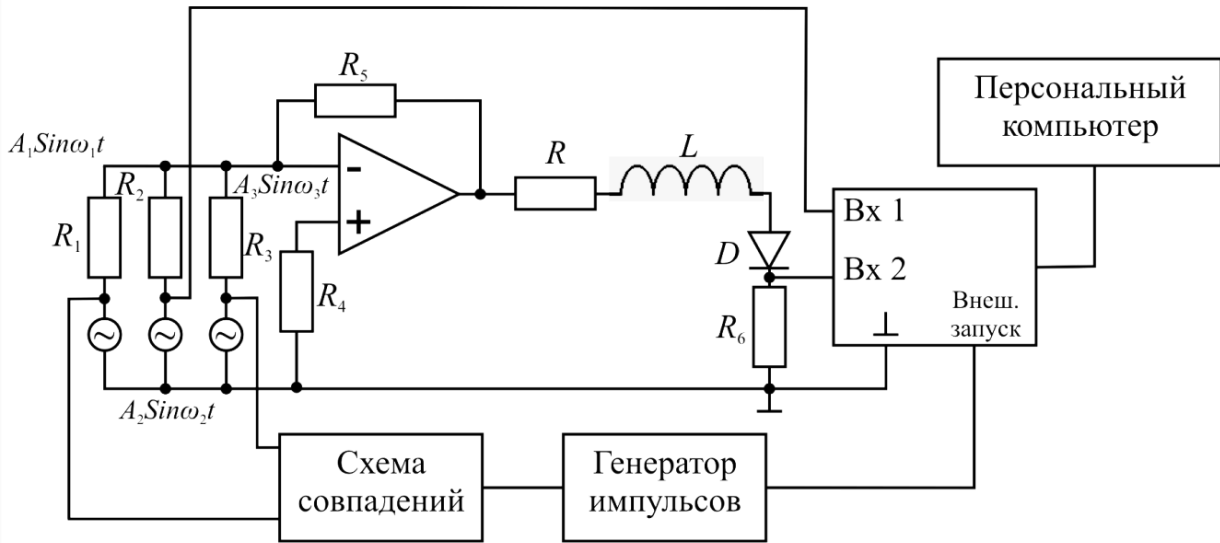


Рис. 2. Схема исследуемой системы, RLD-цепь с тремя гармоническими воздействиями

Прежде чем отработать методику построения двойного сечения Пуанкаре, вернемся к одномерному сечению. В случае двумерного тора, подсветка фазового портрета на экране осциллографа представляет собой выборку двух значений динамических переменных в некоторый определенный момент времени. В нашем эксперименте этот момент соответствует достижению внешней гармонической силой определенной фазы, по достижению которой формируется стробирующий импульс. В случае с трехмерным тором необходимо условие, когда две гармонические составляющие внешней силы одновременно достигают некоторых заданных фаз воздействия. Для реализации этого условия в эксперименте (см. рис. 2) используется схема совпадений (рис. 3). С увеличением количества независимых частот в системе количество компонент, которые необходимо анализировать также будет увеличиваться. Изображенная на рис. 3 схема управления позволяет делать четырехкратное сечение Пуанкаре.

Схема совпадений представляет собой набор компараторов напряжения (DA_1-DA_4), на входы которых поступают напряжения, соответствующие различным динамическим переменным. Потенциометрами R_1-R_4 устанавливаются пороги срабатывания компараторов. Пока значение динамической переменной не превышает пороговое значение, напряжение на выходе компаратора равно $-E_{min}$. В момент достижения динамической переменной порогового значения компаратор переключается в состояние, когда напряжение на выходе равно $+E_{min}$. Положительный перепад напряжения поступает на вход логического элемента ($DD_{11}-DD_{41}$), который используется в качестве развязывающего элемента. RC – цепи ($R_{13}C_1-R_{16}C_4$) и логические элементы $DD_{12}-DD_{42}$ представляют собой формирователи коротких импульсов, длительность которых значительно меньше наименьшего из периодов гармонических составляющих внешнего воздействия. Таким образом, часть схемы, включающая элементы DA_1-DA_4 , R_1-R_4 , $DD_{11}-DD_{41}$, $R_{13}C_1-R_{16}C_4$ и $DD_{12}-DD_{42}$, обеспечивает формирование коротких импульсов в момент, когда динамические переменные достигают заданных значений. Фиксация момента, когда данные события происходят одновременно, обеспечивается логическим элементом DD_5 . В момент достижения всеми динамическими переменными пороговых значений на все входы DD_5 поступают прямоугольные импульсы (логические единицы), соответственно, на его выходе появляется импульс. Этот импульс используется в качестве сигнала внешней подсветки луча осциллографа. Подбором яркости изображения на экране осциллографа формируется аттрактор системы в многомерном сечении Пуанкаре. Следует отметить, что вероятность события, когда две динамические переменные достигают некоторого заданного значения, сравнительно мала. Это приводит к тому, что на экране осциллографа сечение Пуанкаре выглядит неярко по отношению к проекции фазового портрета. В этом случае более удобно использовать персональный компьютер с устройством ввода-вывода аналоговых сигналов. В эксперименте использовался персональный компьютер с устройством ввода-вывода NI USB-6211.

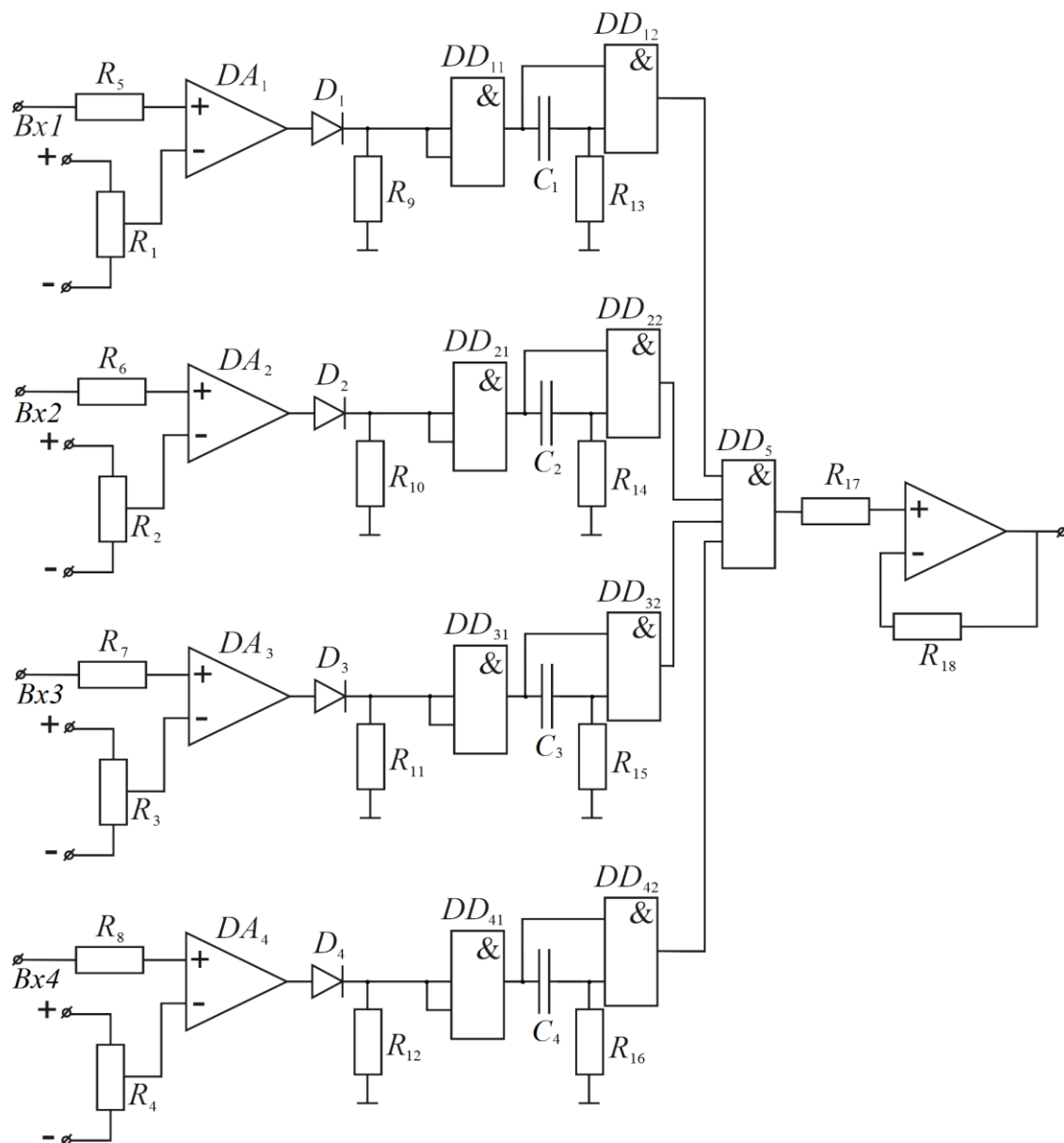


Рис. 3. Схема совпадений (см. рис. 2)

На рис. 4 представлены примеры аттракторов в двумерном сечении Пуанкаре. Рис. 4а представляет собой замкнутый овал, что соответствует гладкому трехчастотному тору. Некоторое «размытие» аттрактора обусловлено конечным интервалом времени совпадения, которое не превышает удвоенной длительности импульсов в схеме совпадения. В нашем эксперименте это интервал не превышал 400 мкс.

Интересной иллюстрацией является рис. 4б. Можно видеть удвоение кривой на экране осциллографа. Поскольку на снимке представлено двойное сечение Пуанкаре, то в этом случае имеет место удвоение трехчастотного тора. Этот эффект аналогичен известной бифуркации удвоения двухчастотного тора [4, 15], но реализуется для тора более высокой размерности.

Динамические режимы, представленные на рис. 4в, г предшествуют переходу к хаосу. Можно предположить, что в данном случае наблюдается странный нехаотический аттрактор, однако строгое обоснование этого факта требует дополнительных исследований. Рис. 4д, е соответствуют хаотическому аттрактору, сформировавшегося в результате разрушения двумерного тора.

Заключение. Таким образом, в результате проведенной работы предложена и апробирована на примере неавтономного нелинейного осциллятора с трехчастотным воздействием методика наблюдения многомерных торов и построения «кратного» сечения Пуанкаре. Экспериментально обнаружена возможность удвоения трехчастотного тора.

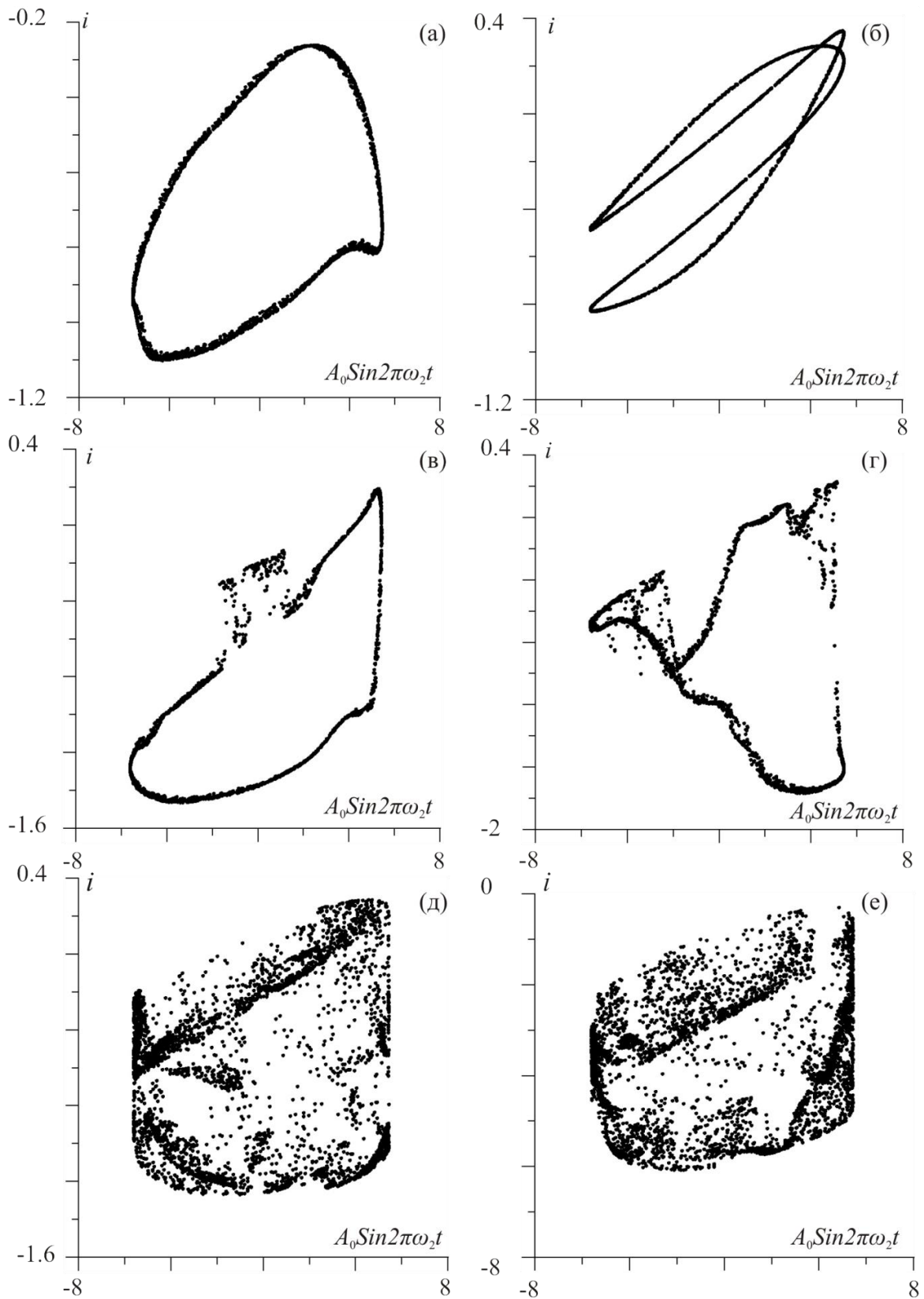


Рис. 4. Вид аттракторов в двойном сечении Пуанкаре, построенных по экспериментальным данным: а) $A_1=1.2B$, $A_2=0.6B$, $A_3=0.18B$; б) $A_1=1.2B$, $A_2=0.6B$, $A_3=0.18B$; в) $A_1=1.2B$, $A_2=0.6B$, $A_3=0.18B$; г) $A_1=1.2B$, $A_2=0.6B$, $A_3=0.18B$; д) $A_1=1.52B$, $A_2=0.8B$, $A_3=0.18B$; е) $A_1=1.63B$, $A_2=0.8B$, $A_3=0.18B$

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-02-31465).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. М.: Техносфера, 2003. 508 с.
2. Лоскутов А.Ю. Основы теории сложных систем / А.Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. М.-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2007. 620 с.
3. Ланда П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы / П.С. Ланда. М.: Наука, 1980. 360 с.
4. Анищенко В.С. Синхронизация регулярных, хаотических и стохастических колебаний. / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, Г.И. Стрелкова. М.-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2008. 144 с.
5. Анищенко В.С. Генератор квазипериодических колебаний. Бифуркация удвоения двумерного тора / В.С. Анищенко, С.М. Николаев // Письма в ЖТФ. Том 31. 2005. С.88-94.
6. Anishchenko V. Winding number locking on a two-dimensional torus: Synchronization of quasiperiodic motions / V. Anishchenko, S. Nikolaev, J. Kurths // Phys. Rev. E. Vol. 73. 2006. P. 056202.
7. Анищенко В.С. Механизмы синхронизации резонансного предельного цикла на двумерном торе / В.С. Анищенко, С.М. Николаев, J. Kurths // Нелинейная динамика. 2008. Т. 4. № 1. С. 39-56.
8. Anishchenko V. Bifurcational mechanisms of synchronization of a resonant limit cycle on a two-dimensional torus / V. Anishchenko, S. Nikolaev, J. Kurths // Chaos. 2008. Vol. 18. P. 037123.
9. Anishchenko V. Phase dynamics of two coupled oscillators under external periodic force / V. Anishchenko, S. Astakhov, T. Vadivasova // Europhysics Letters. 2009. Vol. 86. P. 30003.
10. Анищенко В.С. Численное и экспериментальное исследование внешней синхронизации двухчастотных колебаний / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.В. Феоктистов // Нелинейная динамика. 2009. Т. 5. № 2. С. 237-252.
11. Kuznetsov A.P. A simple autonomous quasiperiodic self-oscillator / A.P. Kuznetsov, S.P. Kuznetsov, N.V. Stankevich // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation/ Vol. 15. 2010. P. 1676-1681.
12. Кузнецов А.П. Синхронизация и многочастотные колебания в цепочке фазовых осцилляторов / А.П. Кузнецов, И.Р. Сатаев, Л.В. Тюрюкина // Нелинейная динамика. Том 6. 2010. №4. С. 693-717.
13. Кузнецов А.П. Вынужденная синхронизация двух связанных автоколебательных осцилляторов Ван дер Поля / А.П. Кузнецов, И.Р. Сатаев, Л.В. Тюрюкина // Нелинейная динамика. 2011. Т. 7. №3. С.411-425.
14. Emelianova Yu.P. Synchronization and multi-frequency oscillations in the low-dimensional chain of the self-oscillators / Yu.P. Emelianova, A.P. Kuznetsov, I.R. Sataev, L.V. Turukina // Physica D. Vol. 244. 2013. № 1. P. 36-49.
15. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. М.: Физматлит, 2006. 355 с.
16. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах / В.С. Анищенко. М.: Изд. группа URSS, 2009. 320 с.
17. Postnov D.E. Transition to synchronized chaos via suppression of the natural dynamics / D.E. Postnov, A.G. Balanov, O.V. Sosnovtseva // Physics Letters A. Vol. 283. 2001. Issues 3-4. P. 195-200.
18. Camparo J.C. Attractor geometry of a quasiperiodically perturbed, two-level atom / J.C. Camparo, R.P. Frueholz // Phys. Rev. A. Vol. 43. 1991. № 1. P. 338-345.
19. Maistrenko V. Phase chaos in the discrete Kuramoto model / V. Maistrenko, A. Vasylenko, Yu. Maistrenko, E. Mosekilde // International Journal of Bifurcation and Chaos. Vol. 20. 2010. Issue 6. P. 1811.
20. Linsay P.S. Three-frequency quasiperiodicity, phase locking and the onset of chaos / P.S. Linsay, A.W. Cumming // Physica D. Vol. 40. 1989. P. 196-217.
21. Ashwin P. Unfolding the torus: oscillator geometry from time delays / P. Ashwin, J.W. Swift // Journal of Nonlinear Science. Vol. 3. 1993. P. 459-475.
22. Moon F.C. Double Poincaré sections of a quasi-periodically forced, chaotic attractor / F.C. Moon, W.T. Holmes // Physics Letters A. Vol. 111. 1985. Issue 4. P. 157-160.
23. Virgin L.N. An Experimental Nonlinear Oscillator Subject to Two-frequency Excitation / L.N. Virgin, J.M. Nichols // Proceeding of IMAC-XXV: Conference & Exposition on Structural Dynamics. <http://Sem-proceedings.com/25i/sem.org-IMAC-XXV-s33p02-An-Experimental-Nonlinear-Oscillator-Subject-Two-frequency-Excitation.pdf>

24. Kuznetsov A.P. Nonautonomous dynamics of coupled van der Pol oscillators in the regime of amplitude death / A.P. Kuznetsov, E.P. Seleznev, N.V. Stankevich // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. Vol. 17 – 2012. – No. 9. P. 3740-3746.

25. Grebogi C. Strange attractors that are not chaotic / C. Grebogi, E. Ott, S. Pelikan, J.A. Yorke // Physica D. Vol. 13 1984. № 1, 2. P. 261-268.

26. Кузнецов С.П. Странный нехаотический аттрактор / С.П. Кузнецов, А.С. Пиковский, У. Фойдель // Нелинейные волны – 2004 / под ред. А.В. Гапонова-Грехова и В.И. Некоркина. Н. Новгород: ИПФ РАН, 2005. С. 484-509.

27. Kim S. Simultaneous rational approximations in the study of dynamical systems / S. Kim, S. Ostlund // Phys. Rev. A. 1986. Vol. 34. No. 4. P. 3426-3434.

Кузнецов Александр Петрович – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН

Alexandr P. Kuznetsov – Dr. Sc., Professor, Leading Researcher: Institute of Radio-Engineering and Electronics at the Russian Academy of Sciences (Saratov Branch)

Попова Елена Сергеевна – аспирант кафедры «Динамическое моделирование и биомедицинская инженерия» Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Elena S. Popova – Postgraduate Department of Dynamical Simulation and Biomedical Engineering, Gagarin Saratov State University

Селезнев Евгений Петрович – доктор физико-математических наук, заместитель директора Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН

Evgeniy P. Seleznev – Dr. Sc., Deputy Director: Institute of Radio-Engineering and Electronics at the Russian Academy of Sciences (Saratov Branch)

Станкевич Наталия Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Радиотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Natalia V. Stankevich – Ph.D., Associate Professor Department of Radio Engineering, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 16.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 681.586.672

А.В. Лашков

О ВЛИЯНИИ НЕРАВНОМЕРНОГО НАГРЕВА ЛИНЕЙКИ ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА РАСПОЗНАВАНИЕ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Рассмотрено применение термокаталитических датчиков для формирования газоаналитических мультисенсорных систем. Обсуждено влияние неравномерного нагрева линейки датчиков на качество распознавания газовых смесей. Приведен сравнительный анализ результатов детектирования, полученных при различных температурных режимах работы датчиков.

Термокаталитический датчик, мультисенсорная система, неравномерный нагрев

A.V. Lashkov

NON-UNIFORM HEATING IMPACT OF THERMOCATALYTIC SENSORS ON GAS MIXTURE DETECTION

The author considers the usage of catalytic combustion sensors in designing gas-analytical multi-sensor systems. The impact of non-homogeneous heating of sensor array on the

quality of gas mixture recognition is considered. Comparative analysis is provided for the identification results obtained under the various temperature conditions used for sensor operations.

Catalytic combustion sensor, multi-sensor array, non-homogeneous heating

В настоящее время, все большую популярность в детектировании газовых смесей приобретают газоаналитические мультисенсорные системы, которые формируются на основе линейки датчиков [1, 2]. Сенсоры (или датчики) представляют собой элементы, которые благодаря своим химическим и физико-электрическим свойствам, преобразуют воздействие молекул газа в электрический сигнал. Наиболее широкое применение в мультисенсорных приборах получили расположенные на единой подложке полупроводниковые сенсоры, которые изготавливаются по единой технологии, но имеющие индивидуальные газочувствительные способности [3]. Известно, что для каждой газовой смеси существует своя температура нагрева полупроводникового материала, при которой можно получить наибольший сенсорный отклик [4]. Поэтому, в работе мультисенсорных систем для повышения качества распознавания газов применяют неравномерный нагрев сенсоров [5].

Целью проведенной работы было изучение влияния неравномерного нагрева линейки термокаталитических датчиков на газораспознавательную способность мультисенсорных систем, построенных на их основе.

Термокаталитические датчики представляют собой газочувствительный элемент, преобразующий каталитическую активность на поверхности датчика под воздействием горючих газов в изменение электрической проводимости платиновой спирали внутри датчика. Состав термокаталитического датчика включает пару платиновых спиралей с нанесенным поверх них керамическим слоем [6]. Объединенный массив спирали и керамики принято называть пеллистором. Один из пеллисторов пропитан каталитическим раствором, второй остается без пропитки и служит для компенсации изменений окружающей среды.

В наших исследованиях по применению термокаталитических датчиков в мультисенсорных системах были использованы только пропитанные каталитическим раствором газочувствительные элементы.

Ранее мы показали возможность применения термокаталитических датчиков для формирования на их основе мультисенсорных систем. Главной причиной индивидуальных, не повторяющихся от датчика к датчику характеристик, является неоднородность пропитки пеллисторов, что предположительно являлось следствием различной их пористости, доказанной в ходе проведения анализа микроструктуры поверхности пеллистора методом атомно-силовой микроскопии. Исследования проводились на атомно-силовом микроскопе NT-MDT в полуконтактном режиме. Обнаружено, что образцы состоят из агломерированных частиц с размерами от 100 нм до 1 мкм, а межчастичные промежутки образуют поры (рис. 1).

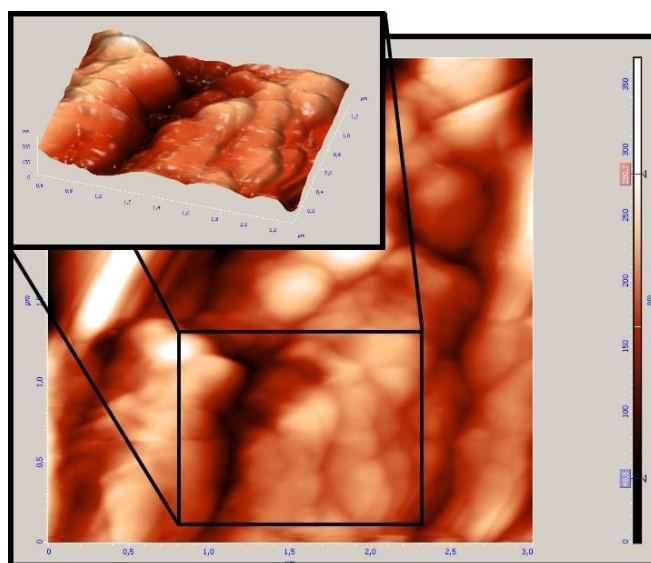


Рис. 1. Изображение поверхности пеллистора площадью 3×3 мкм, полученное на атомно-силовом микроскопе NT-MDT. На врезке представлена 3D модель поверхности пеллистора площадью $0,5 \times 1$ мкм

Экспериментальное оборудование для изучения влияния неравномерного нагрева термокаталитических датчиков на газораспознавательную способность построенной мультисенсорной системы включало установку для подачи паров жидкостей (ацетон, этанол), мультисенсорную плату с установленной линейкой из шести термокаталитических датчиков, а также мультиметр Keithley 2000 со сканерной платой. Структурная схема мультисенсорной платы включала в себя регулируемые стабилизаторы тока, обеспечивающие электропитанием каждый датчик индивидуально (рис. 2). Под воздействием газов сопротивление датчиков меняется, что приводит к изменению измеряемых значений напряжений. Значения напряжений с датчиков последовательно передавались через сканерную плату в оперативную память мультиметра. Мультисенсорная плата с датчиками была помещена в пластиковую емкость объемом 750 мл., в которую через систему трубок осуществлялся напуск паров веществ (рис. 3). Пары высокой концентрации ацетона и этанола были получены барботированием соответствующих растворов.

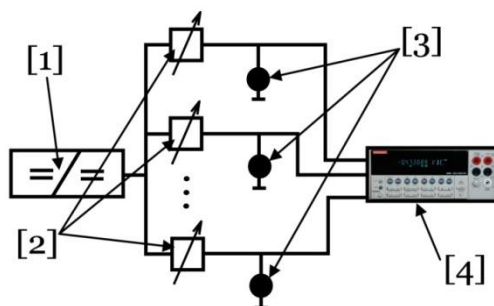


Рис. 2. Структурная схема мультисенсорной платы: 1 – стабилизатор напряжения; 2 – подстраиваемые стабилизаторы тока; 3 – пеллисторы; 4 – мультиметр Keithley 2000

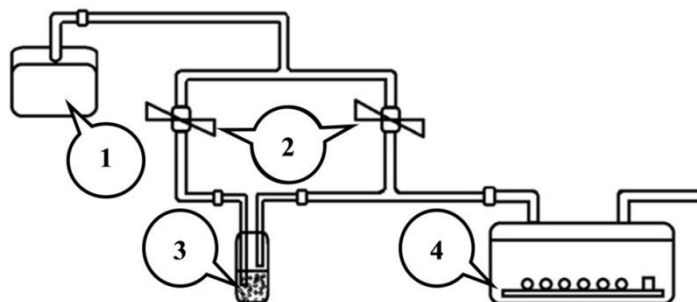


Рис. 3. Экспериментальный стенд: компрессор (1), регулировочные вентили (2), барботер с жидкостью (3), ёмкость с мультисенсорной платой

Температура нагрева чувствительного элемента зависела от силы тока, протекающей через платиновую спираль датчика (рис. 4). В первой части эксперимента сила тока на всех датчиках была одинакова (90 мА), во второй был осуществлен неравномерный нагрев чувствительных элементов: на датчики попарно подавался ток в 70, 90 и 110 мА.

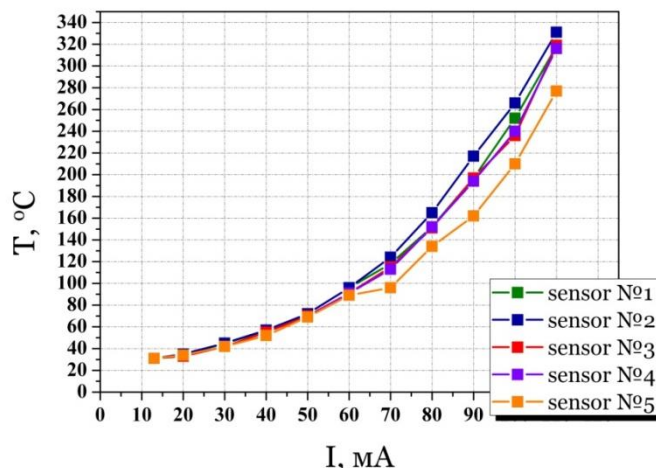


Рис. 4. Зависимость температуры нагрева датчиков от значения силы тока через нагреватель. Измерения выполнены на воздухе

Электропитание на датчики подавалось за 15 мин перед каждым напуском паров с целью измерения сигнала в стационарных условиях. Измерение значений сигналов сенсоров начиналось через пять минут после начала напуска газа, что было достаточно для заполнения ёмкости парами. Величина напряжений регистрировалась с частотой 1 Гц.

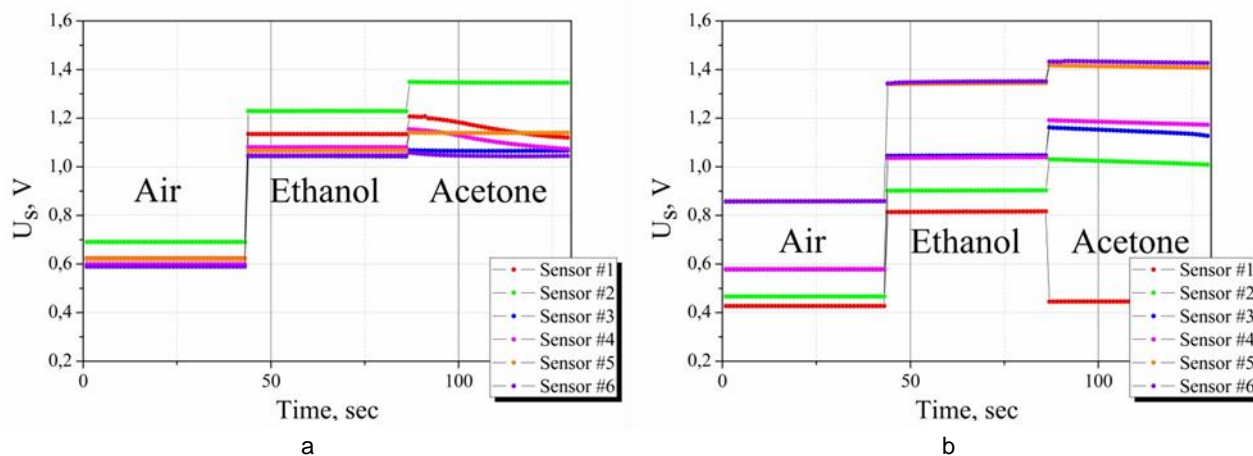


Рис. 5. Величина значений напряжений на линейке термокаталитических датчиков с равномерным (а) и неравномерным нагревом (б)

Было получено по 43 измерения напряжения при воздействии каждой газовой смеси (рис. 5). Из графиков видно, что при различных режимах работы реакция датчиков в присутствии горючих паров существенно различается. Разница между значениями напряжений датчиков под номерами 1 и 2 во втором случае (рис 5. график **б**) больше по сравнению с разницей значений напряжений этих датчиков в первом случае (рис. 5 график **а**). Кроме того, рассматриваемые датчики продемонстрировали снижение интенсивности реакции показанной ими ранее при силе тока 90 мА. Датчик №2 существенно снизил значения напряжения при реакции на ацетон, что является следствием низкой температуры датчика при значении силы тока в 70 мА, в результате чего реакция окисления проходила менее интенсивно. Величины напряжений 3-го и 4-го датчиков в обоих случаях одинаковы, поскольку сила тока в них осталась неизменной. Датчики под номерами 5 и 6 при повышении значения силы тока до 110 мА стали выдавать более близкие друг к другу значения напряжений. Все эти изменения были получены в совокупном влиянии двух факторов: глубины пропитки пеллисторов и температуры их нагрева.

Значения сигналов датчиков были обработаны с помощью линейно-дискриминантного анализа, встроенного в программный комплекс MINOS (KIT, Германия) [7]. Измерения, характеризующие каждый газ, разбивались на две группы: обучение и распознавание, по 23 и 20 точек, соответственно. Уровень значимости при обучении был равен 0,999. В ходе обработки были получены фазовые пространства, наглядно демонстрирующие межкластерные расстояния в случаях равномерного и неравномерного нагрева датчиков (рис. 6). Евклидово расстояние между центрами кластеров смесей газов для случая равномерного нагрева составляет 201,7 ед. (этанол-воздух), 755,6 ед. (ацетон-воздух), 582 ед. (этанол-ацетон). В случае неравномерного нагрева расстояния равны 1960,6 ед. (этанол-воздух), 2205,3 ед. (ацетон-воздух), 4064 ед. (этанол-ацетон).

При рассмотрении полученных фазовых пространств можно заметить, что межкластерные расстояния выросли на порядок. При этом качество распознавания осталось прежним, о чем свидетельствуют точки, вычисленные в ходе детектирования газов. Каждая точка в фазовом пространстве, полученная при неравномерном нагреве сенсоров, имеет принадлежность к одному из кластеров, что аналогично случаю с равномерным нагревом. Единственным исключением являлись семь точек, не вошедшие в кластер, соответствующий этанолу (рис. 6, б). Это объясняется недостаточным количеством используемых в обучении точек и может быть улучшено при увеличении количества статистических данных.

Полученные результаты продемонстрировали качественное улучшение распознавательной способности мультисенсорной системы на основе термокаталитических датчиков при использовании неравномерного нагрева чувствительных элементов. Применение неравномерного нагрева позволяет добиться более существенного различия между сенсорными сигналами, полученными к различным газовым смесям.

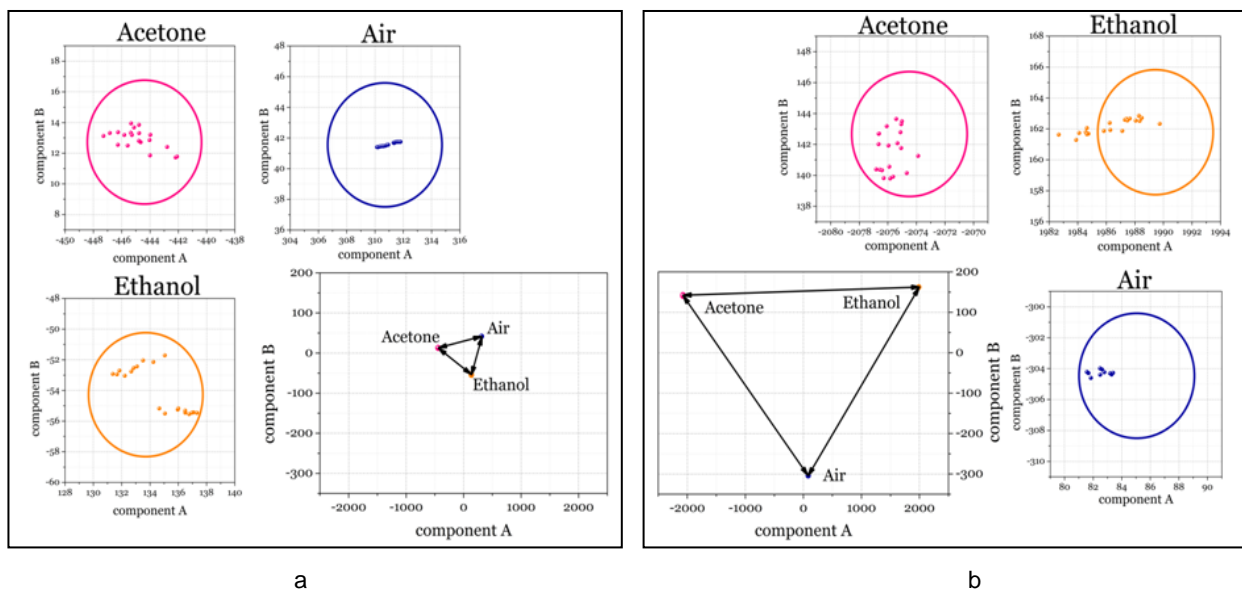


Рис. 6. Результаты обработки сигналов мультисенсорной линейки термокаталитических датчиков с помощью линейно-дискриминантного анализа: а – режим работы, при котором нагрев датчиков одинаков; б – режим работы, при котором осуществлялся неравномерный нагрев датчиков. Двусторонними стрелками показаны евклидовы расстояния между кластерами, характеризующими сигнал линейки датчиков к тестовым газам (этанол, ацетон) и воздуху

Автор благодарит сотрудников НИЦ «Газотрон-С» за термокаталитические датчики, предоставленные для проведения исследований, сотрудников группы проф. Мошникова В.А. (ЛЭТИ) за содействие в проведении исследований, а также научного руководителя проф. Сысоева В.В. за постановку задачи и обсуждение полученных результатов. Исследование частично поддержано грантами Министерства образования и науки РФ, соглашения № 14.В37.21.1219, и № 1201252751.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сысоев В.В. Газоаналитические приборы «электронный нос» / В.В. Сысоев, В.Ю. Мусатов // Саратов: Саратовский государственный технический университет. 2011. С. 100.
2. Сысоев В.В. Мультисенсорные системы распознавания газов типа «электронный нос»: краткий обзор литературы / В.В. Сысоев, Ю.А. Зюрюкин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 2(24). Вып. 1. С. 111-119.
3. Сысоев В.В. Применение мембранного покрытия SiO_2 для дифференциации локальных газочувствительных свойств пленки $\text{SnO}_2:\text{Pt}$ в составе однокристалльных мультисенсорных систем / В.В. Сысоев, И.В. Киселев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. № 3(67). С. 50-65.
4. Рембеза С.И. Нужен ли человечеству искусственный нос? / С. И. Рембеза // Природа. 2005. № 2. С. 5-12.
5. Sysoev V.V. The temperature gradient effect on gas discrimination power of metal-oxide thin-film sensor microarray / V.V. Sysoev, I. Kiselev, M. Frietsch, J. Goschnick // Sensors. 2004. Vol. 4. P. 37-46.
6. Рязанов А.В. Чувствительные элементы на основе литого микропровода / А.В. Рязанов, А.Н. Докичев // Датчики и системы. 2007. №11. С. 42-45.
7. Scott S.M. Data analysis for electronic nose systems: review / S.M. Scott, D. James, Z. Ali // Microchim. Acta. 2007. № 156. P. 183-207.

Лашков Андрей Витальевич –
аспирант кафедры «Физика»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Andrey V. Lashkov –
Postgraduate
Department of Physics,
Gagarin State Technical University

Статья поступила в редакцию 16.02.13, принята к опубликованию 20.02.13

Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЧАСТНОЙ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ ДЛЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПЕРЕЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С НИЗКОЙ ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЫ В ТОЧКУ L1 СИСТЕМЫ «ЗЕМЛЯ-ЛУНА»

Рассмотрены ключевые подходы решения частного случая ограниченной задачи трех тел. Указаны условия и ограничения, при которых решение поставленной задачи будет иметь наибольшее практическое значение и максимально приближенное к реальности.

Математическое моделирование, баллистический анализ, точка либрации, система «Земля-Луна», ограниченная задача трех тел

Yu.A. Okishev, Yu.V. Klinaev

BASIC APPROACHES TO SOLVING THE THREE BODIES PROBLEM FOR THE BALLISTIC ANALYSIS OF THE LOW-EARTH ORBIT TO THE L1 POINT FLIGHT OF THE «EARTH-MOON» SPACECRAFT

The article reviews the key approaches to the solution of the particular case of the three bodies problem. Conditions and limits are indicated under which the solution to the problem could be maximally close to the real life and have a great practical value.

Mathematical modeling, ballistic analysis, libration point, the «Earth-Moon» system, restricted three-body

Несмотря на то, что в двадцатом веке вопросы исследования Луны были рассмотрены достаточно широко, вплоть до забора грунта, доставки его на Землю и высадки астронавтов, по-прежнему, задачи, связанные с изучением Луны в иных аспектах, остаются актуальными. Забор и доставка на Землю вещества поверхности Луны из разных ее районов могут оказаться весьма полезными для геохимиков, изучающих строение верхней мантии Земли [1]. Реализация этих и других исследовательских экспериментов предусматривает обеспечение доставки космических аппаратов в заданные точки окололунного пространства с высокой степенью точности и надёжности.

Таким образом, мы приходим к задаче баллистического анализа перелета с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы Земля-Луна. Эта задача является частным случаем ограниченной задачи трех тел, т.к. на космический аппарат (КА) оказывают существенное влияние Земля и Луна. Необходимость решения задачи трех тел вызвана реализацией в 60-е гг. XX века Лунной программы и полетов Земля-Луна-Земля. В качестве рассматриваемых трех тел принимаются КА, Луна и Земля.

Основной задачей небесной механики со времен Ньютона является осуществление возможности определять положение и скорость интересующего нас небесного тела для всякого момента времени. Для решения этой задачи Кеплер создал теорию невозмущенного (кеплерова) движения, а Ньютон разработал основные методы теории возмущений. Знаменитый Леонард Эйлер, – создатель одной из первых теорий движения Луны, ввел в обиход небесной механики так называемую ограниченную задачу трех тел.

Подробно решению задачи трех тел посвящена фундаментальная работа В. Себехея «Теория орбит: ограниченная задача трех тел» [2], в которой рассмотрены основные принципы и методики аналитического и численного решения задач. Разумеется, уровень научных достижений, затрагиваемых в этой книге, соответствует эпохе ее создания, т.е. 60-м годам двадцатого столетия. С тех пор небесная механика и ее приложения получили широкое развитие, и эти новые результаты, естественно, не нашли отражения в книге Себехея. Однако автор подробно рассмотрел все стороны этой задачи, искусно связывая их друг с другом, получая, таким образом, единую стройную теорию.

Задача двух неподвижных центров хорошо известна со времен Эйлера, Лагранжа и Якоби. Впервые эту задачу для случая плоского движения исследовал и свел к квадратурам Эйлер. Поэтому

ее также называют задачей Эйлера. Лагранж и Якоби показали интегрируемость задачи в пространственном случае и сделали ряд обобщений.

Но несмотря на интегрируемость, практическое приложение этой задачи на данный момент незначительно [3].

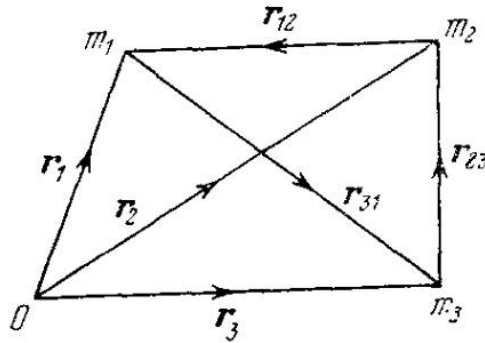


Рис. 1. Общая задача трех тел

Общую задачу трех тел можно сформулировать следующим образом: три частицы произвольной массы притягиваются друг к другу согласно ньютоновскому закону гравитации. Начальное движение их задано, и они могут занимать любое положение в пространстве (рис. 1). Требуется найти их движение.

Различие между общей задачей трех тел и ограниченной задачей заключается, прежде всего, в том, что в ограниченной задаче массы только двух частиц являются произвольными, третья масса намного меньше двух первых. В общей задаче допускаются любые начальные условия для трех частиц, тогда как в ограниченной задаче требуется, чтобы точки конечной массы двигались по круговым орбитам.

На рис. 1 приводятся обычные обозначения. Массы трех тел: m_1, m_2, m_3 , а радиус-векторы через $r_1(q_1, q_2, q_3), r_2(q_4, q_5, q_6), r_3(q_7, q_8, q_9)$. Векторы, идущие от одной массы к другой, равны

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2, \vec{r}_{23} = \vec{r}_2 - \vec{r}_3, \vec{r}_{31} = \vec{r}_3 - \vec{r}_1, \quad (1)$$

а расстояния между массами m_1, m_2 и m_3 равны

$$\begin{aligned} |\vec{r}_{12}| &= \left[(q_1 - q_4)^2 + (q_2 - q_5)^2 + (q_3 - q_6)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ |\vec{r}_{23}| &= \left[(q_4 - q_7)^2 + (q_5 - q_8)^2 + (q_6 - q_9)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ |\vec{r}_{31}| &= \left[(q_7 - q_1)^2 + (q_8 - q_2)^2 + (q_9 - q_3)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (2)$$

Силовая функция имеет вид

$$F = f \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{|\vec{r}_{12}|^2} + \frac{m_2 \cdot m_3}{|\vec{r}_{23}|^2} + \frac{m_3 \cdot m_1}{|\vec{r}_{31}|^2} \right), \quad (3)$$

где f – гравитационная постоянная.

Уравнение движения запишем в виде

$$m_i \cdot \ddot{r}_i = \frac{\partial F}{\partial r_i}, i = 1, 2, 3. \quad (4)$$

Таким образом, имеем систему трех дифференциальных векторных уравнений второго порядка относительно векторов \vec{r}_i или систему девяти скалярных уравнений второго порядка относительно координат q_i . Получающаяся результирующая система восемнадцатого порядка указывает на довольно сложный характер общей задачи трех тел. В подробном виде уравнения (4) записываются следующим образом:

$$\begin{aligned}\ddot{r}_1 &= -f \cdot m_2 \cdot \frac{r_1 - r_2}{|r_1 - r_2|^3} + f \cdot m_3 \cdot \frac{r_3 - r_1}{|r_3 - r_1|^3} \\ \ddot{r}_2 &= -f \cdot m_3 \cdot \frac{r_2 - r_3}{|r_2 - r_3|^3} + f \cdot m_1 \cdot \frac{r_1 - r_2}{|r_1 - r_2|^3} \\ \ddot{r}_3 &= -f \cdot m_1 \cdot \frac{r_3 - r_1}{|r_3 - r_1|^3} + f \cdot m_2 \cdot \frac{r_2 - r_3}{|r_2 - r_3|^3}\end{aligned}\quad (5)$$

Система восемнадцатого порядка может быть сведена к системе шестого порядка, и это совсем не тривиальное приведение является одной из важных процедур, рассматриваемых в классической литературе по общей задаче трех тел, что было наилучшим образом выполнено Лагранжем в 1772 г. [4].

Предполагая, что $m_3 \rightarrow 0$ и не оказывает влияния на движения масс m_1 и m_2 , переходим к ограниченной задаче трех тел и уравнение движения примет вид:

$$\ddot{r}_3 = -f \cdot m_1 \cdot \frac{r_3 - r_1}{|r_3 - r_1|^3} + f \cdot m_2 \cdot \frac{r_2 - r_3}{|r_2 - r_3|^3} . \quad (6)$$

Точки либрации – особые точки в ограниченной задаче трех тел, в которых третье тело с пренебрежимо малой массой, на которое не действуют никакие другие силы, кроме гравитационных сил со стороны этих двух массивных тел, может оставаться неподвижным относительно этих тел. Таких точек в окрестности двух массивных тел пять (рис. 2). Точки Лагранжа обозначают заглавной латинской буквой L с числовым индексом от 1 до 5.

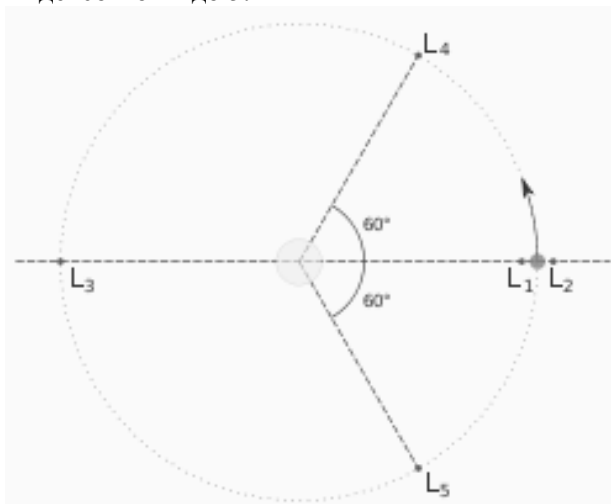


Рис. 2. Положение точек либрации в окрестности двух массивных тел

Все точки Лагранжа лежат в плоскости орбит массивных тел. Первые три точки расположены на линии, проходящей через оба массивных тела. Эти точки Лагранжа называются коллинеарными и обозначаются L1, L2 и L3.

L1 находится между двумя телами системы, ближе к менее массивному телу, L2 – снаружи, за менее массивным телом и L3 – за более массивным.

Ещё две точки (L4 и L5) расположены в вершинах равносторонних треугольников с основанием, совпадающим с отрезком, соединяющим два массивных тела. Если масса одного из этих тел много меньше массы другого, точки L4 и L5 расположены на орбите менее массивного тела, на 60° впереди и позади него. Эти точки называют треугольными или троянскими.

В настоящее время несколько космических аппаратов, в первую очередь, астрофизических обсерваторий, размещены в различных точках либрации Солнечной системы:

1. SOHO (англ. Solar and Heliospheric Observatory, «Солнечная и гелиосферная обсерватория») находится на орбите в точке L1 системы «Солнце-Земля».
2. WMAP (англ. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), изучающий реликтовое излучение в точке L2 системы «Солнце-Земля».
3. Advanced Composition Explorer расположен в точке L1 системы «Солнце-Земля».

4. Телескоп «Гершель» и телескоп «Планк», запущенные 14 мая 2009 года, находятся в точке L2 системы «Солнце-Земля».

5. Космический аппарат WIND, предназначенный для исследования солнечного ветра. Аппарат запущен в 1994 году и функционирует в настоящее время, находится в точке L1 системы «Солнце-Земля».

Точка L_1 системы Земля-Луна удобна для размещения ретрансляционной станции или орбитальной базы обслуживания и заправки в период освоения Луны. Она будет находиться в зоне прямой видимости для большей части обращенного к Земле полушария Луны, а для связи с ней понадобятся передатчики в десятки раз менее мощные, чем для связи с Землей.

Так как КА в точке либрации неподвижен относительно двух тел, очевидно, что правая часть уравнения (6) равна нулю. Задача баллистического анализа перелета с низкой околоземной орбиты в точку либрации сводится к поиску суммарного импульса скорости КА. Оптимальным перелетом будем считать решение с минимальным суммарным импульсом скорости.

Основные математические методы, используемые при решении задач небесной механики – методы Адамса, Рунге, Штурмера, Коуэлла, Нумерова и др. Для нахождения промежуточных и периодических орбит ограниченной или общей задачи трех тел используются разнообразные методы, например Пуанкаре, Ляпунова, Шварцшильда и др. [5]

О сокращении времени интегрирования движения с помощью принципа Рунге рассмотрено в [6].

Коллинеарные точки либрации являются неустойчивыми, поэтому при решении задачи стоит обратиться к методу общей теории устойчивости движения, разработанному А.М. Ляпуновым. Этот метод позволяет установить, будет ли исследуемое движение устойчивым или оно, наоборот, окажется неустойчивым, а также позволяет установить связь между начальными и последующими отклонениями (возмущениями), не производя самого интегрирования уравнения движения ни в аналитической форме, ни численными методами. Проблема устойчивости коллинеарных точек либрации является интересной и актуальной на данный момент, ей уделено серьезное внимание научным сообществом [7].

(Проблему устойчивости точек либрации подробно рассматривает Крейсман Б.Б.: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15108447>, <http://elibrary.ru/item.asp?id=16525565>, <http://elibrary.ru/item.asp?id=17313008>).

Данный вопрос в рамках исследуемой задачи не обсуждается.

В рассматриваемой проблеме стоит обратить внимание на функциональный метод Ньютона применительно к решению краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений, который заключается в замене на каждом шаге итерационного процесса исходной нелинейной системы на линейную и решении краевой задачи для последней [8].

В решении задачи интегрирования уравнений движений стоит обратить внимание на два метода [9]:

1. Метод численного интегрирования, использующего опорную траекторию и линеаризацию уравнений движения относительно фазовых переменных этой траектории.

2. Метод дополнительных переменных, приводящий исходную систему уравнений к некоторой эквивалентной системе с правыми частями, имеющими вид полиномов от фазовых переменных.

Сущность первого метода состоит в замене переменных исходной системы уравнений на другие переменные, причем формулы перехода от старых к новым используют знание параметров некоторой опорной траектории и построении на ней сопряженной системы уравнений в вариациях. Переход к новым переменным дает выигрыш в скорости численного интегрирования системы уравнений движения каким-либо стандартным методом (например, Эйлера, Рунге-Кутты) по сравнению с интегрированием системы в старых переменных.

Второй метод не является численным. Суть его – введение дополнительных переменных, в результате чего, правые части уравнений движения становятся многочленами от фазовых переменных, однако порядок системы в общем случае увеличивается.

Для снижения количества топлива КА для стабилизации в точке либрации необходимо обратить внимание, что точка L_1 коллинеарная и неустойчивая, отсюда рождаются требования к точности расчета суммарного импульса скорости, а также крайне необходимо учесть все возмущающие факторы и особенности системы «Земля-Луна». Таким образом, математическое моделирование баллистического анализа перелета космического аппарата с низкой околоземной орбиты в точку L_1 системы «Земля-Луна» можно свести к поиску оптимального решения ограниченной задачи трех тел (6) с определенными особенностями:

1. Прецессия орбиты Луны и, как следствие, изменения наклона с периодичностью в 18,6 лет. (Первым про прецессию орбиты Луны сообщил Дж. Брайдлей (<http://www.eduhmao.ru/var/db/files/3257.su9.pdf>). Впервые свои исследования он представил Лондонскому Королевскому Обществу в 1748 году.)

2. Нецентральность поля тяготения Земли. При этом учитывать в качестве основного возмущения вторую зональную гармонику [10]. Для этой гармоники, характеризующей полярное сжатие Земли, потенциал сил притяжения имеет вид

$$U_{\text{сж}} = -\frac{\varepsilon}{3r^3} (3 \cdot \sin^2 i \cdot \sin^2 u - 1), \quad (7)$$

где $\varepsilon = 2,634 \cdot 10^{13} \text{ м}^5/\text{с}$ – константа, определяющая сжатие Земли, r – текущий радиус КА, i – наклонение орбиты, u – аргумент перигея.

Составляющие возмущающего ускорения, обусловленного (7), определяют соотношениями:

$$\begin{aligned} S &= \frac{\partial U_{\text{сж}}}{\partial r} = \frac{\varepsilon}{r^4} \cdot (3 \cdot \sin^2 i \cdot \sin^2 u - 1) \\ T &= \frac{1}{r} \frac{\partial U_{\text{сж}}}{\partial u} = \frac{\varepsilon}{r^4} \sin^2 i \cdot \sin 2u \\ W &= \frac{1}{r \cdot \sin u} \frac{\partial U_{\text{сж}}}{\partial r} = -\frac{\varepsilon}{r^4} \cdot (\sin 2i \cdot \sin u) \end{aligned} \quad (8)$$

где S – радиальная составляющая, T и W – трансверсальная и бинормальная составляющие возмущающего ускорения. Стоит учитывать интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентральности поля планеты [11].

3. Нецентральность гравитационного поля Луны [12]. Но стоит учесть, что Луна обращена к Земле всегда одной стороной.

4. Гравитационное влияние Солнца. Т.к. орбита Земли имеет эллиптическую форму, выбор даты старта может повлиять на суммарный импульс скорости. А также при определенных условиях влияние Солнца может как «помогать» перелету, снижая импульс скорости, так и, наоборот, увеличивая в зависимости от выбора узловой точки старта. В качестве приближения следует считать, что в выбранном для анализа промежутке времени влияние Солнца постоянно.

По итогам решения необходимо оценить устойчивость КА точке либрации L1 системы «Земля-Луна»

Решая ограниченную задачу трех тел с учетом вышеуказанных особенностей, получим максимально приближенное к действительности решение для перелета КА с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля-Луна».

ЛИТЕРАТУРА

1. Энеев Т.М.. Актуальные задачи исследования дальнего Космоса / Т.М. Энеев // Космические исследования. 2005. Т. 43. №6. С. 403-407.
2. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел. / В. Себехей; пер. с англ. под ред. Г.Н. Дубошина. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. 656 с.
3. Лукьянов Л.Г. Об обобщенной задаче двух неподвижных центров / Л.Г. Лукьянов // Космические исследования. 2006. Т. 44. № 2. С. 162-169.
4. Lagrange J. Mécanique Analytique. Paris: 1788. / Русский перевод: Лагранж Ж. Аналитическая механика. М.: Гостехиздат, 1950. Т. 1. 594 с. Т. 2. 440 с.
5. Дубошин Г.Н. Некоторые проблемы астродинамики и небесной механики / Г.Н. Дубошин, Д.Е. Охоцимский // Космические исследования. 1963. Т. 1. № 2. С. 195-208.
6. Чарный В.И. О сокращении времени интегрирования движения с помощью принципа Рунге / В.И. Чарный // Космические исследования. 1969. Т. 7. № 1. С. 87-95.
7. Крейсман Б.Б. Устойчивые пространственные орбиты «вокруг» коллинеарных точек либрации / Б.Б. Крейсман // Космические исследования. 2010 Т. 48. № 3. С. 271-278.
8. Винокуров В.А. Обобщенный метод Ньютона для решения краевых задач / В.А. Винокуров, Ю.Н. Иванов // Космические исследования. 1965 Т. 3. № 4. С. 234-248.
9. Чарный В.И. О двух методах интегрирования уравнений движения / В.И. Чарный // Космические исследования. 1970. Т. 8 № 5. С. 341-354.

10. Иванов Н.М. Баллистика и навигация космических аппаратов / Н.М. Иванов, Л.Н. Лысенко. М.: Дрофа, 2004. 544 с.
11. Лидов М.Л. Интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентрального поля планеты / М.Л. Лидов, М.В. Ярская // Космические исследования. 1974. Т. 12. № 2 С. 155-170.
12. Аким Э.Л. Определение поля тяготения Луны по движению искусственного спутника Луны «Луна-10» / Э.Л. Аким // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 4. С. 799-802.

Окишев Юрий Александрович – аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Yuri A. Okishev – Postgraduate Department of Technical Physics and Information Technology, Engels Institute of Technology: Part of Gagarin Saratov State Technical University

Клинаев Юрий Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Yuri V. Klinaev – Dr. Sc., Professor Department Technical Physics and Information Technology, Engels Institute of Technology: Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 02.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 517.958:532.5:536.25

А.С. Розов, В.Б. Байбури

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ТРАЕКТОРИЙ ЗАРЯДОВ В НЕОДНОРОДНОМ И НЕСТАЦИОНАРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Проведён анализ траектории заряда в неоднородном и нестационарном магнитном поле.

Скрещенные поля, уравнения движения

A.S. Rozov, V.B. Baiburin

MODELING AND CALCULATION OF THE CHARGE TRAJECTORIES IN A NON-HOMOGENEOUS AND TIME-DEPENDENT MAGNETIC FIELD

The article presents the analysis of the charge trajectories in a non-homogeneous and time-dependent magnetic field.

Cross fields, equations of motion

Проведённые в последние годы исследования хаотических свойств динамических систем самой различной природы выявили ряд эффектов имеющих как фундаментальную значимость, так и прикладную ценность [1-8].

Одними из важнейших объектов нелинейной динамики являются системы, устройства, процессы в которых связаны с движением зарядов в скрещенных электрических и магнитных полях. К таковым, в частности, относятся объекты астрофизики, магнитные ловушки, гиротроны, ускорители, усилители и генераторы сверхвысоких частот и гирочастот и др. Для указанных систем характерно многообразие видов действующих полей и пространственных особенностей областей взаимодействия [9-11].

При этом, как правило, необходимо рассчитать траектории движения зарядов в заданных скрещенных полях, определяющих механизм работы устройства на тех или иных режимах.

В [12] рассмотрены траектории в цилиндрическом пучке в условиях статического неоднородного магнитного поля с учётом полей пространственного заряда пучка. Интерес к цилиндрическим пучкам объясняется их присутствием в качестве основного элемента во многих приборах и устройствах: ЛБВ-О, ускорители элементарных частиц, устройства М-типа.

При этом впервые было показано, что в случае статического неоднородного по поперечному сечению пучка магнитного поля и при наличии плотности зарядов в пучке отличной от нуля, траектории зарядов в пучке в ряде режимов имеют хаотический характер. Было показано, что на неустойчивость траекторий зарядов существенное влияние оказывает пространственный заряд. В данной работе ставится задача расчёта траектории зарядов в пучке при воздействии переменного во времени магнитного поля.

Анализ проводился применительно к схеме, изображённой на рис. 1, где r_s – радиус пучка, $B_z(x, y, t)$ – индукция магнитного поля, E_z – электрическое поле вдоль оси пучка.

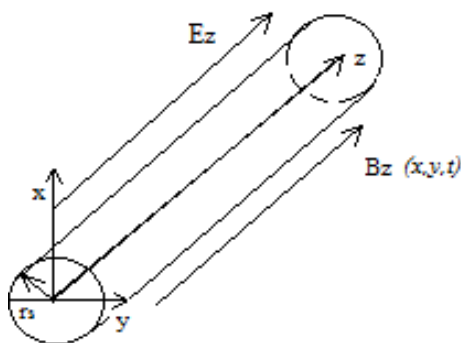


Рис. 1. Схема пучка

Применительно к схеме на рис. 1 уравнения движения заряда в декартовой системе координат имеют вид

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= \eta B_z \dot{y} \\ \ddot{y} &= \eta B_z \dot{x} \\ \ddot{z} &= \eta E_z\end{aligned}\quad (1)$$

$\eta = \frac{q}{m_0}$ – отношение заряда частицы к его массе. E_z – постоянное электрическое поле.

Рассмотрим следующие условия изменения магнитной индукции:

$$B_z = B_0 + \Delta B \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$B_z = B_0 + \Delta B \sin(\sqrt{x^2 + y^2}) \sin(\omega t) \quad (3)$$

где ω – частота изменения переменной компоненты магнитной индукции. Система уравнений (1) решалась численно, методом Рунге-Кутты IV порядка точности в безразмерных единицах [13] с учётом условий (2), (3) в отдельности.

Расчёты показали, что при учёте условия (2) траектории сохраняли регулярный вид для широкого диапазона величин ΔB и ω . Типичный вид траектории представлен на рис. 2, проекция плоскости X-Y – рис. 2а, трёхмерная проекция – рис. 2б.

Из рис. 2 видно, что даже при существенной неоднородности магнитного поля траектории сохраняют регулярный характер.

Характер траектории существенно меняется при учёте условия (3), что отражено на рис. 3-5. На рисунках соответственно представлены: проекция траектории в плоскости X-Y – рис. 3, на рис. 4 – трёхмерная проекция траектории, на рис. 5 – спектр мощности Фурье.

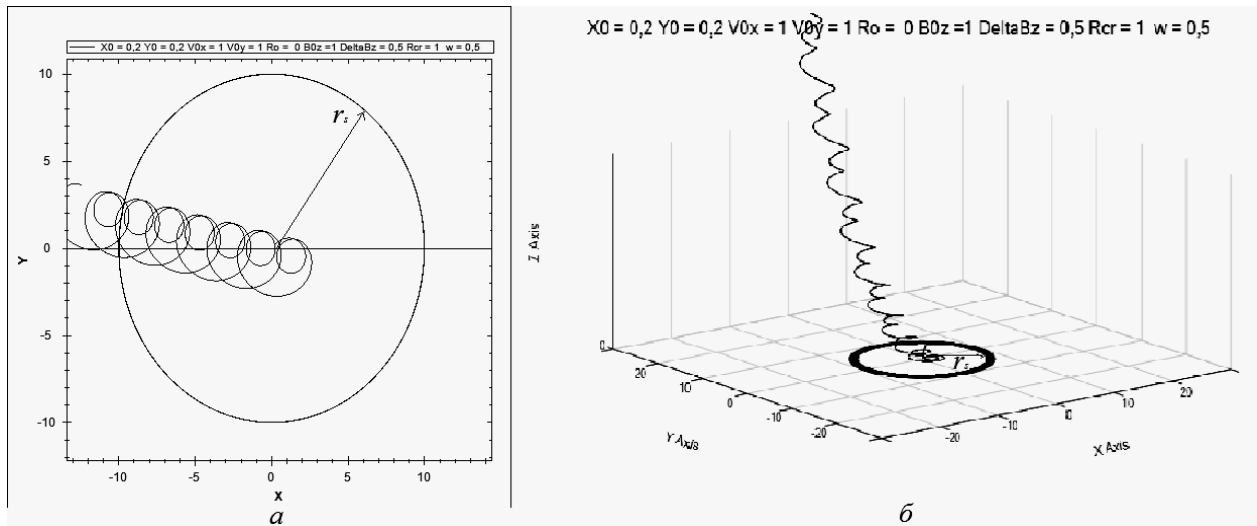


Рис. 2. Траектория заряда при $\rho = 0$ и нестационарном магнитном поле, проекция плоскости X-Y (а), трёхмерная проекция (б)

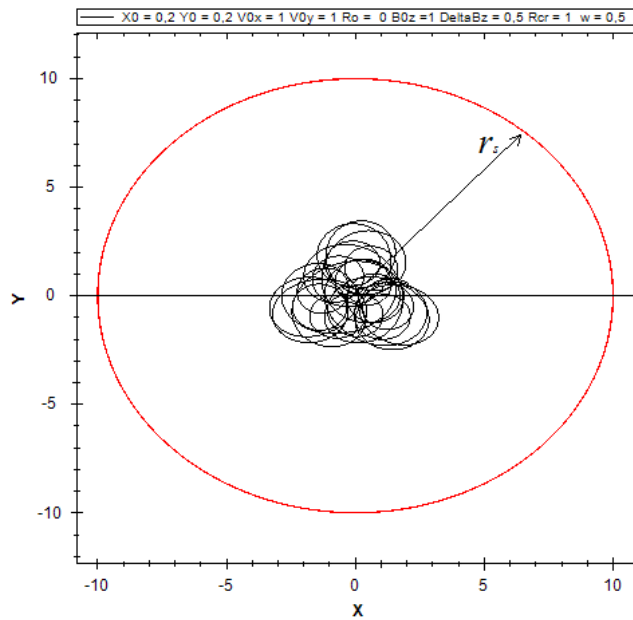


Рис. 3. Траектория заряда при $\rho = 0$, в неоднородном и нестационарном магнитных полях, $\frac{\Omega}{\omega} = 0,5$, $\Delta B = 0,5$ проекция плоскости X-Y

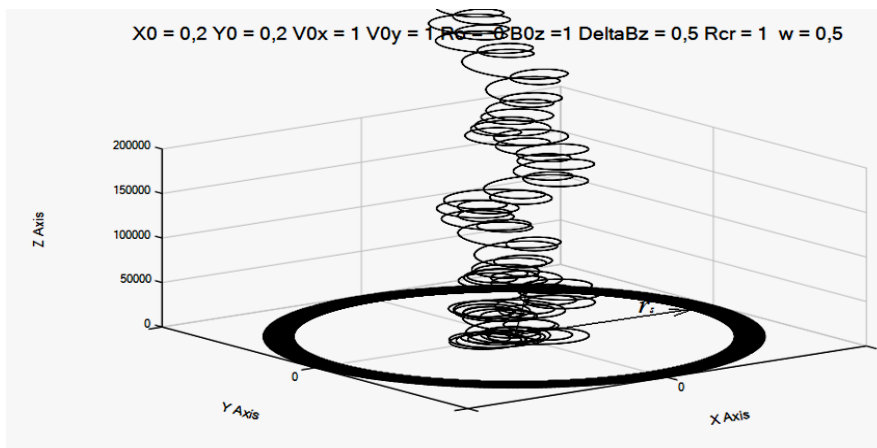


Рис. 4. Траектория заряда при $\rho = 0$, в неоднородном и нестационарном магнитных полях, $\frac{\Omega}{\omega} = 0,5$, $\Delta B = 0,5$ трёхмерная проекция

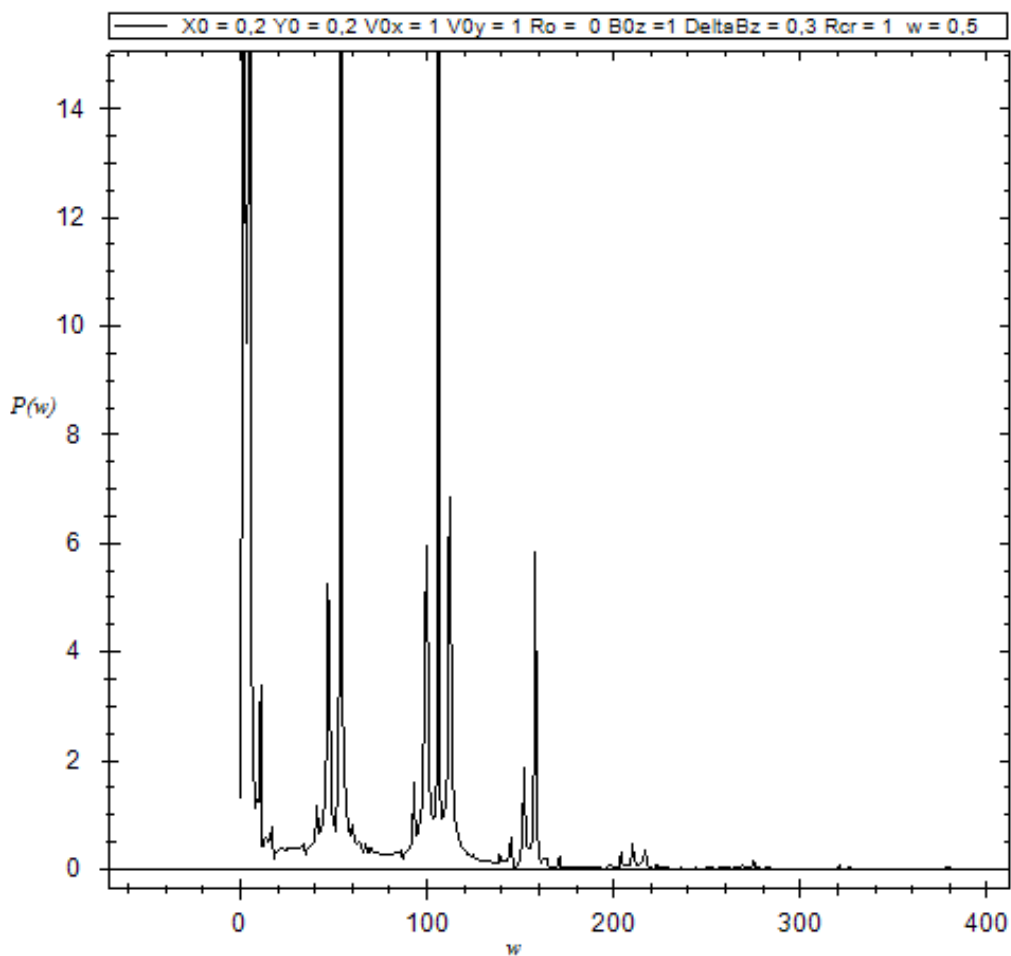


Рис. 5. Спектр мощности Фурье

Из рисунков видна хаотичность траекторий, что подтверждается видом спектра мощности Фурье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems / V. Anishchenko, V. Astakhov, A. Neiman, T. Vadivasova, L. Schimansky-Geier // Tutorial and Modern Developments. Second Edition. Berlin: Springer Publ., 2007. 446 p.
2. Анищенко В.С. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Фундаментальные основы и избранные проблемы / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. 368 с.
3. Влияние задержки в канале связи на полную синхронизацию хаоса / В.В. Астахов, С.В. Астахов, Е.И. Неходцева, А.В. Шабунин // Известия Саратов. ун-та. Сер. Физика. 2008. Т. 8. Вып. 2.
4. Шабунин А.В. Мультистабильность и синхронизация хаоса в отображениях с «внутренней» связью / А.В. Шабунин, В.В. Астахов, В.В. Демидов, А.В. Ефимов // Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53. № 6. С. 702-712.
5. Awrejcewicz J. Thermo-Dynamics of Plates and Shells / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, A.V. Krysko Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 2007. 111 p.
6. Awrejcewicz J. Chaos in Structural Mechanics / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 2008. 424 p.
7. Крысько В.А. Анализ нелинейных хаотических колебаний пологих оболочек вращения с помощью вейвлет преобразования / В.А. Крысько, И.В. Папкина, В.В. Солдатов // Известия РАН. Механика твердого тела. 2010. №1. С. 107-117.

8. Effect of transverse shears on complex nonlinear vibrations of elastic beams / V.A. Krysko, M.V. Zhigalov, O.A. Saltykova, A.V. Krysko // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. Vol. 52. № 5. P. 834-840. 2011.
9. Поршнев С.В. Динамическая неустойчивость движения заряженных частиц в постоянном неоднородном магнитном поле / С.В. Поршнев // Журнал радиоэлектроники. № 11. 2000.
10. Кураев А.А. Математические модели и методы оптимального проектирования СВЧ приборов / А.А. Кураев, В.Б. Байбурич, Е.М. Ильин. Минск: Наука і тэхніка, 1990. 392 с.
11. Вайнштейн А.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике / А.А. Вайнштейн, В.А. Солнцев. М.: Сов. радио, 1973. 399 с.
12. Розов А.С. Анализ регулярных и хаотических траекторий зарядов в заряженном цилиндрическом пучке / А.С. Розов, В.Б. Байбурич // Вестник СГТУ. 2012. № 4.
13. Турчак Л.И. Основы численных методов / Л.И. Турчак, П.В. Плотников. М.: Физматлит, 2003.

Розов Александр Станиславович – аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander S. Rozov – Postgraduate
Department of Information Security of Automated Systems,
Gagarin Saratov State Technical University

Байбурич Вил Бариевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vil B. Baiburin – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Information Security of Automated Systems,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 620.193.2

А.С. Лазаренко, Е.А. Савельева

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ КАТОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕНЦИАЛА И СВОЙСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ

Представлены исследования по влиянию длительной импульсной катодной поляризации на величину потенциала и микротвердости стали. Выбран оптимальный режим, при котором практически не меняются механические свойства и снижается скорость коррозии трубной стали.

Катодная защита, импульсная поляризация, анодный заземлитель, стальные трубопроводы

A.S. Lazarenko, E.A. Saveleva

THE PULSED CATHODIC POLARIZATION IMPACT ON THE POTENTIAL VALUE AND PROPERTIES OF THE PIPE STEEL

The research is made into the influence of the pulse cathodic polarization on the value potential and micro hardness of steel. The optimum mode was selected under which the mechanical properties of steel remain practically unchangeable.

Cathodic protection, pulse polarization, anodic earthing, steel pipelines

Введение

Электрохимическая катодная защита (КЗ) является основным способом защиты подземных трубопроводов от коррозии. Традиционная КЗ имеет ряд существенных недостатков: постоянный ток вызывает повреждения посторонних металлических подземных сооружений, попадающих в зону его действия; превышение величины защитного тока может вызвать наводороживание защищаемой конструкции [1]. Включение водорода в защищаемый материал приводит к изменению его микротвердости и предела прочности.

Экспериментально установлено, что скорость распределения водорода в материале зависит от природы электрода, его структуры и определяется коэффициентом диффузии [2]. Углерод в сталях в зависимости от их фазового состава оказывает тормозящее действие на водородопроницаемость. Сильное снижение подвижности водорода в железе, легированном кремнием, вероятно, обусловлено усилением роли ковалентных связей, снижением концентрации свободных электронов и нарушением периодичности поля решетки. Никель при увеличении его содержания в железе до 10% слабо влияет на водородопроницаемость сплавов. В высоколегированных (12-30% Ni) сплавах происходит резкое возрастание энергии активации диффузии и практически полное подавление ее при комнатной температуре, что обусловлено фазовым наклепом и резким возрастанием числа дефектов кристаллической решетки. Так же влияют кобальт, ванадий и отчасти марганец. Хром снижает водородопроницаемость сплавов, вероятно, из-за увеличения энергии межчастичного взаимодействия и из-за статических искажений решетки. Следовательно, легирование стали указанными металлами должно снижать ее наводороживание. Изменить наводороживание стальных изделий можно не только путем легирования железа различными металлами, но и при использовании нестационарного импульсного режима электролиза.

Импульсная катодная защита (ИКЗ) подземных трубопроводов широко используется иностранными компаниями, но, к сожалению, не в России [3, 4]. Это связано с отсутствием экспериментальных результатов по влиянию импульсной поляризации на свойства трубной стали. При ИКЗ подаются короткие импульсы, чередующиеся с более продолжительными паузами, когда ток на защищаемое сооружение не подается.

При проектировании станций ИКЗ одной из задач является определение оптимальных параметров импульсного тока.

Целью работы явилось оценка влияния режима «импульс-пауза» на величину потенциала, микротвердость и морфологию поверхности трубной стали и выбор оптимального режима.

Рабочий электрод изготавливался из трубной стали Ст3. Поляризация осуществлялась от электронного потенциостата ИРС – соприкасаясь четырьмя различными режимами: плотность тока в импульсе была одинаковой, изменялись время импульса и время паузы. Общее время испытаний составляло 120 часов. Потенциал измерялся относительно нормального хлорсеребряного электрода сравнения. Измерения выполнялись в водопроводной воде и грунтах с различным сопротивлением. Электропроводность воды и грунтов проводились на кондуктометре «Эксперт 002». Микротвердость поверхности стали измерялась по ГОСТ 945076. Металлографическое исследование проводилось на микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ5С.

Экспериментальные данные

Полученные зависимости показывают, что с увеличением общего времени импульсной поляризации потенциал все более смещается к отрицательным значениям, достигая к 120-му часу величины $\sim -2,2$ В в импульсе и $-1,1$ В в паузе. В то же время с увеличением времени паузы при постоянном времени импульса процесс нарастания поляризации на электроде уменьшается: при паузе 4 с и времени импульса 1 с (режим 1) потенциал к 20-му часу составляет $-1,7$ В в импульсе и $-1,0$ В в паузе (рис. 1), а при паузе 8 с (режим 2) – $-1,1$ В и $-0,6$ В в импульсе и паузе соответственно (рис. 2).

С уменьшением времени импульса до 0,1 с потенциал стали к 20-му часу при паузе 4 с (режим 3) (рис. 3) составляет величину $\sim -1,05$ В, одинаков в паузе и импульсе, лишь изредка наблюдаются отдельные всплески до $-1,2$ В. При паузе 8 с (режим 4) потенциал остается на уровне $-0,61$ В (рис. 4).

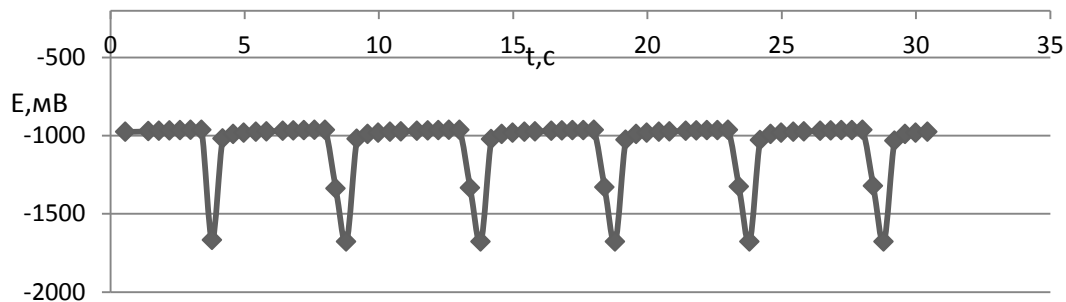


Рис. 1. Кривые $E - t$ на 20-м часу импульсной поляризации ст. 3 в водопроводной воде $i_{имп}=0,077$ мА/см², $t_{имп}=1$ с, пауза 4 с

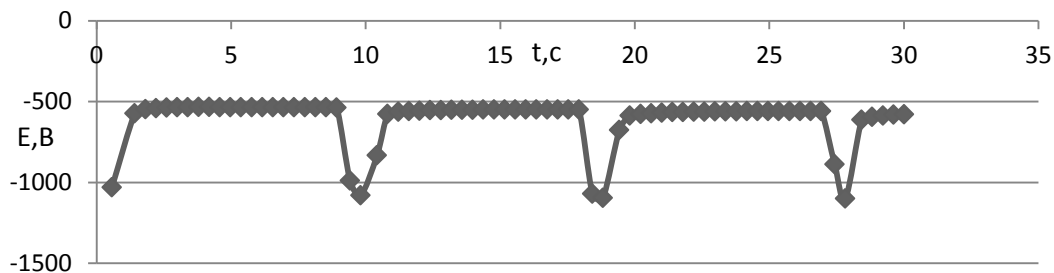


Рис. 2. Кривые $E - t$ на 20-м часу импульсной поляризации ст. 3 в водопроводной воде $i_{имп}=0,077$ мА/см², $t_{имп}=1$ с, пауза 8 с

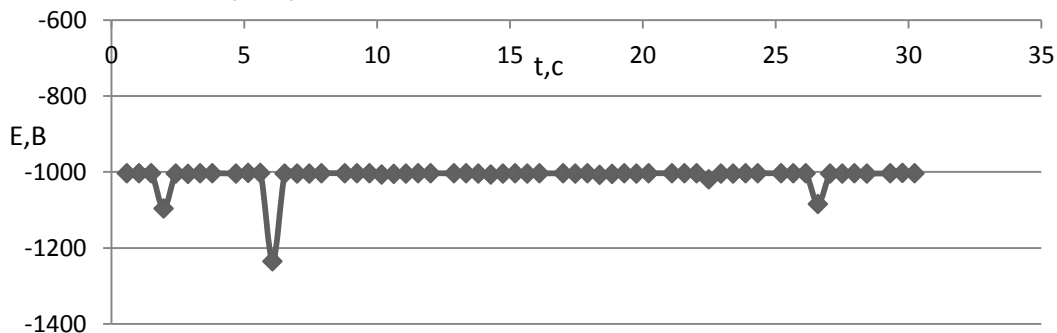


Рис. 3. Кривые $E - t$ на 20-м часу импульсной поляризации ст. 3 в водопроводной воде $i_{имп}=0,077$ мА/см², $t_{имп}=0,1$ с, пауза 4 с

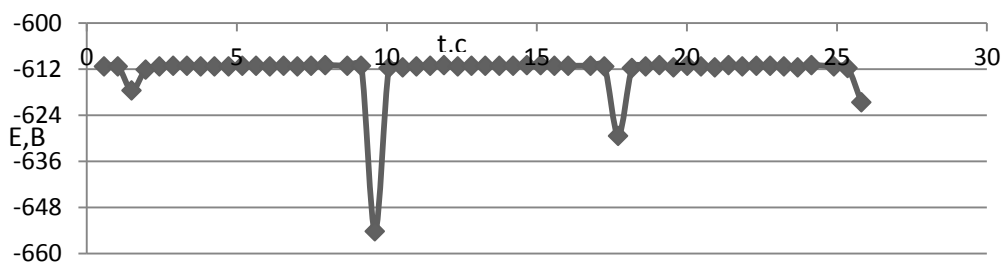


Рис. 4. Кривые $E - t$ на 20-м часу импульсной поляризации ст. 3 в водопроводной воде $i_{имп.}=0,077 \text{ mA/cm}^2$, $t_{имп.}=0,1 \text{ с}$, пауза 8 с

С уменьшением времени импульса (режимы 3, 4) значения потенциала стали не достигают потенциала выделения водорода, в то же время образцы, обработанные по режимам 1, 2, подвергаются наводороживанию. Наводороживание приводит к увеличению микротвердости стального образца, а вследствие этого происходит повышение хрупкости стали. Незначительное изменение прочностных характеристик (микротвердость и предел прочности) наблюдается для режима 3.

Как следует из табл. 1, массовый показатель скорости растворения трубной стали при импульсной поляризации, значительно снижается по сравнению с массовым показателем стали, поляризованной при постоянном токе, потенциал защиты при этом лежит в требуемых пределах.

Таблица 1

Микротвердость (H), предел прочности (σ_b) и массовый показатель скорости растворения стальных образцов

Режим поляризации	H , кг/мм ²	σ_b , МПа	Массовый показатель, г/см ² *час
Исходный образец без поляризации	191,6	57,48	-
Режим1	644	193,2	0,000034
Режим2	594	178,2	0,000026
Режим3	220	66	0,000017
Режим4	644	193,2	0,000003
Поляризация постоянным током	594	178,2	0,000456

Заключение

В результате проведенной работы выбран оптимальный режим «импульс – пауза», при котором практически не меняются микротвердость и предел прочности трубной стали.

Результаты экспериментов показали:

- при снижении времени импульса до 0,1 с, значения потенциала трубы не достигает потенциала выделения водорода.
- морфология поверхности стали после импульсной катодной поляризации изменяется, наблюдается равномерная коррозия и незначительный привес электрода.
- наименьшее изменение механических характеристик стали (микротвердости и предела прочности) наблюдается для режима3 импульс – 0,1с, пауза – 4с).
- значительно экономится электрическая энергия, так как ток течет не постоянно, а подается импульсами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петухов В.С. Анализ существующих методов катодной защиты нефтегазовых сооружений / В.С. Петухов, И.Я. Мерициди, Л. Счетив // Интеграл. 2007. Т. 37. № 5. С. 16-17
2. Грилихес М.С. Взаимодействие водорода с металлами при электрохимических процессах в растворах электролитов / М.С. Грилихес, В.Б. Божевольнов // Журнал прикладной химии. 1995. Т. 68. № 3. С. 353-365.

3. Рыбалко А.В. Катодные процессы в условиях подачи тока импульсами с крутыми передними фронтами / А.В. Рыбалко, Ж.И. Бобанова // Гальванотехника и обработка поверхности. 1993. Т. 2. № 5. С. 13-15

4. Рыбалко А.В., Галанин С.И. // Электронная обработка материалов. 1990. № 4. С. 3.

Лазаренко Александра Сергеевна – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexandra S. Lazarenko – Postgraduate Department of Electrochemical Production Technology, Engels Technological Institute: Part of Gagarin Saratov State Technical University

Савельева Елена Анатольевна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena A. Saveleva – Ph.D., Associate Professor Department of Electrochemical Production Technology Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 541.138

И.В. Минин, Н.Д. Соловьёва

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦИНКА ИЗ СУЛЬФАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА В ПРИСУТСТВИИ ДОБАВОК ПАВ

Изучена кинетика электроосаждения цинка на стальную основу из сульфатного электролита с синтезированными добавками ПАВ. Добавки синтезированных органических соединений адсорбируются на поверхности электрода при его катодной поляризации, увеличивая перенапряжение процесса, о чем свидетельствует изменение поляризационной емкости процесса и перенапряжение кристаллизации. Перенапряжение процесса электроосаждения цинка возрастает, и создаются условия для формирования мелкокристаллических осадков.

Цинкование, электролит, электрод, поверхностно-активное вещество (ПАВ), электроосаждение, адсорбция, перенапряжение, перенапряжение кристаллизации, поляризационная емкость

I.V. Minin, N.D. Solovyeva

KINETICS OF ZINC ELECTROREDUCTION FROM THE SULFATE ELECTROLYTE IN THE PRESENCE OF SURFACTANT ADDITIVES

The article presents the research into the kinetics of zinc electrodeposition to the steel base of sulfate electrolyte supplements with synthetic surfactants. The change in the polarization capacitance and strain crystallization process shows that the additives of the synthesized organic compounds are adsorbed on the electrode surface at its cathodic polarization increasing the overvoltage process. The overvoltage increases the zinc plating process and provides the conditions for the fine-grained sediments formation.

Zinc, electrolyte, electrode, surface-active agents (surfactants), electrodeposition, adsorption, over-voltage, over-voltage of crystallization, polarization capacitance

Электрохимические цинковые покрытия находят широкое применение для защиты стальных изделий от коррозии. Защитная способность покрытий определяется толщиной, пористостью, струк-

турой осадка, которые, в свою очередь, зависят от режима электролиза, качественного и количественного состава электролита [1]. Анализ литературных источников [2-8] свидетельствует о неослабевающем интересе к совершенствованию электролитов цинкования, режимов электролиза. Электроосаждение цинка производится из кислых, слабокислых, щелочных растворов [9, 10]. В каждом из электролитов катодный процесс протекает с определенной скоростью и характеризуется индивидуальностью механизма, изменением скорости сопутствующего процесса выделения водорода. Известно, что при использовании кислых сульфатных электролитов, из которых цинк выделяется с близким к 100% выходу по току, наводороживание стальной основы изделий значительно меньше, чем при его электроосаждении из цианистых и цинкатных электролитов [11, 12]. На процесс выделения водорода оказывает влияние дофазовое осаждение цинка [13-15], в результате которого возможно образование сплава железо-цинк. Присутствие в электролите цинкования поверхностно-активных веществ (ПАВ), способных адсорбироваться на катоде, должно влиять на скорость всех сопряженных реакций и, соответственно, на структуру и свойства электроосаждаемого покрытия.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния добавок ПАВ на скорость электровосстановления цинка из сернокислого электролита на стальную основу.

Электрохимическое формирование цинкового покрытия проводилось в гальваностатическом режиме из электролита состава $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 250 г/л + $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 40г/л + $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 75г/л [16]. В указанный электролит вводились добавки ПАВ: полиэтиленполиамин (ПЭПА) и синтезированные органические соединения 5-талил-3-фенилметилефуран-2-ОН (ПАВ1), 3-о-хлорфенилметиле-5-фенил-3Н-фуран-2-ОН (ПАВ2). Добавки ПАВ1 и ПАВ2 были получены на кафедре физической и органической химии ЭТИ (филиал) СГТУ доцентом Чадиной В.В. Содержание добавок варьировалось от 1 мл/л до 15 мл/л.

В качестве рабочих электродов использовалась сталь 08 КП. Рабочая поверхность электродов (1 см^2) подвергалась механическому шлифованию наждачной бумагой марки (ГОСТ 10054-80), химическому травлению в растворе HCl – 50 г/л. Качество подготовки поверхности оценивалось по величине потенциала погружения электрода в электролите цинкования. Электроосаждение цинка проводилось при температуре 25°C , плотностях тока 5, 10, 15, 20, 25 mA/cm^2 на потенциостате П5848. Потенциал рабочего электрода измерялся относительно насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения (н.х.с.э.с.).

Из гальваностатических кривых следует, что в начальный момент поляризации E, t – кривые имеют скачкообразный ход, который связан с периодическими процессами, протекающими на границе раздела фаз (рис. 1, 2).

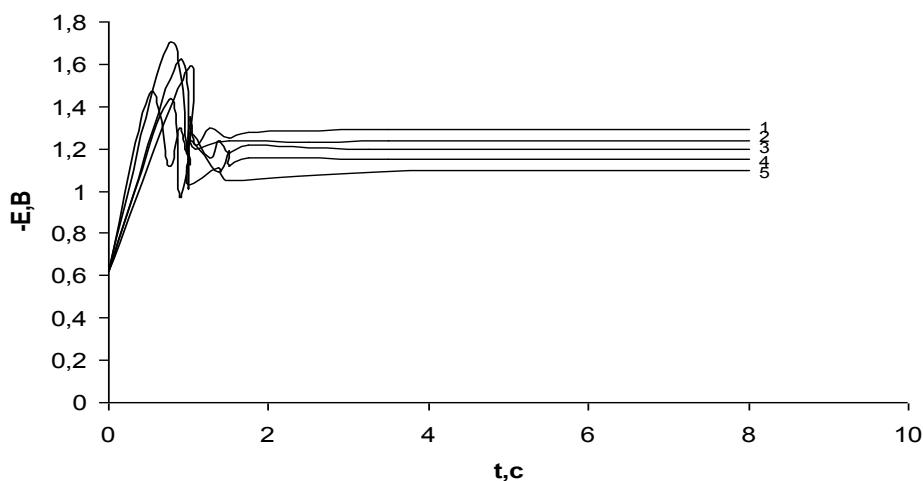


Рис. 1. E, t – кривые электровосстановления цинка на стальной основе из электролита состава, г/л: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 250 г/л + $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 40г/л + $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 75г/л + ПАВ2 10 мл/л при плотностях тока, mA/cm^2 : 25(1); 20(2); 15(3); 10(4); 5(5) при 25°C .

Таковыми процессами являются адсорбция электроактивных частиц, в том числе и ПАВ, электровосстановление цинка из различных частиц: Zn^{2+} , $(ZnOH)^+$, $[Zn(H_2O)_n]^+$, выделение водорода. По истечении примерно двух секунд процесс стабилизируется и потенциал приобретает стационарное значение, зависящее от катодной плотности тока, природы и концентрации ПАВ. Для изучаемого процесса рассчитывалось перенапряжение как разность между стационарным потенциалом на E, t кривых и равновесным потенциалом Zn электрода в изучаемых электролитах (табл. 1). Установлена не-

значительная зависимость величины перенапряжения (η) от природы вводимой добавки и показана нецелесообразность увеличения концентрации добавки ПЭПА и ПАВ2 в составе электролита более 10 мл/л.

Использование комбинации добавок ПАВ1 и ПАВ2 в соотношении ПАВ1 5мл/л + ПАВ2 1 мл/л и ПАВ1 5 мл/л + ПАВ2 3 мл/л, позволяет увеличить перенапряжение процесса электровосстановления цинка (табл. 1). Дальнейшее увеличение содержания ПАВ2 в составе композиции не способствует росту η , и формированию мелкокристаллической структуры осадка.

Характер изменения потенциала процесса электровосстановления цинка во времени (рис. 1, 2) позволяет определить перенапряжение кристаллизации ($\eta_{кр}$) осаждаемого металла (табл. 2). Возникновение $\eta_{кр}$ объясняется [17] большей затратой энергии в первые моменты времени на образование зародышей металла. Присутствие в электролите добавок ПАВ, способных адсорбироваться на поверхности электрода, оказывает влияние на процесс формирования новой кристаллической фазы. Это действие проявляется в величине $\eta_{кр}$ (табл. 2).

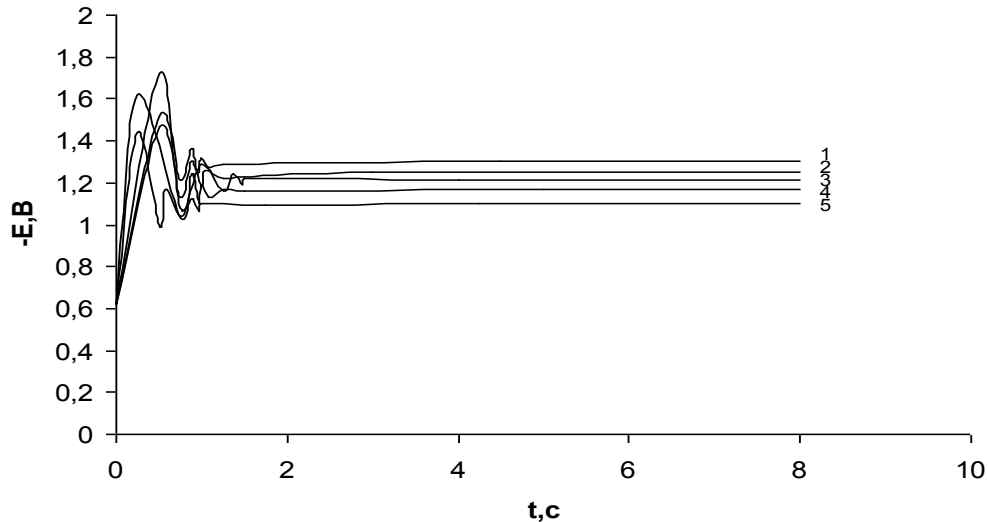


Рис. 2. E, t – кривые электровосстановления цинка на стальной основе из электролита состава, г/л: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 250 г/л + $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 40г/л + $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 75г/л + ПЭПА 10 мл/л при плотностях тока, mA/cm^2 : 25(1); 20(2); 15(3); 10(4); 5(5) при 25°С.

Таблица 1

Влияние природы и концентрации добавки ПАВ на перенапряжение (η) процесса электровосстановления Zn на стальной основе из сульфатного электролита при различных плотностях тока, $t = 25^\circ C$

		$\eta, В$				
Добавка ПАВ	Концентрация, мл/л	$i, mA/cm^2$				
		5	10	15	20	25
ПЭПА	1	0,34	0,29	0,28	0,4	0,43
	5	0,35	0,35	0,30	0,32	0,44
	10	0,35	0,32	0,27	0,36	0,43
	15	0,11	0,16	0,17	0,22	0,31
ПАВ2	1	0,25	0,27	0,29	0,29	0,45
	5	0,30	0,30	0,30	0,43	0,44
	10	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40
	15	0,07	0,14	0,17	0,19	0,22
ПАВ1+ПАВ2	5+1	0,12	0,20	0,28	0,20	0,45
	5+3	0,37	0,40	0,41	0,40	0,42
	5+5	0,21	0,32	0,30	0,27	0,33
	5+7	0,20	0,23	0,19	0,21	0,21

Перенапряжение кристаллизации ($\eta_{кр}$) осаждения Zn из электролита состава, г/л: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 250 г/л + $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 40г/л + $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 75г/л с добавками ПАВ при плотностях тока, $t = 25^\circ C$

Добавка ПАВ	Концентрация, мл/л	$\eta_{кр}, В$				
		$i, mA/cm^2$				
		5	10	15	20	25
ПЭПА	1	0,34	0,29	0,28	0,4	0,43
	5	0,35	0,35	0,30	0,32	0,44
	10	0,35	0,32	0,27	0,36	0,43
	15	0,08	0,27	0,28	0,30	0,30
ПАВ2	1	0,25	0,27	0,29	0,29	0,45
	5	0,30	0,30	0,30	0,43	0,44
	10	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40
	15	0,15	0,21	0,24	0,28	0,30
ПАВ1+ПАВ2	5+1	0,12	0,20	0,28	0,20	0,45
	5+3	0,37	0,40	0,41	0,40	0,42
	5+5	0,21	0,32	0,30	0,27	0,33
	5+7	0,20	0,23	0,19	0,21	0,21

Следует отметить сравнительно большое перенапряжение кристаллизации цинка при малых плотностях тока (5, 10 mA/cm^2) для электролитов с добавками ПАВ2 и ПЭПА и его рост при увеличении плотности тока более 20 mA/cm^2 . Данное явление можно объяснить ускорением процессов подщелачивания приэлектродного слоя за счет выделения водорода и адсорбции гидроксидных ионов цинка на поверхности электрода, что создает дополнительные затруднения при формировании кристаллического цинка.

О протекании адсорбционных процессов на границе раздела фаз можно судить по величине поляризационной емкости ($C_{пол}$) процесса электровосстановления цинка (табл. 3). Расчет $C_{пол}$ производился по уравнению

$$C_{пол} = \frac{i}{\left(\frac{\partial E}{\partial t}\right)} \quad (1)$$

где i – плотность тока, A/cm^2 , $\frac{\partial E}{\partial t}$ – наклон кривых E, t в начальный момент поляризации.

Таблица 3

Поляризационная емкость ($C_{пол}$) процесса электровосстановления цинка на сталь 08 КП из исследуемых электролитов при $t = 25^\circ C$

Добавка ПАВ	Концентрация, мл/л	$C_{пол}, Ф/см^2$				
		$i, mA/cm^2$				
		5	10	15	20	25
ПАВ2	1	3,16	5,56	8,88	12,20	13,66
	5	2,5	4,5	6,67	8,99	10,0
	10	1,87	3,16	6,51	8,57	9,74
	15	1,67	3,0	5,84	7,63	9,52
ПЭПА	1	1,79	5,26	6,0	8,58	19,38
	5	1,05	3,15	5,34	7,62	15,82
	10	1,05	3,04	5,0	6,67	14,97
	15	0,91	2,17	4,37	6,01	8,74

В присутствии изучаемых добавок ПАВ2 и ПЭПА наблюдается тенденция к снижению $C_{пол}$ при увеличении концентраций добавок, что подтверждает адсорбционное взаимодействие вводимых соединений с материалом катода и их влияние на кинетику процесса формирования цинкового покрытия.

Выводы

Из приведенных исследований следует, что синтезированные добавки органических соединений способны адсорбироваться на поверхности электрода при его катодной поляризации, увеличивая тем самым перенапряжение процесса. Таким образом, они способствуют получению блестящей, мелкокристаллической структуры цинкового осадка. Наибольшее значение величины перенапряжения достигается при содержании добавки ПАВ в электролите 5-10 мл/л. Дальнейшее увеличение концентрации добавки не способствует росту η и формированию мелкокристаллической структуры осадка. Анализ экспериментальных результатов позволяет рекомендовать для электроосаждения цинка электролит, содержащий добавки ПАВ2, ПЭПА в количестве 5-10 мл/л, комбинацию добавок ПАВ1(5мл/л) + ПАВ2(1-3мл/л), и работающий при плотности тока 20÷25 мА/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Лошкарёв Ю.М. Сравнительный анализ электролитов цинкования и критерии их выбора для целей гальванотехники / Ю.М. Лошкарёв, В.С. Коваленко // Гальванотехника и обработка поверхности. 1999. Т. 2. № 2. С. 37-45.
2. Кудрявцев Н.Т. Электрохимические покрытия металлами / Н.Т. Кудрявцев. М.: Химия, 1972. 352 с.
3. Ильин В.А. Цинкование, кадмирование, оловянирование и свинцевание / В.А. Ильин. 5-е изд. Л.: Машиностроение, 1983. 87 с.
4. Таран Л.А. Электроосаждение блестящих цинковых покрытий из сернокислого электролита / Л.А. Таран, В.С. Громаков // Защита металлов. 1982. Т. 8. № 1. С. 129-132.
5. Олейник Т.Н. Скоростные электролиты блестящего цинкования / Т.Н. Олейник, В.В. Нечипорук // Теория и практика защиты металлов от коррозии. 1988. С. 65-66.
6. Проскурин Е.В. Цинкование / Е.В. Проскурин, А.Т. Мороз. М.: Металлургия, 1988. 528 с.
7. Медведев Г.И. Исследование кинетики процесса электроосаждения цинка из сернокислых электролитов в присутствии продуктов конденсации и буферизирующих добавок / Г.И. Медведев, Е.А. Янчева // Электрохимия. 1991. Т. 27. № 10. С. 1231-1235.
8. Электроосаждение цинка из сернокислых ионообменных электролитов / С.В. Плохов, И.Г. Матасова, В.М. Воротынец, И.Ю. Харитонов // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2001. Т. 44. № 5. С. 171-174.
9. Окулов В.В. Цинкование. Техника и технология / В.В. Окулов; под ред. В.Н. Кудрявцева. М.: Глобус, 2008.
10. Гальванотехника / под ред. А.М. Гинберга. М.: Металлургия, 1987. 736 с.
11. Шерекина Т.А. Повышение защитных свойств цинковых покрытий / Т.А. Шерекина, Н.П. Вареник, С.Л. Мысик // Защита металлов. 1986. Т. 22. № 4. С. 618-619.
12. Кукоз Ф.И. Выбор оптимальных условий электроосаждения цинка / Ф.И. Кукоз, Бобриков И.Г., Селиванов В.Н. // Совершенствование технологии гальванических покрытий. 1983. С. 64-65.
13. Drazik D.M. Inhibitory effects of manganese, cadmium and zinc ions in hydrogen evolution reaction and corrosion of iron in sulfuric acid solutions / D.M. Drazik, L.Z. Vorkapic // Corros. Sci. 1978. V. 18. № 10. P. 907-912.
14. Антропов Л.И. Наложение дофазового осаждения металлов на выделение водорода при катодной поляризации железа / Л.И. Антропов, Н.В. Кондрашова // Защита металлов. 1983. Т. 19. № 3. С. 505-506.
15. Электроосаждение цинка из сульфатного электролита с добавками ПАВ / И.В. Минин, Н.Д. Соловьева, В.В. Чадина, И.В. Лазарева // Нанотехнологии: наука и производство. 2011. Т. 3. № 12. С. 61.
16. Гальванические покрытия в машиностроении / под ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. 161 с.
17. Теоретическая электрохимия / А.П. Ротинян, К.И. Тихонов, И.А. Шошина; под ред. А.П. Ротиняна. Л.: Химия, 1981. 327 с.

Минин Иван Владимирович – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ivan V. Minin – Postgraduate Department of Electrochemical Production Technology, Engels Technological Institute: Part of Gagarin Saratov State Technical University

Соловьева Нина Дмитриевна –
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технология
электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиал) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Nina D. Solovyeva –
Dr. Sc., Professor
Head: Department of Electrochemical Production
Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 09.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 544.653.23; 544.55

И.Б. Кучмин, Г.Г. Нечаев

ПЛОТНОСТЬ ТОКА КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПАРАМЕТР ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Рассмотрена совокупность процессов, протекающих на поверхности детали при МДО. На основании модельных представлений показано влияние плотности тока на изменение вклада различных процессов в формирование покрытия при МДО. Приведены экспериментальные данные о влиянии плотности тока на изменение количества микроаркаров на поверхности детали при МДО.

Анодное окисление, микроаркаров, пароплазменный пузырь, плазмохимические реакции

I.B. Kuchmin, G.G. Nechaev

THE CURRENT DENSITY AS THE DETERMINING PARAMETER FOR THE MICRO-ARC OXIDATION PROCESS

The article considers the total number of processes occurring on the surface of the MOU details. The influence of the current density on the change of the contribution of various processes into the formation of the coating at the MLA is shown on the basis of the model representations. Experimental data are presented referring the impact of the current density on the change in the number of microdischarge on the surface of the MOU details.

Anodic oxidation, microdischarge, steam plasma bubble, plasma-chemical reactions

Стремительное развитие техники требует создания новых и расширения возможностей использования традиционных конструкционных материалов. Одним из методов модификации поверхности металлов и сплавов с целью создания на поверхности многофункциональных наноструктурированных оксидных композиционных слоев является микродуговое окисление. Весьма перспективным является этот метод и для создания биоактивных и биоинертных покрытий изделий медицинского назначения [1]. Несмотря на достаточно активные исследования характеристик микроаркаров, токовых режимов процесса микродугового окисления (МДО), свойств и состава, формируемых покрытий, общих представлений о механизме формирования покрытия при МДО до настоящего времени не выработано. Настоящая работа имеет целью на основе имеющихся данных составить представление о совокупности процессов, протекающих на поверхности детали во время МДО.

Предложенная [2-4] модель эквивалентных сопротивлений, применительно к МДО позволяет выделить как минимум две группы процессов на поверхности детали: процессы, связанные с анодным окислением и процессы, связанные с пробоем уже сформированного оксидного покрытия, развитием микродугового разряда и протеканием плазмохимических реакций.

Для понимания взаимосвязи этих групп явлений при МДО рассмотрим, что будет происходить на поверхности детали из алюминиевого сплава при изменении плотности тока на различных стадиях процесса.

На этапе формирования барьерного слоя. Все подошедшие под действием электрического поля к поверхности анода отрицательные ионы вступают в реакцию с металлом. Протекают процессы по механизму анодного окисления металлов. По мере роста покрытия и увеличения сопротивления ток уменьшается. Часть анионов скапливается у поверхности оксидной пленки, создавая квазикатод, формирование которого приводит к перераспределению электрического поля в электролитической

ячейке, увеличивает напряженность электрического поля между открытой поверхностью покрытия и металлом анода, что обеспечивает протекание анодных процессов. Увеличение плотности тока приводит к увеличению количества ионов, продиффундировавших через покрытие к металлу. Возрастающее количество тока сопровождается увеличением термических потерь, приводящих к разогреву покрытия. Теплоотвод от покрытия как в толщу металла, так и в электролит требует пропускания очень большой плотности тока для разогрева до температуры вскипания электролита.

На стадии формирования пористого слоя. Согласно модели Келлера пористый слой состоит из гексагональных призм, по центру которых проходят поры. Анионы, по порам заполненным электролитом, достигают дна. Именно на дне пор протекают анодные процессы. При сравнительно небольшой плотности тока нагрев дна поры, приводит к вскипанию электролита в поре и образованию парового пузыря в силу гораздо меньшей теплопроводности оксида, составляющего покрытие и малого теплоотвода. Ионы, оказавшиеся в таком пузыре, под действием электрического поля ускоряются. Столкновение «ускоренных» ионов с молекулами газа в пузыре приводит к увеличению кинетической энергии молекул, то есть к разогреву пузыря. При достижении определенной энергии столкновения приводят к ударной ионизации и образованию электронов, которые ускоряются полем и, достигая дна поры, бомбардируют его, вызывая еще больший нагрев. Нарастая, этот процесс вызывает электрический пробой оксида на дне поры и формирование микроаризада. Однако если плотность тока недостаточна для термического разогрева оксида на дне поры до температуры кипения электролита, то такой механизм не реализуется, пробоев покрытия и развития микроаризадов не происходит.

На стадии микроаризадов согласно модели эквивалентных сопротивлений увеличение силы тока возможно только за счет возрастания токовой составляющей, протекающей через микродуговые аризады. Суммарный ток микроаризадов при всех прочих равных условиях определяется количеством микроаризадов. Следовательно, при увеличении плотности тока количество микроаризадов увеличивается. Каждый микроаризад состоит из «плазменного шнура», находящегося в поре и «пароплазменного пузыря» у поверхности покрытия. Авторы [5] отмечали, что при фотографировании форма световых пятен от аризадов на плоскости – круговая, а на боковых гранях – усеченный круг. Логично предположить, что зафиксированные размеры и форма световых пятен соответствует форме и размеру пароплазменных пузырьков. Пароплазменный пузырь закрывает часть поверхности. Увеличение количества микроаризадов приводит к уменьшению площади поверхности, на которой протекает анодное окисление. Кроме того, в поре после микродугового аризада формируется кристаллизованная пробка из продуктов плазмохимических реакций и материала стенок поры, пора исчезает. То есть площадь поверхности, на которой протекает анодное окисление, является функцией от плотности тока процесса МДО. При этом наблюдается обратно пропорциональная зависимость: с увеличением плотности тока (j), площадь реализации анодного окисления (S_{ao}) уменьшается и, наоборот, с уменьшением плотности тока площадь реализации анодного окисления возрастает.

$$S_{ao} \sim 1/j \quad (1)$$

Предельный случай, это когда вся поверхность детали является площадью реализации анодного процесса, то есть когда микроаризады на поверхности не возникают. В самом деле, если величина плотности тока такова, что ее недостаточно для вскипания электролита хотя бы в одной поре, то микроаризады при такой плотности возникнуть не могут. Как только плотность тока достигает величины, при которой становится возможным вскипание электролита хотя бы в одной поре, в этой поре происходит пробой барьерного слоя, развитие микроаризада, и можно говорить о достижении плотности тока, при которой возможна реализация процесса МДО. Второй предельный случай, когда площадь реализации анодного процесса равна нулю. При такой величине плотности тока микроаризады возникают сразу во всех порах, или поры не образуются и процесс переходит сразу в фазу дугового оксидирования. Таким образом, площадь реализации анодного окисления в зависимости от плотности тока имеет два предельных значения: 0 и S (площадь поверхности детали) и линейно зависит от плотности тока в области значений плотности тока, при которых может быть реализован процесс МДО.

Следует отметить, что для поддержания постоянной плотности тока необходимо увеличивать напряжение на электродах во время процесса.

Рассмотрим токовую составляющую, обусловленную существованием микродуговых аризадов. Плотность тока определяет количество одновременно горящих на поверхности детали микроаризадов. Но количество микроаризадов на поверхности в течение процесса МДО также изменяется: к концу процесса количество микроаризадов уменьшается. Это может происходить только в том случае, если ток, протекающий в единичном микроаризаде, увеличивается к концу процесса МДО. В самом деле, микроаризады на поверхности детали в конце намного крупнее микроаризадов в начале процесса МДО. При увеличении напряжения разгон ионов под действием электрического поля происходит до более высоких скоростей, температура в микроаризаде повышается, соответственно возрастает и объем пароплазменного пузыря. В пароплазменном пузыре оказывается больше носителей

заряда. А именно количество носителей заряда в плазменном образовании определяет величину тока микроразряда. Таким образом, увеличение тока единичного микроразряда в ходе процесса МДО закономерное следствие увеличения толщины покрытия.

По аналогии с анодным окислением можно ввести понятие площади поверхности, на которой протекают плазмохимические процессы. Умножив число одновременно горящих на поверхности детали микроразрядов на площадь поверхности, закрываемую одним пароплазменным пузырем, получим площадь поверхности, на которой протекают плазмохимические процессы. Площадь поверхности, на которой протекают плазмохимические процессы, прямо пропорционально зависит от плотности тока. Соотношение площадей поверхности на которых протекают тот или иной процесс изменяется в течение времени.

Произведем «по кадровое» воспроизведение процесса МДО.

Начало процесса: на всей площади поверхности детали протекают процессы анодного окисления.

Образование микроразрядов: площадь поверхности детали делится на две области – площадь поверхности, на которой протекают процессы анодного окисления и площадь поверхности, на которой протекают плазмохимические реакции.

Середина процесса МДО: площадь поверхности детали делится на три области – площадь поверхности анодного окисления, площадь поверхности плазмохимических реакций и площадь поверхности пор закрытых кристаллизованными пробками.

Конец процесса МДО: площадь поверхности детали делится на две области – площадь плазмохимических реакций и площадь поверхности пор закрытых кристаллизованными пробками.

В результате проведенного анализа, получается следующая картина образования покрытия в процессе МДО:

На начальной стадии процесса максимальный вклад в образование покрытия вносят процессы анодного окисления. С момента возникновения микроразрядов вклад процессов анодного окисления в образование покрытия неуклонно уменьшается. К моменту перехода процесса в стадию дуговых разрядов он становится равен нулю. Чем выше плотность тока процесса МДО, тем быстрее наступает момент возникновения дуговых разрядов.

Из-за увеличения сопротивления оксидного покрытия вследствие увеличения толщины, уменьшения количества пор величина тока анодного окисления будет уменьшаться в ходе процесса МДО. И даже если величина тока, протекающего через микроразряды, остается неизменной, то общая величина тока процесса МДО в ходе процесса должна уменьшаться. Соотношение площадей анодного окисления, плазмохимических реакций и площади поверхности пор, закрытых кристаллическими пробками может быть записано следующим выражением:

$$S_{\text{дет}} = S_{\text{ао}}(t) + S_{\text{мп}}(t) + S_{\text{нас}}(t), \quad (2)$$

где $S_{\text{дет}}$ – площадь поверхности детали, $S_{\text{ао}}$ – площадь анодного окисления, $S_{\text{мп}}$ – площадь плазмохимических реакций, $S_{\text{нас}}$ – площадь поверхности пор, закрытых кристаллическими пробками.

Величину площади поверхности пор, закрытых кристаллическими пробками можно оценить, если умножить количество микроразрядов, произошедших за время процесса МДО на площадь гексагональной призмы с порой

$$S_{\text{нас}}(t) = N S_{\text{п}}, \quad (3)$$

где N – количество прошедших микроразрядов; $S_{\text{п}}$ – площадь гексагональной призмы с порой.

Общая масса покрытия, сформированного в ходе процесса МДО, может быть представлена как сумма массы покрытия, сформированного в процессе анодного окисления и массы покрытия сформированного в результате плазмохимических реакций:

$$M_{\text{мдо}} = \int_0^t \rho v_{\text{ао}} S_{\text{ао}}(t) dt + \int_0^t \rho v_{\text{мп}} S_{\text{мп}}(t) dt, \quad (4)$$

где $M_{\text{мдо}}$ – масса покрытия образовавшегося в процессе МДО, ρ – плотность материала покрытия; $v_{\text{ао}}$ – скорость образования покрытия в ходе анодного окисления; $v_{\text{мп}}$ – скорость образования покрытия в плазмохимических реакциях.

Для качественной проверки сделанного предположения о влиянии плотности тока на изменение количества микроразрядов на поверхности детали при МДО был поставлен эксперимент.

При проведении эксперимента была использована установка для микродугового оксидирования ПКФ «Экс-Форма», имеющая источник питания с плавной регулировкой рабочего тока, ванну из нержавеющей стали со змеевиком водяного охлаждения, систему воздушного перемешивания электролита и фотоаппарат OLYMPUS C-760 Ultra Zoom. Процесс МДО проводили на шаровых затворах крана газового из сплава Д 16Т в анодно-катодном режиме при величине силы тока 80 ампер, напряжении 360 вольт в электролите состава: 4 г/л NaOH; 12 г/л жидкого стекла натриевого. Плотность тока составляла 7 А/Дм². Через тридцать минут после начала процесса производили фотографирова-

ние микродуговых разрядов на поверхности детали и последовательное уменьшение величины тока до исчезновения микродуговых разрядов. Затем устанавливали исходную величину силы тока и продолжали процесс МДО. Через 60 минут после начала процесса проводилось повторное исследование с уменьшением величины тока. Фотографирование микродуговых разрядов на поверхности детали осуществлялось каждый раз при уменьшении величины тока на 20 А, а также в момент исчезновения микродуговых разрядов на поверхности деталей. Значение величины силы тока определяли, снимая показания по стрелочному амперметру.

При подаче напряжения на деталь наблюдалось интенсивное газовыделение и люминесценция на поверхности детали. Через 1,5 мин после начала процесса на поверхности детали наблюдались мелкие, быстро гаснущие микродуговые разряды. Эти микродуговые разряды имели желтовато-красный оттенок. Со временем микродуговые разряды увеличиваются в размерах, увеличивается время существования, а общее их количество уменьшается. Микродуговые разряды приобретают ярко желтый оттенок. Появляются отдельные микродуговые разряды белого и бело-голубого оттенка.

Изменение цветового оттенка микродуговых разрядов объясняется повышением их температуры. В самом деле, на начальном этапе процесса МДО толщина покрытия, и, следовательно, длина канала микродугового разряда, проходящего через покрытие, мала. Частицы плазмы не успевают разогнаться под действием электрического поля. Плазма «холодная» и излучение микродуговых разрядов имеет красноватый оттенок. В конце процесса, когда толщина покрытия и, соответственно, длина канала микродугового разряда превышает 100 мкм, электрическое поле ускоряет движение частиц плазмы, что приводит к повышению ее температуры. Соответственно цветовой спектр излучения микродуговых разрядов смещается в более горячую желтую область.

Визуальное наблюдение за изменениями протекания процесса МДО в результате уменьшения величины тока позволило установить:

- при уменьшении величины силы тока уменьшается количество микродуговых разрядов на поверхности детали;
- величина силы тока, при которой на поверхности деталей не наблюдалось микродуговых разрядов составила 5 А, что соответствовало плотности тока 0,4 А/Дм².

Наглядно изменение интенсивности процесса МДО от плотности тока представлено на серии фотографий (рис. 1).

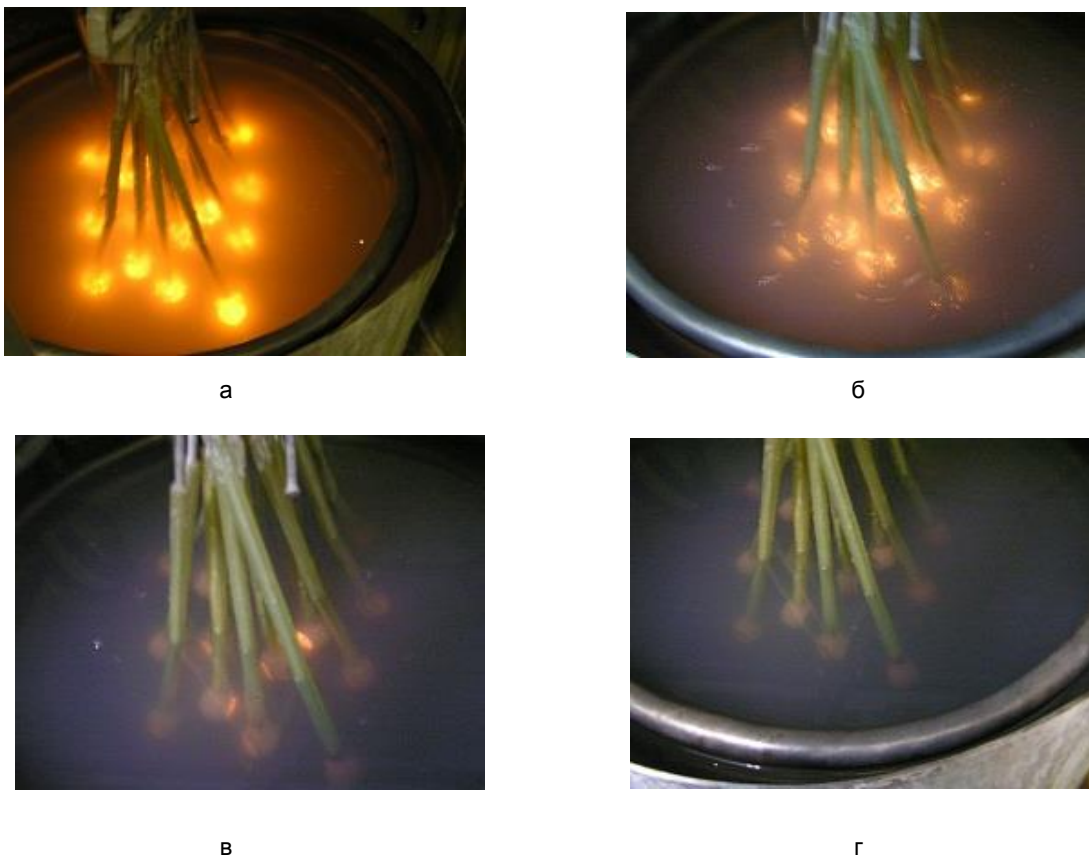


Рис. 1. Микродуговые разряды на поверхности деталей при различной величине силы тока: а – 80 А, $j = 7 \text{ А/Дм}^2$; б – 40 А, $j = 3,5 \text{ А/Дм}^2$; в – 10 А, $j = 0,9 \text{ А/Дм}^2$; г – 5 А, $j = 0,4 \text{ А/Дм}^2$

На представленных фотографиях прослеживается закономерность: при уменьшении величины силы тока и, соответственно, плотности тока количество микрозарядов, горящих на обрабатываемой поверхности, уменьшается (рис. 1, а-в) и при снижении до величины порядка $0,4 \text{ А/дм}^2$ (рис. 1, г) микрозаряды практически не наблюдаются.

Таким образом, в результате проведенного анализа удалось представить общую картину процессов, протекающих на поверхности детали при МДО. Представленная модель позволила установить, что соотношение процессов, протекающих на поверхности детали при МДО, зависит от плотности тока процесса МДО. С увеличением плотности тока МДО площадь поверхности, прикрытая плазменными образованиями, увеличивается. Получено экспериментальное подтверждение изменения количества микрозарядов на поверхности детали при изменении плотности тока. Характер изменения количества микрозарядов на поверхности детали в зависимости от плотности тока, предложенный в модели процесса МДО, соответствует данным эксперимента. Констатация факта обнаружения величины плотности тока, при которой не наблюдалось микродуговых зарядов, соответствует предложенной модели МДО. Таким образом, именно плотность тока определяет соотношение процессов, протекающих на поверхности детали при реализации процесса МДО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Формирование биоактивных и биоинертных покрытий методом микродугового оксидирования / Н.Д. Выборнова, А.А. Гавкин, Г.Г. Нечаев, В.И. Ушаков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №1 (53), Вып. 2. С. 37-40.
2. Нечаев Г.Г. Микроплазмохимический синтез оксидных покрытий (микродуговое оксидирование) как синергетическое явление. Моделирование процесса методом эквивалентных сопротивлений / Г.Г. Нечаев, С.С. Попова // Вестник СГТУ. 2007. № 1. Вып. 2. С. 48-52.
3. Нечаев Г.Г. Микродуговое оксидирование: Модель эквивалентных сопротивлений / Г.Г. Нечаев, С.С. Попова // Коррозия: материалы, защита. 2008. № 2. С. 31-34.
4. Нечаев Г.Г. Распределение микрозарядов при микроплазмохимическом электролитическом синтезе оксидных покрытий / Г.Г. Нечаев, С.С. Попова // Коррозия: материалы, защита. 2008. № 7. С. 40-42.
5. Вольф Е.Г. Определение среднего времени жизни пароплазменных пузырьков при микрозаряде на алюминиевом вентильном аноде в водном растворе электролита / Е.Г. Вольф, А.М. Сизиков, Л.Т. Бугаенко // Химия высоких энергий. 1998. Т. 32. № 6. С. 450-453.

Нечаев Геннадий Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennady G. Nechaev – Ph. D., Associate Professor
Department of Biotechnical and Medical Devices and Systems,
Gagarin Saratov State Technical University

Кучмин Игорь Борисович – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor B. Kuchmin – Postgraduate
Department of Electrochemical Production Technology,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 541.138

С.С. Попова, А.Е. Гоц, А.В. Россошанский, С.Ю. Савченко

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕДИ В РАСТВОРАХ ВОЛЬФРАМАТОВ И МОЛИБДАТОВ В ЩЕЛОЧНЫХ РАСТВОРАХ

Методом гальваностатических кривых и кривых спада потенциала после размыкания поляризирующей цепи исследовано поведение меди в растворах Li_2MoO_4 и Na_2MoO_4 . Высказано предположение об образовании слоев смешанных оксидов в

виде полимерной плёнки волокнистой структуры. Рассчитаны ёмкость двойного слоя, поляризационная ёмкость и кажущийся коэффициент переноса.

Плотность тока, потенциал, поляризация, адсорбция, коэффициент переноса, поляризационная ёмкость, полианионы, межфазная граница

S.S. Popova, A.E. Gots, A.V. Rossoshansky, S.Yu. Savchenko

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF COPPER IN TUNGSTEN AND MOLYBDENUM IN ALKALINE SOLUTIONS

The behavior of copper in the Li_2MoO_4 and Na_2MoO_4 solutions is studied using the method of galvanostatic curves and potential recession following the interruption of the polarizing circuit. It is assumed that the layers of mixed oxides are generated in the form of the polymer film fibrillation. Estimation is made for the capacity of the double layer capacitance and the apparent polarization transfer coefficient.

Current density, potential, polarization, adsorption, carrying over factor, polarizing capacity, polyanions, interphase border

Введение

Электрохимия соединений молибдена и вольфрама до сих пор является достаточно актуальной областью для проведения научных исследований. Сложность электрохимических процессов с участием соединений молибдена и вольфрама проявляется в существовании большого количества промежуточных степеней окисления, а также значительной адсорбируемостью соединений молибдена и вольфрама на электродах. Несмотря на значительный объём экспериментального материала, до сих пор нет определенной ясности в вопросе о кинетике электродных реакций в присутствии соединений молибдена и вольфрама.

Катодное восстановление вольфрамат- и молибдат-ионов на медном электроде из водных растворов позволяет получать на поверхности металлов, в частности меди, тонкие плёнки смешанных оксидов систем Cu-Mo-O, Cu-W-O, в которых металлы выступают в своей промежуточной валентности [1]. Это открывает возможность создания новых материалов для электродов химических источников тока, газовых сенсоров, катализаторов для синтеза различных супрамолекулярных соединений, нашедших применение в биологии и медицине. Использование электрохимического способа получения тонких плёнок смешанных оксидов подобного типа на металлической основе до настоящего времени не известно. Таким образом постановка работы такого типа актуальна, а результаты имеют научную и практическую ценность.

Методика эксперимента

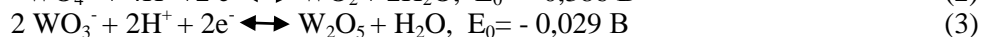
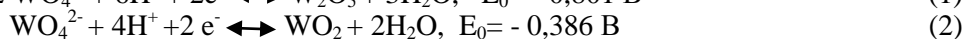
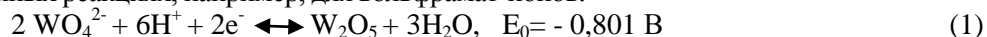
В настоящей работе использован гальваностатический метод обработки поверхности Cu-электрода в 0,01 моль/л водных растворах молибдата натрия Na_2MoO_4 и вольфрамата лития Li_2WO_4 . Исследовано влияние величины плотности тока в диапазоне от 0,5 до 30 мА/см² (при длительности катодной обработки 30 мин) на потенциал реакции. Кроме того, для характеристики продукта реакции снимались кривые спада потенциала после размыкания поляризующей цепи.

В методике снятия гальваностатических кривых обработка E,t-кривых включала определение величины ΔE – смещение потенциала при включении тока от исходного бестокового электрода $E_{0/t}$, до потенциала задержки (площадки) E_z и величина $\Delta E/\Delta t$. Бестоковые хронопотенциограммы (кривые спада потенциала после размыкания поляризующей цепи) анализировали в координатах: $\Delta E-t$, $\Delta E-lgt$, $\Delta E-lg[\Delta(\Delta E)/\Delta t]$ для определения емкости двойного электрического слоя $C_{дв}$ и кажущихся коэффициента переноса заряда α_z . Кроме того, для величины после ΔE поляризации и ΔE спада размыкания цепи строились зависимости $\Delta E-lgi$.

Обсуждение результатов

Получены новые данные о характере изменения бестокового потенциала меди: в растворах Na_2MoO_4 и Li_2WO_4 исходный бестоковый потенциал (рис. 1, 2), как и потенциал на начальном этапе поляризации (рис. 2, 4) (потенциал реакции) характеризуются пилообразным ходом зависимости от времени. В связи с этим перед поляризацией электроды выдерживали в растворе в течение 10 мин. до установления стационарного значения потенциала. Измерение бестокового потенциала Cu-электрода после размыкания поляризующей цепи в семи параллельных опытах при выбранных экспериментальных условиях показано, что потенциал колеблется в пределах $-(0,6 \pm 0,15)$ В. Обнаруженный пилообразный ход кривых $E_{0/t}-t$ может

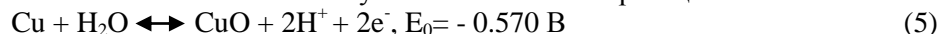
быть связан с электрохимической адсорбцией вольфрамат- и соответственно молибдат-ионов на поверхности и участием их в обменных реакциях, например, для вольфрамат-ионов:



и соответственно для молибдат-ионов



Для самой меди нельзя исключить возможность участия в обменных реакциях:



Таким образом, происходящие в отсутствие тока на Cu-электроде электрохимические процессы подтверждают образование новых неустойчивых фаз. Анализ кривых спада потенциала после размыкания поляризующей цепи в координатах $\Delta E - \lg t$ и $\Delta E - \lg [\Delta(\Delta E)/\Delta t]$ позволил оценить величину емкости двойного электрического слоя. $C_{\text{дв}}$ и кажущийся коэффициент переноса az . $C_{\text{сд}}$ составляет доли мкФ/см² от 0,3...0,8 до 6-10 для Li_2WO_4 , $az=0,51\pm 0,15$ и от 0,2...0,6 до 2...11 для Na_2MoO_4 , $az=0,55\pm 0,25$. Низкие значения $C_{\text{дв}}$ согласуются с высказанным выше предположением об образовании на поверхности электрода слоев смешанных оксидов, толщина которых определяется особенностями кристаллической решетки, включающей полимерные образования из блоков MoO_3 (WO_3) с высоким положительным зарядом на центральном атоме (Mo, W).

Зависимость ΔE от $\lg i$ характеризуется двумя задержками: в области $\Delta E - 0,005 \text{ В}$ и $-0,020 \text{ В}$, что может быть связано с присутствием на электроде двух различающихся по составу фаз.

$$\Delta E = E_3 - E_{6/t}, \lg i_k$$

$$\Delta E_1 = -0,7 \text{ В} \text{ в области } i < 10 \text{ mA/cm}^2 \text{ и } \Delta E_2 = -0,3 \text{ В} \text{ при } i \geq 10 \text{ mA/cm}^2$$

Пилообразный ход E, t – кривых имеет место и в гальваностатических условиях на начальном этапе и тем больше, чем выше плотность поляризующего тока. Сравнение гальваностатических E, t – кривых Cu-электрода в растворах Li_2WO_4 и Na_2MoO_4 (рис. 2, 3) показывает, что величина поляризации ΔE (смещение потенциала от $E_{6/t}$ до E задержки) определяется величиной плотности тока и может достигать 5 В при $i=30 \text{ mA/cm}^2$, но практически не зависит от природы щелочного катиона (Li, Na) и анионообразующего металла (W, Mo). Это позволяет говорить об общем механизме катодного процесса на электроде. Величина поляризационной емкости $C_{\text{пол}}$, определяемая как отношение $i/(\Delta E/\Delta t)$, с ростом плотности тока может возрастать на три порядка (табл. 1, 2), а зависимость ΔE от $\lg i$

Таблица 1

Влияние плотности тока на поляризационную емкость медного электрода в растворе Li_2WO_4

$i, \text{ mA/cm}^2$	0,5	1	2	5	10	20	30
$C_{\text{пол}}$	0,392	1,77	2,63	7,77	23,81	78	508,5

Таблица 2

Влияние плотности тока на поляризационную емкость медного электрода в растворе Na_2MoO_4 , (для $t=210\text{C}$)

$i, \text{ mA/cm}^2$	0,5	1	2	5	10
$C_{\text{пол}}$	268.5	318.2	600	724.14	1400

На катодных E, t – кривых при низких плотностях тока ($1-10 \text{ mA/cm}^2$) также четко прослеживаются две задержки (рис. 5). Длина первой задержки уменьшается с увеличением плотности тока и сменяется линейным ростом тока с меняющейся амплитудой колебаний даже при выходе на вторую площадку. Это согласуется с высказанным выше предположением о преобладающем влиянии адсорбционных процессов на межфазной границе.

Обнаруженный пилообразный ход кривых $E_{6/t}-t$ можно объяснить с позиций полимолекулярной каркасной структуры анионов WO_4^{2-} и MoO_4^{2-} и их высокой адсорбционной активностью. Высказано предположение, что амплитуда и частота колебаний $E_{6/t}$ во времени обусловлена протеканием реакций перехода полианионов из одного состояния в другое, различающиеся содержанием фрагментов MeO_3 и соответственно стабильностью их в растворе и адсорбционной активностью. Как показали наши расчеты, поляризационная ёмкость (табл. 1, 2) обусловлена накоплением зарядов на межфазной границе и адсорбцией полианионов. С увеличением плотности тока первая составляющая $C_{\text{пол}}$ возрастает и её влияние становится преобладающим. Высказано предположение, что вследствие адсорбции полианионов, плотность тока обмена на Cu-электроде в соответствии со стадийным механизмом, имеет более низкие значения и зависит от константы равновесия, устанавливающегося меж-

ду анионами в растворе и в адсорбированном слое смешанных оксидов Cu-W-O, Cu-Mo-O, образующихся в твёрдой фазе по механизму сопряженных реакций.

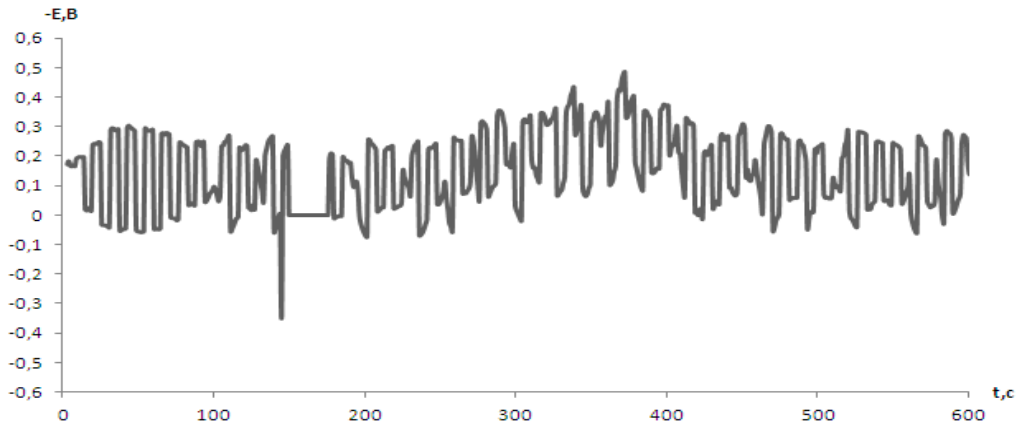


Рис. 1. Изменение потенциала медного электрода во времени в водном 0,01 М растворе Li_2WO_4 до включения тока поляризации

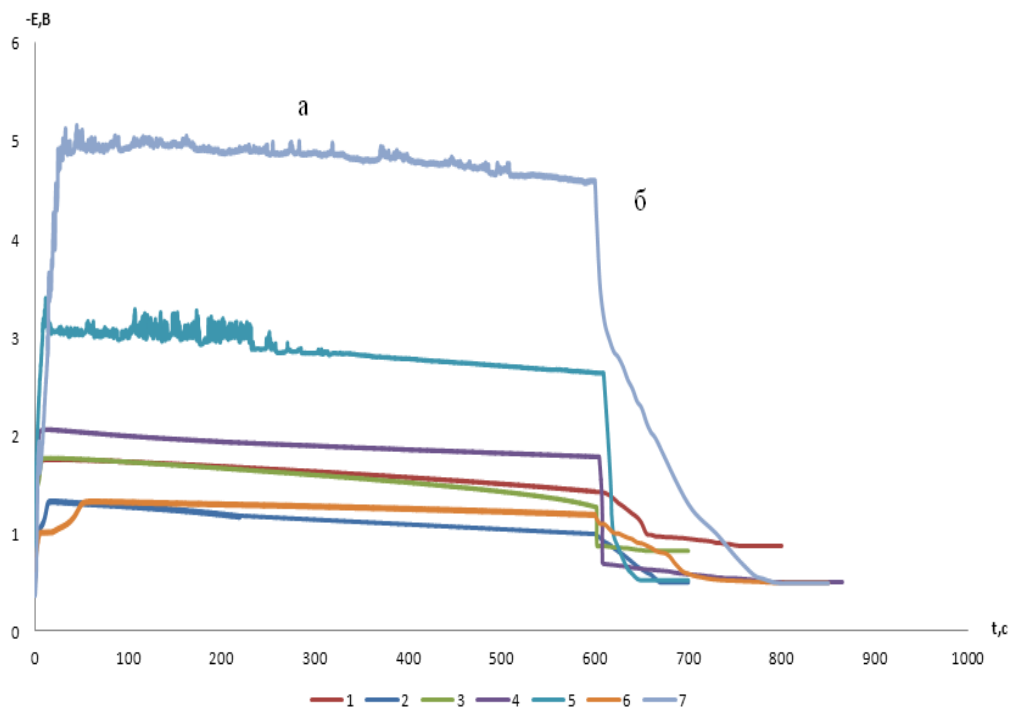


Рис. 2. Влияние плотности тока на ход хронопотенциограмм медного электрода в водном 0,01 М растворе Li_2WO_4 до (а) и после (б) размыкания цепи. Плотности тока 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 mA/cm^2 (соответственно 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

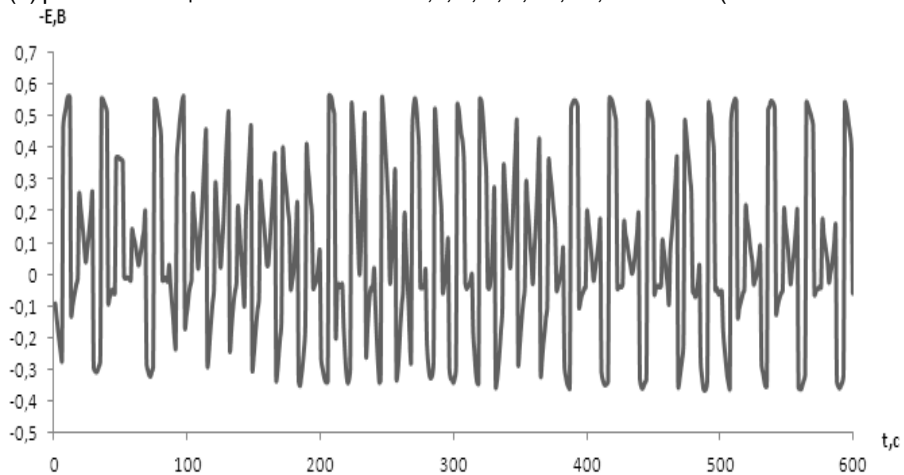


Рис. 3. Изменение потенциала медного электрода во времени до включения тока поляризации в водном 0,01 М растворе Na_2MoO_4

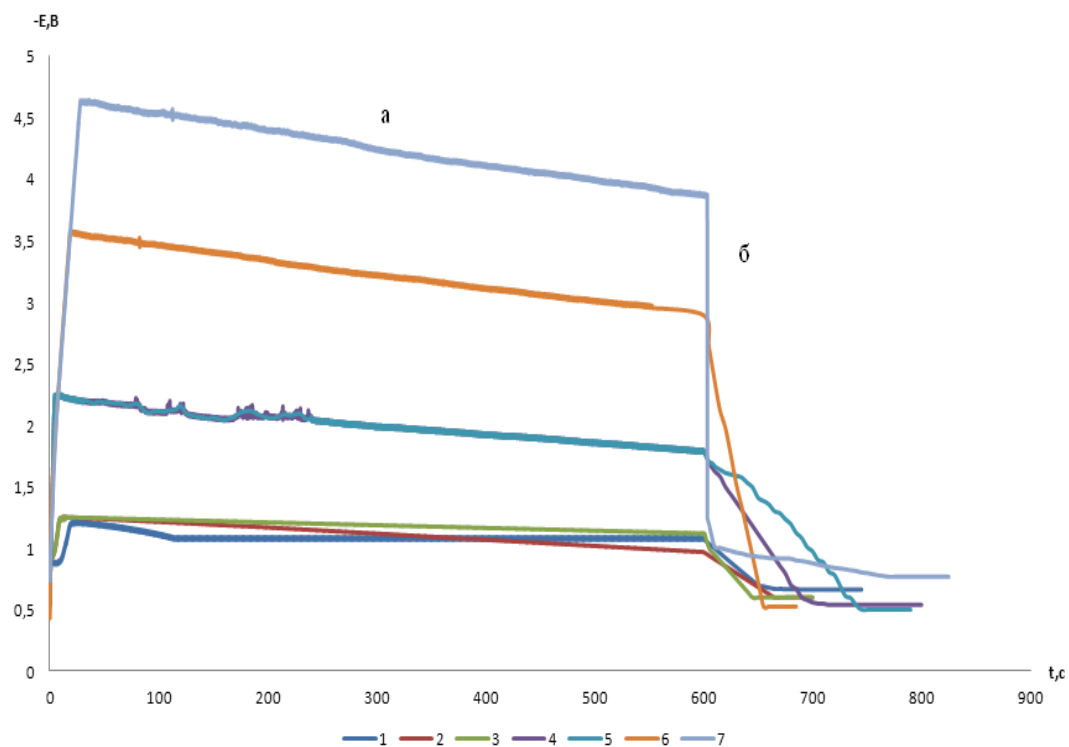


Рис. 4. Влияние плотности тока на ход хронопотенциграмм медного электрода в водном 0,01 М растворе Na_2MoO_4 до (а) и после (б) размыкания цепи. Плотности тока 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 mA/cm^2 (соответственно 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

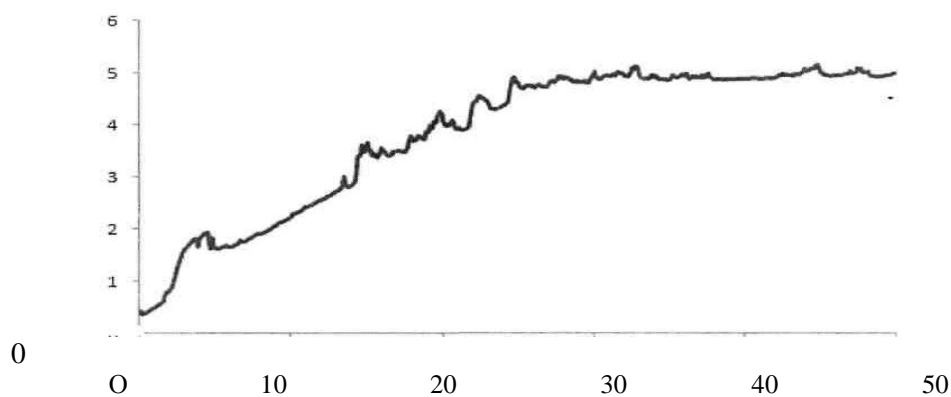


Рис. 5. Начальный участок хронопотенциграммы медного электрода в водном 0,01 М растворе Li_2WO_4 при $i_k=30 \text{ mA}/\text{cm}^2$

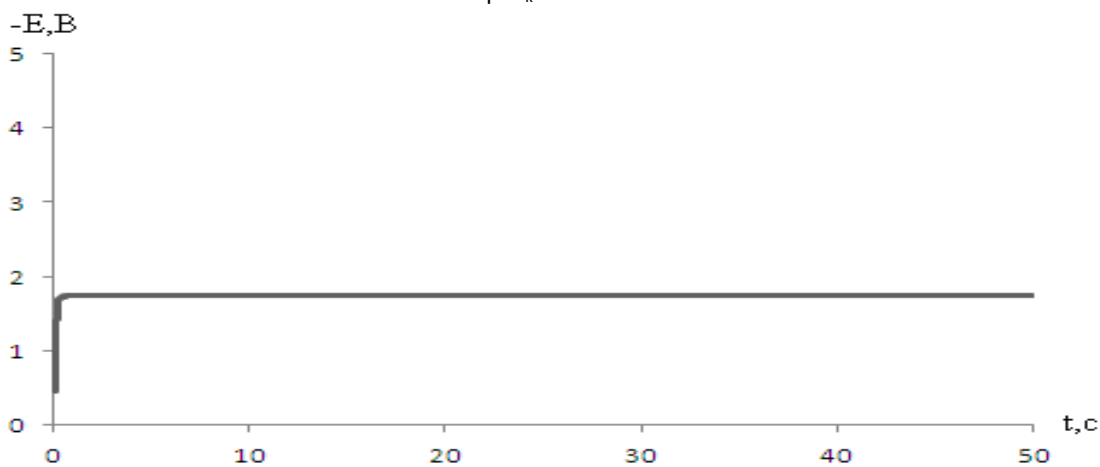


Рис. 6. Начальный участок хронопотенциграммы медного электрода в водном 0,01 М растворе Li_2WO_4 при $i_k=0,5 \text{ mA}/\text{cm}^2$

ЛИТЕРАТУРА

1. Чепелева С.А. Электрохимическое получение и свойства электродных материалов, содержащих молибден в различных степенях окисления: дис.... канд. хим. наук / С.А. Чепелева. М., 2005. 155 с.

Попова Светлана Степановна – доктор химических наук, профессор кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Svetlana S. Popova – Dr. Sc., Professor
Department of Electrochemical Production Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Гоц Александр Евгеньевич – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander E. Gots – Postgraduate
Department of Electrochemical Production Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Россошанский Александр Владимирович – студент 5 курса кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander V. Rossoshansky – Undergraduate
Department of Electrochemical Production Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Савченко Светлана Юрьевна – студент кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Svetlana Yu. Savchenko – Undergraduate
Department of Electrochemical Production Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 541.138

С.С. Попова, Р.К. Францев, Е.С. Гусева, А.Р. Жускеев

ОСОБЕННОСТИ КАТОДНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ MnO_2 ЭЛЕКТРОДА В ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИХ АПРОТОННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ

Рассмотрено влияние фуллерена на электрохимические свойства катодных материалов на основе MnO_2 . Проведен сравнительный анализ образцов, модифицированных фуллереном, с немодифицированными образцами.

Фуллерен, катодное модифицирование, интеркалирование

S.S. Popova, R.K. Frantsev, E.S. Guseva, A.R. Zhuskeev

CATHODE MODIFICATION FEATURES OF MnO_2 ELECTRODE IN FULLERENE-CONTAINING APROTIC ORGANIC SOLUTIONS

The article considers the influence of fullerene on electrochemical characteristics of the cathode materials based on MnO_2 . Comparative analysis between the samples modified with fullerene and unmodified samples was performed.

Fullerene, cathode modification, intercalation

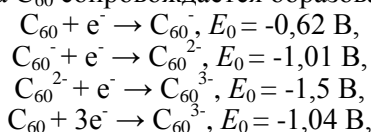
Фуллерены широко исследуются с тех пор, как был открыт простой способ их производства, а также обнаружена сверхпроводимость в соединении со щелочными металлами [1-5].

Уникальность электронной структуры и свойств фуллеренов обуславливает широкое многообразие сфер их возможного применения. Это – фуллеренсодержащие композиционные материалы; применения, основанные на использовании биофизических, фотофизических и электрофизических свойств; фармацевтика и медицина.

В частности, благодаря хорошей электронной проводимости, растворимости в органических электролитах и способности к образованию комплексов фуллерены становятся одним из главных объектов, применяемых в разработке новых эффективных источников тока [6-8].

Исследование модифицированных MnO_2 электродов в потенциостатическом режиме при потенциалах -0,2; -0,4; -0,8; и -3,0 В (относительно хлорсеребряного электрода в неводном растворе) в течение 1 часа в фуллеренсодержащих апротонных органических растворах перхлората лития (LiClO_4) показало, что переход процесса на исходном, немодифицированном электроде из анодной в катодную область токов происходит при циклировании в интервале потенциалов $0 \pm 0,25$ В при потенциалах отрицательнее -1,5 В и характеризуется появлением предельного тока, величина которого уменьшается по мере циклирования. И особенно при снижении скорости развертки потенциала, когда площадка предельного тока $i_{\text{пред}}$ перерождается в максимум. Зависимость $i_{\text{пред}}$ от скорости развертки потенциала в координатах $i_{\text{пред}} - \sqrt{V_p}$ имеет вид прямой линии, что позволяет говорить об определяющем влиянии диффузии в суммарном процессе.

Известно, что в присутствии допирующих катионов Li^+ в области потенциалов от -1,6 до +1,0 В электровосстановление фуллерена C_{60} сопровождается образованием сольватированных анионов:



где значения равновесного стандартного потенциала даны по водородной шкале; стандартный водородный потенциал $\text{C}_{60}/\text{LiC}_{60}$ равен -1,1 В, $\Delta G_{\text{гидр}}^0 = -500$ кДж/моль [9].

Это позволяет сделать заключение, что электровосстановление присутствующего в растворе фуллерена C_{60} лимитируется стадией присоединения второго электрона и протекает в диффузионном режиме. При малых скоростях развертки потенциала вблизи 0 В можно наблюдать появление второй площадки предельного тока, что может быть связано с внедрением сольватированных молекул фуллерена в структуру MnO_2 электрода.

Модифицирование MnO_2 -электрода в 0,5 М растворе салицилата лантана в диметилформамиде (ДМФА) с добавкой фуллереновой сажи при потенциале катодного внедрения $E = -2,9$ В приводит к образованию комплексного соединения активной массы электрода состава $\text{La}_{0,01}\text{Mn}_{1,99}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$.

Следует отметить, что с увеличением содержания фуллереновой сажи в растворе салицилата лантана плотность тока катодного внедрения лантана в MnO_2 электрод снижается. При этом зависимость $\lg i - \lg c$ близка к линейной. Величина наклона ($\Delta \lg i / \Delta \lg c$) $\approx -0,5$.

Методами вторично-ионной масс-спектрометрии и рентгенофазового анализа было обнаружено увеличение общего содержания углеродной массы за счет внедрения фуллерена [10].

Последующее гальваностатическое циклирование модифицированных электродов в сравнении с немодифицированными показало значительное снижение скорости деградации электрода с ростом цикла. Это можно объяснить увеличением разупорядоченности структуры оксида марганца и возникновением дополнительного числа вакансий для интеркаляции лития в ходе рабочего цикла.

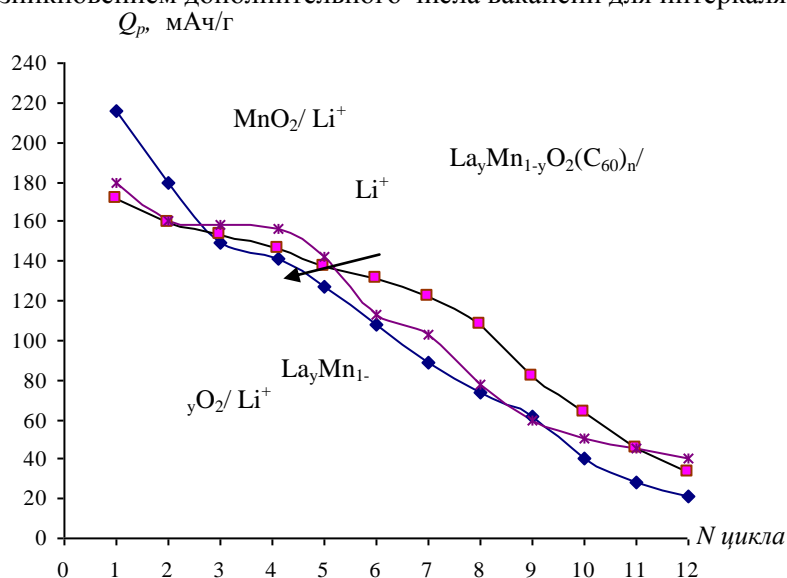


Рис. 1. Зависимость Q_p от номера N цикла при разряде до $E = 0$ В для LiMnO_2 , $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ и $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$ электродов

Для $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2(\text{C}_{60})_n$ -электродов характерен более плавный ход E,t - кривых, более «размытый» переход от одной задержки к другой. Вторая задержка охватывает при переходе от цикла к циклу более широкий диапазон потенциалов.

После отдыха ячейки в разомкнутой цепи разрядные кривые смещаются в область более высоких отрицательных значений. Это может быть связано с диффузией катионов Li^+ и La^{3+} к внешней границе с раствором. В результате длительность разряда возрастает.

Сравнительные данные по характеристикам зарядно-разрядных циклов для немодифицированного образца $\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$ электрода и образцов, модифицированных фуллереном на стадии предобработки лантаном, представлены в таблице в сравнении с литированным оксидом марганца.

Значения удельной емкости заряда/разряда в зависимости от номера цикла

Электрод	Номер цикла N	Удельная разрядная емкость Q_p , мАч/г	Удельная зарядная емкость Q_z , мАч/г	Отдача по емкости, %
Li_xMnO_2	1	218,7	240,0	91,13
	5	128,4	240,0	53,5
	10	39,3	240,0	16,38
	100	20,0	240,0	8,33
$\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_2$	1	173,0	240,0	72,08
	5	137,3	240,0	57,21
	10	70,5	240,0	29,38
	100	38,6	240,0	16,08
$\text{Li}_x\text{La}_y\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{2-\sigma}(\text{C}_{60})_n$	1	180,4	240,0	75,17
	5	141,4	240,0	58,92
	10	50,6	240,0	21,08
	100	40,3	240,0	16,79

У немодифицированного литированного оксида марганца уже на 5 цикле наблюдается глубокий спад емкости по причине наименьшей устойчивости структуры оксидного материала в сравнении с модифицированными образцами. Наибольшая отдача по емкости и наименьшая скорость деградации характерна для образцов, модифицированных лантаном в присутствии в растворе добавок фторида лития и фуллерена.

Полученные данные по анализу влияния добавки фуллерена в электролит при модифицировании MnO_2 электрода лантаном на процесс последующего интеркалирования-деинтеркалирования лития позволяет сделать вывод об эффективности использования фуллерена в качестве модификатора, позволяющего повысить сохранность заряда на электроде, тем самым увеличить длительность циклирования. Модифицирование фуллереном на стадии предобработки MnO_2 электрода позволяет получить материалы с наименьшими ограничениями по диффузии лития, с большой токопроводимостью и наименьшим сопротивлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисович Л.И. Электрохимические свойства комплексов переходных металлов с фуллереновыми лигандами C_{60} и C_{70} (ОБЗОР) / Л.И. Денисович, С.М. Перегудова, Ю.Н. Новиков // Электрохимия. 2010. Т. 46. № 1. С. 3-20.
2. Макарова Т.Л. Электрические и оптические свойства мономерных и полимеризованных фуллеренов / Т.Л. Макарова // Физика и техника полупроводников. 2001. Т. 35. Вып. 3. С. 257-267.
3. Булина Н.В. Синтез и исследование эндоздральных фуллеренов с марганцем / Н.В. Булина, Э.А. Петраковская, А.С. Федоров, Г.Н. Чурилов // Физика твердого тела. 2007. Т. 49. Вып. 3. С. 569-571.
4. Березкин В.И. Электрические и гальваномангнитные эффекты в новых фуллереновых композитах с примесью натрия / В.И. Березкин, В.И. Попов // Физика твердого тела. 2007. Т. 49. Вып. 9. С. 1719-1726.
5. Васильев П.Я. Перспективы использования прозрачных проводящих покрытий с фуллеренами и нанотрубками для дисплейных элементов нового поколения / П.Я. Васильев, Н.В. Каманина // Письма в журнал технической физики. 2007. Т. 33. Вып. 18. С. 8-13.
6. Янилкин В.В. Электрохимия фуллеренов и их производных / В.В. Янилкин, С.М. Перегудова // Электрохимия. 2003. Т. 46. № 1. С. 3-20.
7. Зубов В.И. Третья молекулярная форма углерода – фуллерены, фуллериты и фуллериды. Предыстория, открытие и физические свойства / В.И. Зубов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. Вып. 10. С. 4-17.

8. Гусева Е.С. Влияние электрохимического модифицирования MnO_2 электрода в фуллеренсодержащих растворах солей РЗЭ на его электрические характеристики / Е.С. Гусева, С.С. Попова, Р.К. Францев // Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах: X Междунар. конф. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2008. С. 160-162.

9. Влияние третьего компонента на циклируемость литиевого аккумулятора, работающего по принципу электрохимического внедрения / А.В. Калатин, Р.К. Францев, Е.С. Гусева, С.С. Попова, И.Ю. Гоц // Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах: XI Междунар. конф. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2010. С. 331-336.

10. Процессы самоорганизации при интеркалировании-деинтеркалировании лития в модифицированный лантаном MnO_2 -электрод / Р.К. Францев, Е.С. Гусева, С.С. Попова, Ю.П. Зайков, В.Б. Малков // Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении (индустрия наносистем и материалы): 7 Всерос. конф.-школа. 2009. Воронеж: ВГТУ, 2009. С. 280-288.

Попова Светлана Степановна –
доктор химических наук, профессор кафедры
«Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Svetlana S. Popova –
Dr. Sc., Professor
Department of Electrochemical Production
Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Францев Роман Константинович –
аспирант кафедры «Технология
электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Roman K. Frantsev –
Postgraduate
Department of Electrochemical Production
Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Гусева Екатерина Станиславовна –
кандидат химических наук, научный сотрудник
кафедры «Технология электрохимических
производств» Энгельсского технологического
института (филиала) Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Ekaterina S. Guseva –
Ph. D., Researcher
Department of Electrochemical Production
Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Жускеев Артем Романович –
студент кафедры «Технология
электрохимических производств»
Энгельсского технологического
института (филиала) Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Artem R. Zhuskeev –
Undergraduate
Department of Electrochemical Production
Technology,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 16.11.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 539.193/.194;535/33/34

М.Д. Элькин, В.В.Смирнов, Е.Ю. Степанович, В.Ф. Пулин, А.М. Лихтер, О.Н.Гречухина

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ УРАЦИЛОВЫХ ОСНОВАНИЙ ДНК И ИХ СПЕКТРАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Представлены результаты модельных расчетов колебательных состояний мономеров и димеров гидроксисурацилов применительно к задаче их спектральной идентификации.

Структурно-динамические модели, колебательные спектры, адиабатический потенциал, ангармонизм колебаний

M.D. Elkin, V.V. Smirnov, E.Yu. Stepanovich, V.F. Pulin, A.M. Lihter, O.N. Grechuhina

MODELLING OF VIBRATIONAL STATES FOR URACIL'S FOUNDATIONS OF DNK AND THEIR SPECTRAL IDENTIFICATION

Results of modelling calculation of vibrational states for uraciles is appeared here.

Structural dynamic models, vibrational spectra, adiabatic potential, anharmonic

Введение. Спектральная идентификация таутомеров урацила – известных оснований нуклеиновых кислот связана с предварительной теоретической интерпретацией колебательных спектров соединений. Такую возможность предоставляют неэмпирические и гибридные методы квантовой механики молекулярных объектов. Для базовой молекулы – урацила (мономеров и димеров) подобные исследования представлены, к примеру, в публикациях [1-4]. Предпочтение отдано методу функционала плотности DFT/b3LYP и базисами 6-311G** и 6-311+G** [5].

Таутомерные формы урацила – гидроксиурацилы (рисунок) связаны с появлением гидроксильных фрагментов *СОН* вместо связей *С=О* за счет атомов водорода связей *NH*. Интерпретация фундаментальных колебаний моногидроксиурацилов (МГДУ), основанная на результатах квантовых расчетов в рамках метода DFT/b3LYP/6-311+G**, представлена, к примеру, в публикации [6]. Однако авторы ограничились рассмотрением мономеров соединений в рамках гармонического приближения теории молекулярных колебаний, хотя в реальных условиях они образуют димеры и находятся в конденсированных состояниях.

В данной публикации на основании модельных квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала мономеров и димеров гидроксиурацилов построены структурно-динамические модели соединений, выявлен характер поведения полос, интерпретированных как колебания фрагментов *ОН* и *NH*, по которым можно осуществлять их спектральную идентификацию. Расчеты выполнены в ангармоническом приближении теории молекулярных колебаний. Выбор из указанных выше базисов принципиального значения не имеет. Смещение полос не превышает величины $\sim 20 \text{ см}^{-1}$, качественный характер интенсивностей полос сохраняется.

Результаты модельных расчетов и их анализ

Оценка положения полос осуществлялась по известному соотношению

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2) \quad (1)$$

Для ангармонических констант χ_{sr} использовались выражения из публикации [7]

$$\chi_{ss} = 1/16F_{ssss} - 5/48(F_{sss})^2/\nu_s + 1/32(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}) \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{ssrr} - 1/8(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;r;0) + \Omega(s;-r;0))/2 \quad (3)$$

В формулах (1)-(3) $P_\alpha = L(\alpha;sr)Q^\alpha P_r$; $L(\alpha;sr)$ – постоянные Кориолиса, ν_s – частоты гармонических колебаний (в см^{-1}); Q^s – безразмерные нормальные колебательные координаты; F_{srt} и F_{srtr} – кубические и квартичные силовые постоянные, $\Omega(s;\pm r;\pm t) = (\nu_s \pm \nu_r \pm \nu_t)^{-1}$ – резонансные функции, n_s – набор квантовых чисел колебательного состояния.

Модельные расчеты геометрических параметров и колебательных спектров таутомеров гидроксиурацилов для различных конформеров соединений, определяемых значениями двугранных углов D1(1,2,О,Н) и D2(3,4,О,Н). Значения D1=0 и D2=0 соответствуют конформерам K1, значения 180° конформерам K2. За подробностями относительно конформационной структуры МГДУ отсылаем к публикации [8].

Результаты модельных расчетов представлены в табл. 1-5.

Как следует из табл. 1, надежным признаком спектральной идентификации мономеров МГДУ являются сильные по интенсивности в ИК спектрах полосы в низкочастотном диапазоне спектра, интерпретированных как неплоские деформационные колебания связей *NH* (ρ_{NH}) и *ОН* (χ_{OH}). Отметим, что в мономере урацила [1-4] к неплоским деформационным колебаниям связей N1H и N3H отнесены полосы 667 и 560 см^{-1} , соответственно.

Конформеры мономеров дигидроксиурацила (ДГДУ) могут быть идентифицированы по наличию дублета в низкочастотном диапазоне спектра, интерпретированного как крутильные колебания гидроксильного фрагмента. Для конформеров K2(D1=0°; D2=180°) и K4 (D1=180°; D2=180°) щель между ними достигает величины $\sim 150 \text{ см}^{-1}$, а полосы сравнимы по интенсивности в ИК спектрах. Для конформеров K1 и K3 интенсивна лишь одна из полос, а щель сужается до величины порядка точности расчетов ($\sim 20 \text{ см}^{-1}$). Для идентификации ДГДУ следует также использовать интенсивность дублета, интерпретированного как проявление колебания валентного угла *СОН* (β_{OH}).

Димеры МГДУ можно разделить на две группы. В первой имеет место сильная водородная связь, в образовании которой участвуют фрагменты $C=O \cdots HN$ (табл. 2). Во вторую группу (слабая водородная связь) входят димеры типа $C=O \cdots HC5$ (табл. 2) и $C-O \cdots HN$; $C-O \cdots HC5$ (табл. 4).

Образование димеров с сильной водородной связью ($RO \cdots H = 1.66-1.75 \text{ \AA}$) приводит к существенному сдвигу ($\sim 400 - 500 \text{ см}^{-1}$) полос валентных колебаний связей NH (ν_{NH}) в длинноволновый диапазон колебательного спектра. Дублетное расщепление полос достигает величины $\sim 60-70 \text{ см}^{-1}$. В димерах симметрии $C2h$ имеет место правило альтернативного запрета для интенсивностей полос. В коротковолновый диапазон на величину $\sim 300 \text{ см}^{-1}$, смещаются полосы, интерпретированные как неплоские деформационные колебания связей NH , участвующих в образовании водородных связей. Дублеты указанных полос разнесены щелью от 30 см^{-1} до 90 см^{-1} . В спектрах КР интенсивность полос мала. В зависимости от типа таутомера смещение полос в спектрах ИК может достигать величины $\sim 50 \text{ см}^{-1}$. Имеет место и различие в значениях интенсивностей полос. Тем не менее идентификацию конформеров и таутомеров МГДУ по указанным характеристикам полос следует признать затруднительной. Следует отметить, что такой же характер поведения полос валентных и неплоских деформационных колебаний связей NH , участвующих в образовании водородных связей, имеет место и в димере урацила, однако значения частот различаются на величину $\sim 100 \text{ см}^{-1}$. Для валентных колебаний (ν_{NH}) это дублеты в диапазоне $\sim 3100-3170 \text{ см}^{-1}$, для деформационных колебаний (ρ_{NH}) – $\sim 820-890 \text{ см}^{-1}$.

Как и в мономерах, для целей идентификации следует использовать полосы, интерпретированные как крутильные колебания связей OH . Дополнительные признаки спектральной идентификации димеров МГДУ с сильной водородной связью, выявленные из анализа характеристик полос циклических фрагментов в диапазоне $1700 - 1100 \text{ см}^{-1}$, описаны в [10].

Образование слабой водородной связи между атомами кислорода гидроксильной группы и атомами водорода связей NH приводит к смещению полос валентных колебаний связей NH в длинноволновый диапазон на величину $\sim 50-100 \text{ см}^{-1}$ (табл. 4). Однако использование этого факта для спектральной идентификации таутомеров МГДУ может встретить затруднение, поскольку в реальном эксперименте контур соответствующих полос нередко имеет уширение такого же порядка. Сравнительно надежным признаком идентификации следует признать характер поведения полос, интерпретированных как неплоские деформационные колебания связей NH и OH .

Характер поведения полос валентных и деформационных колебаний связей NH в димерах урацил – МГДУ по сравнению с соответствующими мономерами наглядно иллюстрируют данные, представленные в табл. 5. Щель между положением полос валентных колебаний связей NH ($\nu_{NH \cdots}$), участвующих в образовании слабых и сильных водородных связей может достигать величины $\sim 200 \text{ см}^{-1}$, что можно использовать в качестве признака спектральной идентификации димеров урацил – МГДУ. Для этих же целей следует использовать и характеристики полос, интерпретированных как неплоские деформационные колебания связей OH (χ_{OH}) и NH (ρ_{NH}).

Заключение

Представленные результаты модельных расчетов мономеров и димеров гидроксиурацилов, их сопоставление с имеющимися экспериментальными данными по колебательным спектрам соединений дает основание утверждать следующее. Возможности метода функционала плотности позволяют осуществлять достоверные предсказательные расчеты фундаментальных колебаний урациловых оснований ДНК и использовать эти расчеты для выявления признаков спектральной идентификации для различных представителей данного класса соединений.

Таблица 1

Интерпретация колебаний связей OH и NH в конформерах моногидроксиурацилов

Форма колеб	$\nu_{\text{экс}}$ [8,9]	N1H_K1			N1H_K2			N3H_K1			N3H_K2		
		$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
2-Гидроксиурацил													
ν_{OH}	3615*	3630	60	143	3587	108	89	3587	116	115	3638	85	90
ν_{NH}	3435	3448	59	110	3462	105	104	3412	62	93	3391	29	98
ρ_{NH}	662	389	102	3.9	494	154	1.3	662	60	2.0	604	102	3.2
χ_{OH}	-	170	57	2.6	538	25	3.2	521	114	3.2	250	46	2.1
4-Гидроксиурацил													
ν_{OH}	3615*	3557	83	109	3636	72	97	3620	81	125	3628	98	120
ν_{NH}	3435	3439	75	110	3437	74	109	3403	40	102	3418	72	92
ρ_{NH}	560	643	120	0.3	640	39	0.8	579	69	3.9	642	9.2	2.3
χ_{OH}	-	590	46	5.2	389	35	3.8	256	77	2.4	380	127	2.5

Таблица 2

Интерпретация колебаний связей *OH* и *NH* – в конформерах димеров МГДУ

Форма колеб.	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
	N1H_K1			N1H_K1,2						N1H_K2		
2-гидроксиурацил ($R_{(C=O \cdots HC5)} = 2.20; 2.21; 2.22 \text{ \AA}$)												
ρ_{OH}	3633	127	364	3633	63	181	3588	105	103	3588	211	207
q_{NH}	3449	120	285	3461	109	138	3449	60	140	3462	219	271
ρ_{NH}	446	177	1.0	538	2.8	2.4	445	85	0.5	539	8.1	5.0
χ_{OH}	147	39	5.4	502	186	2.2	150	17	1.3	503	367	4.2
4-гидроксиурацил ($R_{(C=O \cdots HN1)} = 1.73; 1.72; 1.72 \text{ \AA}$)												
ρ_{OH}	3560	166	257	3635	79	132	3561	82	128	3636	157	265
q_{NH}	3000	3951		2986	4068	0.2	-	-	-	2973	4182	0
q_{NH}	2940	-	859	-	-	-	2924	0.2	858	2909	0	855
ρ_{NH}	930	77	-	929	69	-	900	0.5	3.0	962	113	0
χ_{OH}	591	194	10	591	96	5.0	409	60	3.6	408	125	7.3
2-гидроксиурацил ($R_{(C=O \cdots HC5)} = 2.29; 2.30; 2.30 \text{ \AA}$)												
ρ_{OH}	3588	244	292	3640	84	99	3588	122	145	3640	168	199
q_{NH}	3414	119	182	3413	61	92	3392	27	97	3392	55	195
ρ_{NH}	661	115	4.1	661	58	2.0	601	98	3.3	602	197	6.5
χ_{OH}	519	224	6.8	519	112	3.4	238	41	2.3	239	83	4.6
2-гидроксиурацил ($R_{(C=O \cdots HN3)} = 1.75; 1.69; 1.70 \text{ \AA}$)												
ρ_{OH}	3590	244	257	3590	129	122	3584	178	83	3564	433	156
q_{NH}	3004	3297	-	2959	3110	67	-	-	-	2919	3395	-
q_{NH}	2949	-	675	-	-	-	2877	343	595	2847	-	603
ρ_{NH}	952	124	--	962	105	0.1	889	40	0.1	934	163	-
χ_{OH}	529	202	7.4	530	104	3.6	449	72	0.5	472	191	1.8
4-гидроксиурацил ($R_{(C=O \cdots HN3)} = 1.66; 1.64; 1.72 \text{ \AA}$)												
ρ_{OH}	3529	520	168	3633	112	125	3555	203	90	3634	204	259
q_{NH}	2842	3896	0	2892	3610	60	-	-	-	2954	3787	-
q_{NH}	2757	0	554	-	-	-	2795	395	597	2892	-	705
ρ_{NH}	952	164	0	982	72	0.1	898	36	0.3	962	113	0
χ_{OH}	501	221	3.3	463	117	1.7	399	103	2.6	395	210	5.4

Таблица 3

Интерпретация колебаний связей *OH* в конформерах дигидроксиурацила

Форма колебаний	K1			K2			K3			K4		
	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
ρ_{OH}	3595	95	98	3634	70	95	3595	89	90	3634	72	95
	3569	85	118	3597	96	94	3569	72	115	3597	94	88
β_{OH}	1214	22	2.7	1215	20	2.5	1199	211	3.3	1209	120	1.1
	1179	400	1.6	1176	19	4.0	1174	213	1.5	1174	127	5.5
χ_{OH}	544	193	1.7	563	95	3.2	547	196	6.6	557	102	3.5
	552	8,4	6.0	420	90	2.6	527	3.2	1.0	419	90	2.6

Таблица 4

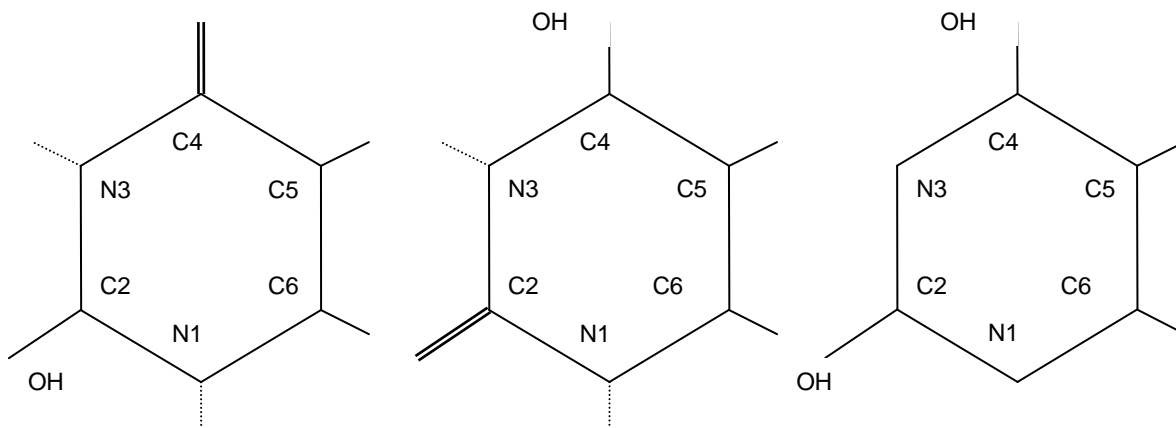
Интерпретация колебаний в димерах МГДУ со слабой водородной связью (НО---Н)

$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
$\rho_{\text{ОН}}$			ρ_{NH}			ρ_{NH}			$\chi_{\text{ОН}}$		
4-ГДУ(N3H)---2-ГДУ(N1H), $R_{(\text{HO} \cdots \text{HN1})} = 2.17 \text{ \AA}$; $R_{(\text{HO} \cdots \text{HN3})} = 1.95 \text{ \AA}$											
3624	91	103	3397	496	220	715	11	0.2	518	161	2.3
3577	124	66	3311	620	319	569	20	0.7	355	81	2.6
4-ГДУ(N3H)---4-ГДУ(N3H), $R_{(\text{HO} \cdots \text{HN3})} = 2.04$											
3628	231	179	3352	938	460	748	112	-	378	217	4.1
2-ГДУ(N1H)---2-ГДУ(N1H), $R_{(\text{HO} \cdots \text{HN3})} = 2.01$											
3568	206	150	3348	1455	655	636	154	-	515	201	7.1
2-ГДУ(N3H)---2-ГДУ(N3H), $R_{(\text{HO} \cdots \text{HN3})} = 2.03$											
3580	252	172	3329	949	463	778	89	1.3	507	199	4.7
4-ГДУ(N1H)---4-ГДУ(N1H), $R_{(\text{HO} \cdots \text{HC5})} = 2.46$											
3552	160	188	3439	163	258	648	218	0.5	559	100	9.6
4-ГДУ(N3H)---4-ГДУ(N3H), $R_{(\text{HO} \cdots \text{HC5})} = 2.64$											
3620	161	222	3402	84	201	573	141	7.6	235	137	4.3

Таблица 5

Интерпретация колебаний в димерах урацил---гидроксиурацил

$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
$\rho_{\text{ОН}}, \chi_{\text{ОН}}$			$\rho_{\text{NH}}, \rho_{\text{NH}}$			$\rho_{\text{NH} \cdots}$			$\rho_{\text{NH} \cdots}$		
Урацил---2-ГДУ(N1H), $R_{(\text{C}=\text{O} \cdots \text{HN1})} = 1.82 \text{ \AA}$; $R_{(\text{N1H} \cdots \text{OH})} = 1.99 \text{ \AA}$											
3568	95	76	3421	63	72	3331	834	240	782	100	1.1
513	97	4.1	689	31	1.2	3136	1420	502	651	1.3	1.1
Урацил---2-ГДУ(N1H), $R_{(\text{C}=\text{O} \cdots \text{HN1})} = 1.84 \text{ \AA}$; $R_{(\text{N3H} \cdots \text{OH})} = 2.01 \text{ \AA}$											
3577	104	69	3462	105	89	3307	685	168	792	23	1.3
521	107	3.4	563	58	0.9	3198	1178	452	719	49	1.9
Урацил---2-ГДУ(N3H), $R_{(\text{C}=\text{O} \cdots \text{HN3})} = 1.90 \text{ \AA}$; $R_{(\text{N3H} \cdots \text{OH})} = 2.03 \text{ \AA}$											
3577	109	84	3459	106	84	3340	495	163	858	103	0.1
519	92	2.6	569	55	0.9	3193	861	335	775	36	0.6
Урацил---4-ГДУ(N3H), $R_{(\text{C}=\text{O} \cdots \text{HN3})} = 1.88 \text{ \AA}$; $R_{(\text{N3H} \cdots \text{OH})} = 2.09 \text{ \AA}$											
3623	78	99	3419	65	69	3387	524	213	846	117	0.1
360	77	2.3	681	76	1.8	3189	1034	365	625	14	0.7
Урацил---4-ГДУ(N3H), $R_{(\text{C}=\text{O} \cdots \text{HN3})} = 1.91 \text{ \AA}$; $R_{(\text{N1H} \cdots \text{OH})} = 2.04 \text{ \AA}$											
3626	88	88	3459	108	114	3353	474	158	853	130	0.1
368	84	1.9	572	56	0.8	3188	987	369	729	0.1	1.0



Молекулярные диаграммы 2-, 4-гидроксиурацилов и дигидроксиурацила

ЛИТЕРАТУРА

1. Элькин М.Д. Проявление межмолекулярного взаимодействия в димерах урацила / М.Д. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, О.Н. Гречухина // Известия Саратов. ун-та. Серия Физика. 2008. Т. 8. Вып. 2. С. 24-30.
2. Элькин П.М. Моделирование колебательных состояний 5- и 6- азаурацилов / П.М. Элькин, А.М. Лихтер, О.Н. Гречухина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2009, №1(5). С. 48-52.
3. Системный анализ структурно-динамических моделей димеров азаурацилов в конденсированном состоянии / Е.А. Эрман, Г.П. Стефанова, Н.А. Равчеева, Е.А. Джалмухамбетова, О.Н. Гречухина, О.М. Алыкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. №3(19). С. 96-102.
4. Элькин П.М. Математическое моделирование и динамика димеров урацила и азаурацилов / П.М. Элькин, М.А. Эрман // Известия Волгоград. гос. тех. ун-та. 2012. №10 (44). С. 55-62.
5. Frisch M.J. Gaussian / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel. Inc., Pittsburgh PA, 2003.
6. Calculation and analysis of the structure and vibrational spectra of uracil tautomers / G.N. Ten, V.V. Nechev, R.S. Sherbakov, V.I. Baranov // J. Structural chemistry. 2010. Vol. 51. No. 1. P. 32-39.
7. Элькин М.Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М.Д. Элькин, Л.М. Бабков // Известия Саратов. гос. ун-та. Серия Физика. 2011, Т. 11. Вып. 1. С. 20-25.
8. Структурно-динамические модели моногидроксиурацилов в конденсированном состоянии / М.Д. Элькин, В.В. Смирнов, Н.А. Равчеева, Е.А. Джалмухамбетова, О.Н. Гречухина, А.Р. Гайсина, О.М. Алыкова // Естественные науки. 2013. №1
9. The infrared spectra of uracil, thymine, and adenine in gas phase / P. Colarusso, K. Zhang, B. Guo, P.F. Bernath // Chemical Physics Letters. 1997. V.269. P. 39-48.

Элькин Михаил Давыдович –
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Техническая физика
и информационные технологии»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail D. Elkin –
Dr. Sc., Professor
Department of Technical Physics
and Information Technologies
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Пулин Виктор Федотович –
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика» Саратовского
государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.

Victor F. Pulin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Physics
Gagarin Saratov State Technical University

Смирнов Владимир Вячеславович –
кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры «Физика» Астраханского
государственного университета
Степанович Екатерина Юрьевна –
ассистент кафедры «Физика»
Астраханского государственного университета

Vladimir V. Smirnov –
Ph. D., Associate Professor
Department of Physics
Astrahan State University
Ekaterina Yu. Stepanovich –
Assistant
Department of Physics
Astrahan State University

Лихтер Анатолий Михайлович –
доктор технических наук, доцент кафедры
«Физика» Астраханского государственного
университета

Anatoli M. Lihter –
Dr. Sc., Associate Professor
Department of Physics
Astrahan State University

Гречухина Оксана Николаевна –
кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры «Прикладная математика»
Астраханского государственного университета

Oksana N. Grechuhina –
Ph. D., Associate Professor
Department of Applied Mathematic
Astrahan State University

УДК 539.193/.194;535/33/34

П.М. Элькин, Е.Ю. Степанович, В.В. Смирнов, В.Ф. Пулин, А.М. Лихтер

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРОВ ДИМЕРОВ МУРАВЬИНОЙ КИСЛОТЫ

Представлены результаты моделирования структуры и спектров димеров муравьиной кислоты.

Структурно-динамические модели, колебательные спектры, адиабатический потенциал, ангармонизм колебаний

P.M. Elkin, E.Yu. Stepanovich, V.V. Smirnov, V.F.Pulin, A.M. Lihter

MODELLING OF STRUCTURE AND SPECTRA OF FORMIC ACID DIMERS

Results of modelling of structure and spectra of formic acid dimers is appeared here.

Structural dynamic models, vibrational spectra, adiabatic potential, anharmonic

Введение

Интерпретация колебательного спектра циклического димера муравьиной кислоты (МК) – простейшего представителя класса карбоновых кислот была предметом множество публикаций. Сошлемся для примера на обзор и список литературы в статье [1]. Причина тому сложность контура полос в высокочастотном диапазоне колебательного спектра, куда попадают валентные колебания связей *OH* и *CH* циклических димеров карбоновых кислот. За подробностями отсылаем к публикациям [2-4].

Однако, для муравьиной кислоты возможно существование нециклических димеров (рис. 1, диаграммы В, С, D, E, F). С учетом конформеров таких молекулярных объектов десять. Интерпретация их колебательных состояний, предпринятая в [1], представлена одной таблицей без необходимой для спектральной идентификации детализации. Такая детализация и является предметом данной публикации.

Анализ результатов модельных расчетов

Оценка положения полос осуществлялась по известному соотношению

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2) \quad (1)$$

Для ангармонических констант χ_{sr} использовались выражения из публикации [5]

$$\chi_{ss} = 1/16F_{ssss} - 5/48(F_{sss})^2/\nu_s + 1/32(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}) \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{ssrr} - 1/8(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;r;0) + \Omega(s;-r;0))/2 \quad (3)$$

В формулах (1)-(3) $P_\alpha = L(\alpha;sr)Q^s P_r$; $L(\alpha;sr)$ – постоянные Кориолиса, ν_s – частоты гармонических колебаний (в см^{-1}); Q^s – безразмерные нормальные колебательные координаты; F_{srt} и F_{srtu} – кубические и квартичные силовые постоянные, $\Omega(s; \pm r; \pm t) = (\nu_s \pm \nu_r \pm \nu_t)^{-1}$ – резонансные функции, n_s – набор квантовых чисел колебательного состояния.

В рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP [6] выбор базиса расчета (6-311G*, 6-311G**, 6-311+G**) не влияет на результаты теоретической интерпретации частот фундаментальных колебаний МК. Разброс данных не превосходит величины $\sim 70 \text{ см}^{-1}$ для колебаний связей *OH* и $\sim 30 \text{ см}^{-1}$ для остальных колебаний, что значительно меньше величины щели между значениями соседних частот (табл. 1-5). Отметим, что оценки ангармонических (кубически и квартичных) силовых постоянных связей *OH*, отличаются на величину такого порядка (F_{OOO} (Ag) ~ 2051 -2084, F_{OOOQ} (Ag) ~ 826 -836, F_{qqqq} (Bu) ~ 784 -796, F_{QQqq} ~ 816 -825 см^{-1}).

Механизмом образования димеров МК является водородная связь. В циклическом димере (A) длина этой связи (O...H) оценивается величиной (в Å) ~ 1.68 -1.75. Для нециклических димеров оценки таковы: B1(1.80 и 2.37), B2(1.78 и 2.31); C1(1.96 и 1.95), C2(1.85 и 1.92); D(1.90 и 2.43); E1(2.47), E2(2.41), E3(2.38); F1(2.59-и 2.43), F2(2.56 и 2.39). Влияние базиса не превышает величины 0.05 Å . Следовательно, есть осно-

вание говорить о наличии слабой и сильной водородной связи в димерах МК, приводящей к смещению полосы, интерпретированной как валентное колебание связи OH , участвующей в образовании водородной связи в длинноволновый диапазон на величину $\sim 100-200$ и $350-450$ см^{-1} соответственно. В циклическом димере имеет место сильная водородная связь ($R_{O-H} < 1.8$ Å). В конформерах димера В-типа одна сильная связь. В конформерах димера С-типа обе водородные связи следует считать слабыми ($R_{O-H} \sim 1.85-1.95$ Å), в димере D одна слабая водородная связь.

Сильная водородная связь сказывается и на частоте крутильного колебания связи OH (χ_{OH}) карбоксильного фрагмента. Соответствующая полоса смещается в высокочастотный диапазон на величину $\sim 250-300$ см^{-1} , что имеет место и для сложных карбоновых кислот. Для димеров МК со слабой водородной связью указанное смещение может достигать величины ~ 200 см^{-1} .

Следовательно, исходя из данных, приведенных в табл. 1-5, в качестве основных признаков спектральной идентификации нециклических димеров МК и их конформеров следует использовать характер поведения полос, отнесенных к валентным и крутильным колебаниям связей OH .

Дополнительными признаками спектральной идентификации исследуемых димеров является характер поведения интенсивностей полос, интерпретированных как плоские деформационные колебания гидроксильных фрагментов (β_{OH}). В конформерах конкретного типа димера интенсивности указанных полос могут отличаться порядком величины (в табл. 2-5 помечены курсивом).

Отметим также, что в мономере МК и его нециклических димерах полоса, отнесенная к неплоскому деформационное колебание связи CH отличаются слабой интенсивностью в ИК и КР спектрах. В циклическом димере указанная полоса оценивается как средняя по интенсивности в ИК спектре соединения и может быть отнесена к надежному признаку его спектральной идентификации.

Как и в публикациях [2-4], открытым остается вопрос о достоверности результатов оценки кубических силовых постоянных F_{sss} , входящих в третье слагаемое выражения (1) диагональных ангармонических констант (индекс s относится к нормальному колебанию, интерпретированному как валентное колебание связи OH , индекс r относится к симметричным колебаниям водородной связи). Согласно модельным расчетам величина указанных констант ~ 200 см^{-1} . Такого же порядка значения частот колебаний водородных связей. Следовательно, вклад последнего слагаемого может достигать величины ~ 50 см^{-1} . С учетом выражения (1), соответствующий вклад в ангармоническое смещение полос диагональных ангармонических констант приводит к смещению рассматриваемой полосы (q_{OH}) в длинноволновый диапазон величине ~ 100 см^{-1} . На величину такого порядка отличаются оценки ангармонического смещения частот валентных колебаний связей OH в димерах карбоновых кислот, полученные с помощью масштабирующего соотношения $\nu_m = \nu_r(a \nu_r + b)$ ($a = -8,4E-06$, $b = 0,9813$).

Заключение

Результаты проведенных модельных расчетов структуры и спектра димеров муравьиной кислоты, сопоставление их с имеющимися экспериментальными данными, дают основание говорить о привлечении метода функционала плотности для получения достоверных предсказательных оценок параметров адиабатического потенциала в димерах карбоновых кислот и выявлении признаков спектральной идентификации соединений.

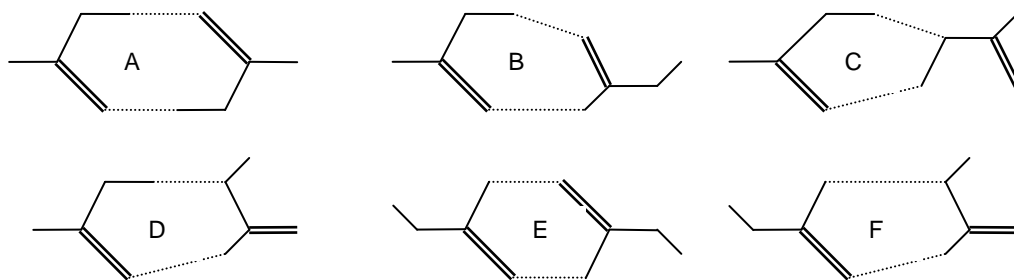


Рис. Молекулярные диаграммы димеров муравьиной кислоты

Таблица 1

Интерпретация колебательных спектров мономера и циклического димера МК

Форма колебаний	V _{экс} [1]	Мономер					Димер				
		V _{анг}	6-311G**		++G**		V _{экс} [1]		6-311G**		
			ИК	КР	ИК	КР	Газ	Матр	V _{анг}	ИК	КР
q _{ОН}	3570	3533	49	77	62	76	3000	3076	2930	2142	
	-	-	-	-	-	-	-	2802	2776		189
q _{СН}	2943	2878	54	120	43	123	2949	2947	3059	365	378
Q _{C=O}	1770	1793	340	5.7	400	10	1754	1730	1782	791	-
							1670	1671	1712	-	11
β,β _{ОН}	1387	1384	3.5	9.4	2.3	6.6	1415	1445	1420	16	0.4
β _{ОН,β}	1229	1241	7.1	0.4	9.1	1.1	1365	1396	1372	46	7.9
q _{СО,βОН}	1105	1090	251	1.7	277	2.4	1214	1228	1233	342	7.9
γ _{СО}	625	626	47	4.5	44	3.8	697	680	705	45	7.3
ρ	1033	1037	1.5	1.4	2.5	1.5	1060	1072	1065	68	3.2
χ _{ОН}	638	648	150	2.1	159	0.7	917	947	960	179	-

Таблица 2

Интерпретация колебательных спектров конформеров В-димера МК

Форма колебаний	V _{экс} [1]	Конформер_1					Конформер_2				
		V _Г	V _М	V _{анг}	ИК	КР	V _Г	V _М	V _{анг}	ИК	КР
q _{ОН}	3540	3730	3544	3531	70	84	3800	3608	3604	85	103
	3142	3397	3237	3168	901	174	3371	3213	3128	918	165
q _{СН}	-	3108	2969	2935	10	69	3046	2911	2882	86	176
	2870	3045	2910	2879	90	164	3036	2902	2869	21	47
β _{ОН,β}	-	1318	1279	1253	33	2.9	1285	1247	1245	452	2.6
q _{СО,βОН}	1180	1204	1170	1169	247	4.0	1210	1175	1188	223	4.1
	1131	1158	1125	1122	286	3.3	1139	1107	1133	44	13
γ _{СО}	669	680	664	671	31	3.2	684	668	682	29	2.1
		649	633	639	70	4.0	677	661	672	1.6	2.0
χ _{ОН}	867	904	880	862	130	0.2	909	885	881	127	0.2
	-	700	683	650	156	0.9	561	548	505	95	0.7

Таблица 3

Интерпретация колебательных спектров конформеров Е-димера МК

Форма колебаний	V _{экс} [1]	Конформер_1			Конформер_2						Конформер_3		
		V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР
q _{ОН}	3540	3550	100	194	3610	55	98	3548	50	96	3610	107	197
q _{СН}	2870	2950	26	183	2950	11	89	2870	28	73	2875	50	141
β,β _{ОН}	-	1366	9.7	25	1390	4.1	5.5	1367	4.2	15	1392	5.6	16
β _{ОН,β}	-	1277	15	1.9	1277	3.4	1.3	1243	351	3.6	1246	745	7.7
q _{СО,βОН}	-	1104	633	6.5	1109	238	7.5	1083	187	8.2	1088	170	25
γ _{СО}	658	621	128	7.2	650	11	0.2	620	63	3.7	651	17	0.7
χ _{ОН}	-	693	293	5.6	694	149	2.8	530	88	2.3	534	181	4.6

Таблица 4

Интерпретация колебательных спектров конформеров F-димера МК

Форма колебаний	V _{экс} [1]	Конформер_1			Конформер_2					
		V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР
q _{ОН}	3540	3550	105	176	3610	56	103	3549	47	83
q _{СН}	2870	2943	27	197	2944	4.2	102	2857	47	76
β,β _{ОН}	-	1373	22	28	1388	18	24	-	-	-
β _{ОН,β}	-	1265	14	1.7	1248	381	4.7	-	-	-
q _{СО,βОН}	1180	1108	281	2.1	1089	51	8.6	-	-	-
	-	1082	268	2.2	1078	261	3.2	-	-	-
γ _{СО}	669	621	102	7.5	651	10	0.3	615	40	3.8
χ _{ОН}	-	685	294	5.3	678	148	2.7	523	87	2.2

Таблица 5

Интерпретация колебательных спектров D- и C-димеров муравьиной кислоты

Форма колебаний	V _{эксп} [1]	D-димер			C-димер (K1)			C-димер (K2)		
		V _г	V _{анг}	ИК	KP	V _г	V _{анг}	ИК	KP	V _г
q _{OH}	3540	3532	71	76	3412	508	71	3413	722	33
	-	3363	545	149	3285	242	179	3285	201	236
q _{CH}	-	2926	1.9	77	2903	51	154	2942	52	151
	2870	2888	70	161	2887	57	120	2855	66	113
β,β _{OH}	-	1379	4.5	7.6	1378	8.9	7.5	1380	22	8.9
	-	1375	9.3	10	1368	10	7.6	1370	2.2	4.5
β _{OH} ,β	-	1313	13	1.5	1304	4.1	1.8	1321	11	4.3
	-	1204	1.5	0.9	1238	43	11	1235	769	7.5
q _{CO} ,β _{OH}	1131	1144	299	3.3	1149	273	2.1	1153	249	2.6
	-	1046	235	1.8	1095	509	3.9	1078	35	18
γ _{OCO}	669	659	38	3.7	669	62	6.7	685	17	1.7
	-	622	21	3.0	647	29	3.9	663	20	4.6
χ _{OH}	-	797	133	0.5	812	243	0.2	804	241	0.1
	-	639	162	1.0	732	22	0.3	705	0.5	0.1

ЛИТЕРАТУРА

1. Raman spectroscopy of formic acid and its dimers isolated in low temperature argon matrices / A. Olbert-Majkut, J. Akohas, J. Lindell, M. Petterson // *Chemical Physics Letters*. 2009. V. 468. P. 176-183.
2. Эрман Е.А. Модельные оценки ангармонического смещения полос в колебательных спектрах димеров карбоновых кислот / Е.А. Эрман, М.Д. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2010. № 4 (12). С. 53-61.
3. Моделирование адиабатических потенциалов карбоновых кислот / М.Д. Элькин, Т.А. Шальнова, В.Ф. Пулин, О.В. Колесникова // *Вестник СГТУ*. 2009. №1 (37). С. 109-114.
4. Математическое моделирование колебательных спектров димеров карбоновых кислот в конденсированном состоянии / М.Д. Элькин, Д.М. Нуралиева, А.М. Лихтер, О.М. Алыкова // *Естественные науки*. 2011. № 2 (55). С. 210-215.
5. Элькин М.Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М.Д. Элькин, Л.М. Бабков // *Известия Саратов. гос. ун-та. Серия Физика*. 2011, Т. 11. Вып. 1. С. 20-25.
6. Gaussian / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.V. Schlegel. Inc., Pittsburgh PA, 2003.

Элькин Михаил Давыдович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Степанович Екатерина Юрьевна – ассистент кафедры «Физика» Астраханского государственного университета

Смирнов Владимир Вячеславович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика» Астраханского государственного университета

Пулин Виктор Федотович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Лихтер Анатолий Михайлович – доктор технических наук, доцент кафедры «Физика» Астраханского государственного университета

Mikhail D. Elkin – Dr. Sc., Professor
Department of Technical Physics and Information Technologies
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Ekaterina Yu. Stepanovich – Assistant
Department of Physics Astrahan State University

Vladimir V. Smirnov – Ph. D., Associate Professor
Department of Physics
Astrahan State University

Victor F. Pulin – Ph. D., Associate Professor
Department of Physics
Gagarin Saratov State Technical University

Anatoli M. Lihter – Dr. Sc., Associate Professor
Department of Physics
Astrahan State University

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621

Ю.А. Аникеева, Б.М. Изнаиров

БАЗИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК В МАШИНОСТРОЕНИИ

Обоснована необходимость уточнения теории базирования заготовок для их обработки. Рассмотрены неточности в имеющейся теории, а также положения теоретической механики, на которых основывается эта теория. Приведены аргументы в отношении ошибочности мнений и заблуждений по данному вопросу. Рассмотрены ограничения и допущения для разработки полной понятной теории базирования.

Схема базирования, теория базирования заготовок, двухсторонние геометрические связи, материальная точка, динамический винт

Yu.A. Anikeeva, B.M. Iznairov

PREFORMS REGISTRATION IN MECHANICAL ENGINEERING

The article deals with the necessity to clarify the performs registration theory for their treatment process. Inaccuracies are examined for the existing theory, as well as the arguments relating the erroneous opinions and misconceptions on the subject. Limitations and assumptions are considered referring the development of an absolutely clear registration theory.

Scheme-based, the theory of performs registration, two-sided geometric relationships, the material point, the dynamic screw

В ведущих периодических изданиях, специализирующихся на машиностроительной тематике, множество работ посвящено теме базирования заготовок. В настоящее время опорными и обязательными для применения являются ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения» [1] и ГОСТ 3.1107-81 «ЕСТД. Опоры, зажимы и установочные устройства» [2]. Несмотря на свой солидный «возраст», они до сих пор являются объектами изучения и недоумения из-за содержащихся в них противоречий.

Так, в качестве основной схемы базирования в [1] используется схема, изображенная на рис. 1. Указывается, что для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в избранной системе координат на них необходимо наложить шесть двухсторонних геометрических связей.

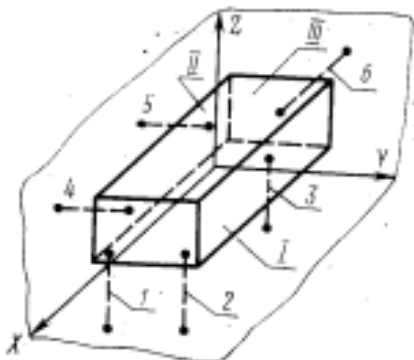


Рис. 1. Схема базирования призматической детали: 1-6 – двусторонние связи, I, II, III – базы детали

Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами.

Авторы ГОСТ 21495-76 и практически все авторы, участвующие в полемике по вопросу несовершенства теории базирования в технической печати, декларативно распространяют ее положения и на случаи базирования заготовок для их последующей обработки, и на ситуации, сопровождающие процессы сборки из этих деталей механизмов и машин. Мы берем на себя ответственность утверждать, что теория базирования заготовок должна быть узко специализированной и предназначенной только для реализации ее положений в технологических процессах обработки исходных и промежуточных заготовок деталей.

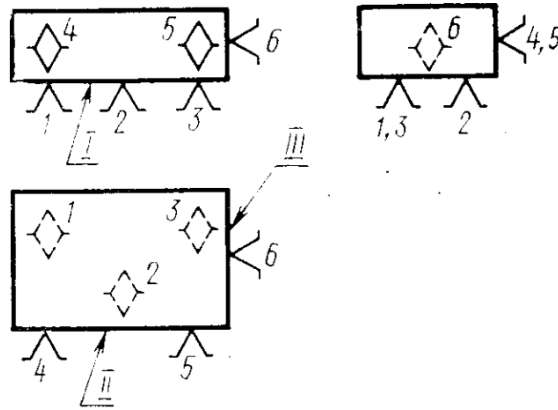


Рис. 2. Схема базирования призматической детали

Парадоксальность общепринятой на сегодняшний день теории базирования заключается в том, что, претендуя, с одной стороны, на некую степень обобщения ее положений и распространение их на граничные области техники, она, с другой стороны, построена фактически на сугубо частных, хоть и широко распространенных случаях базирования заготовок простейших форм: параллелепипеда и кругового цилиндра. При этом опять-таки декларируется, что основываются авторы, конечно же, на положениях теоретической механики. На деле дальше этих утверждений дело не идет! Безапелляционно утверждается, в частности, что у каждого тела есть шесть степеней свободы, и если мы хотим обеспечить полную определенность положения тела в пространстве, надо эти шесть степеней отобрать путем приложения к нему шести двусторонних связей.

Числом степеней свободы твердого тела называется число независимых параметров, которые однозначно определяют положение тела в пространстве относительно рассматриваемой системы отсчета.

Свободная материальная точка в пространстве имеет три степени свободы: например декартовы координаты x , y и z . Координаты точки могут определяться также в цилиндрической (r, φ, z) и сферической (r, φ, ϕ) системах отсчета, но число параметров, однозначно определяющих положение точки в пространстве, всегда три.

Материальная точка на плоскости имеет две степени свободы. Если в плоскости выбрать систему координат xOy , то координаты x и y определяют положение точки на плоскости, а координата z тождественно равна нулю.

Свободная материальная точка на поверхности любого вида имеет две степени свободы. Например: положение точки на поверхности Земли определяется двумя параметрами: широтой и долготой.

Материальная точка на кривой любого вида имеет одну степень свободы. Параметром, определяющим положение точки на кривой, может быть, например, расстояние вдоль кривой от начала отсчета.

Рассмотрим две материальные точки в пространстве, соединенные жестким стержнем длины l . Положение каждой точки определяется тремя параметрами, но на них наложена связь.

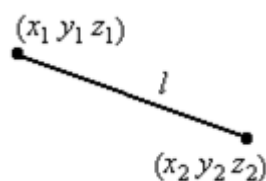


Рис. 3. Определение положения точки

Уравнение $l^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$ является уравнением связи. Из этого уравнения любая одна координата может быть выражена через остальные пять координат (пять независимых параметров). Поэтому эти две точки имеют $(2 \cdot 3 - 1 = 5)$ пять степеней свободы.

Рассмотрим три материальные точки в пространстве, не лежащие на одной прямой, соединенные тремя жесткими стержнями. Число степеней свободы этих точек равно $(3 \cdot 3 - 3 = 6)$ шести.

Свободное твёрдое тело в общем случае имеет 6 степеней свободы. Действительно, положение тела в пространстве относительно какой-либо системы отсчета определяется заданием трех его точек, не лежащих на одной прямой, и расстояния между точками в твердом теле остаются неизменными при любых его движениях. Согласно вышесказанному, число степеней свободы абсолютно твердого тела в пространстве должно быть равно шести.

Если тело движется по поверхности (например, автомобиль), оно имеет три степени свободы: возможность поступательного движения вперед-назад, влево-вправо и вращения в плоскости, касательной к поверхности. Если же тело, например тележка тельфера, движется по рельсу, то оно имеет только одну степень свободы – возможность перемещения вдоль этого рельса.

Таким образом, произвольное тело в самом общем случае в пространстве имеет шесть степеней свободы. Но это пространство – математическое, «стерильное», как в первый день сотворения мира. Оно чисто умозрительное. В природе и в технике имеет место пространство физическое, в котором на каждое тело действует множество сил, накладывающих определенные ограничения на возможность его перемещения.

Теперь вспомним, о чем говорит основная теорема статики.

Произвольная система сил F_i , приложенная к абсолютно твердому телу, эквивалентна системе сил, состоящей из силы \vec{R} , равной геометрической сумме сил, приложенной в любой точке O тела и пары сил (\vec{P}, \vec{P}_1) с моментом \vec{L}_0 , равным сумме моментов всех сил относительно точки O (Рис. 2.1).

Сила \vec{R} называется главным вектором системы сил. Момент пары, составляющей совместно с главным вектором систему, эквивалентную произвольной системе сил, называется главным вектор-моментом. Замена системы сил силой \vec{R} , приложенной в точке O и парой (\vec{P}, \vec{P}_1) с моментом \vec{L}_0 , называется приведением системы сил, а сама точка O называется центром приведения.

Совокупность силы и пары сил с моментом, коллинеарным силе, называется динамой или динамическим винтом (см. рис. 4).

Прямая при приведении к точкам которой данная система сил заменяется динамой или одной равнодействующей силой, называется центральной осью симметрии. Величина главного момента системы относительно точек центральной оси является минимальной. В случае приведения произвольной системы сил, действующих на однородное твердое тело, центральная ось симметрии проходит через его центр тяжести и является линией действия главного вектора системы и главного вектор-момента системы.

Таким образом, в каждый момент времени любое твердое тело, находясь под действием произвольной пространственной системы сил (не обязательно постоянной величины и направления), имеет **только две** степени свободы: возможность поступательного перемещения в направлении линии действия главного вектора системы сил и возможность вращения под действием главного вектор-момента системы сил вокруг центральной оси. Динама для каждого тела в реальном пространстве играет роль того самого рельса, по которому только и может двигаться тележка тельфера.

Условие равновесия системы сил в векторной форме заключается в следующем.

Для того чтобы абсолютно твердое тело находилось в состоянии покоя под действием произвольной системы сил, необходимо и достаточно, чтобы главный вектор системы сил и главный вектор-момент системы сил относительно любого центра приведения были равны нулю.

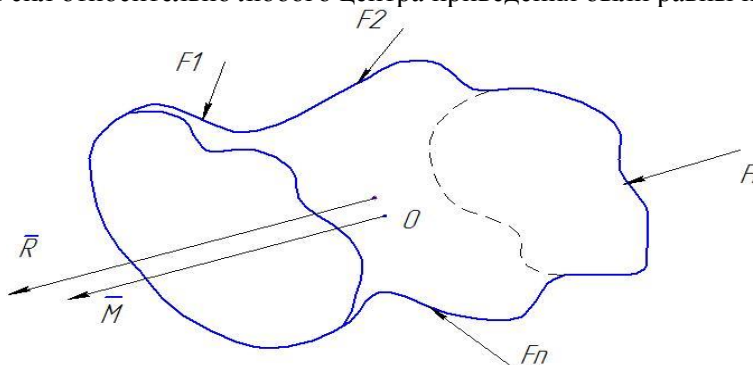


Рис. 4. Динамический винт

То есть твердое тело будет находиться в статическом равновесии при одновременном равенстве нулю обоих этих векторов. Но это частный случай. В общем случае, если хотя бы один из них не равен нулю, тело будет стремиться двигаться. Предотвратить это перемещение (поступательное, вращательное или оба одновременно), то есть лишить тело степеней свободы, возможно, только приложив в каждый момент времени точно по линии действия главных векторов системы сил равные им по модулю и противоположно направленные векторы силы и момента (рис. 5). Или, если знать заранее направление и величину главных векторов, расположить на линии их действия опорные поверхности установочных элементов приспособления, обеспечив, таким образом, статическое равновесие и определенность базирования этого тела.

Строго говоря, векторы $-\bar{R}$ и $-\bar{M}$ во всех практических случаях, а именно в конструкциях приспособлений, являются геометрической суммой векторов всех сил, противодействующих данной системе сил F .

Условие равновесия системы сил в аналитической форме (вторая теорема статики) выглядит следующим образом.

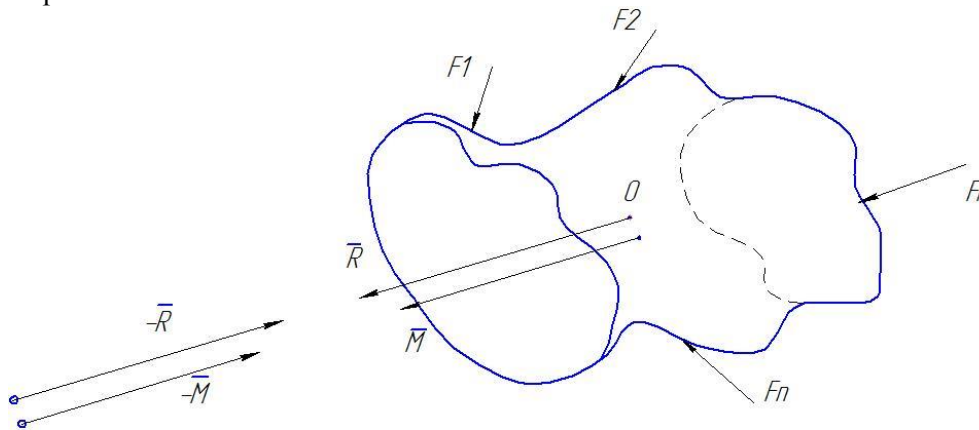


Рис. 5. Статическое равновесие тела под действием сил, направленных против главных векторов системы

Для того чтобы абсолютно твердое тело находилось в состоянии покоя под действием произвольной системы сил, необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на оси декартовых координат и суммы моментов всех сил относительно трех осей координат были равны нулю.

Это – абсолютная и непререкаемая с начала XX века истина. Ее мы и эксплуатируем до сих пор. Порок, однако, не в этом, а в том, что этот раздел непротиворечивой теории одни исследователи абсолютизируют и обобщают на несвойственные ей объекты, а другие – еще и искажают, тиражируя в своих публикациях откровенные заблуждения и ошибки.

Казалось бы, все ясно: математиками найдено изящное решение проблемы, позволяющее при всей примитивности вчерашнего (да и сегодня еще используемого) технологического оборудования и средств его оснащения достигать требуемого на сегодняшний день уровня точности изготавливаемых изделий, в частности за счет обеспечения определенности базирования заготовок деталей при их обработке.

Однако вторая теорема статики сформулирована применительно только к пространственной прямоугольной системе координат. При этом полностью игнорируется множественность систем координат. По-видимому, именно это обстоятельство направило развитие теории базирования по «единственно верному, истинному» пути, который и привел ее в теперешнее «растрепанное» состояние с дикими формулировками «правила шести точек», «скрытыми» базами и т.п. И к такому положению, при котором большинство специалистов (особенно практиков) не владеют основами знаний по правильному базированию заготовок для их обработки, а теоретические курсы преподавания этой дисциплины построены методически неверно и даже порочно. Настоятельно необходимо повысить степень общности этой теории; более стройно систематизировать принципиальные положения; исправить очевидные ошибки; привести к виду, удобному для преподавания, восприятия, понимания и использования.

Для того чтобы начать разработку такой теории, необходимо сформулировать определенные ограничения и допущения. Мы также сформулируем основные из них, причем здесь и далее будем максимально использовать общепринятую на сегодняшний день терминологию.

Итак:

1. В качестве объектов базирования будем рассматривать абсолютно твердые однородные тела.
2. Тело – абсолютно жесткое. Теоретическая схема базирования не должна учитывать наличия у реальной заготовки нежестких элементов.

3. Поверхности тела, используемые для его базирования, описываются некоторыми математическими функциями, непрерывными или кусочными, но не имеют погрешностей расположения, формы, описываемой этими функциями, и шероховатости.

4. Для того чтобы теория учитывала возможность воспроизводимости (идентичной повторяемости) результатов базирования указанных выше тел, их должно быть несколько (целая партия) с одинаковыми размерами и формой, т.е. выполненных с нулевыми значениями допусков размеров, формы, расположения и шероховатости.

Очень важным в теории базирования является понятие координатной связи, однако ни в стандартах, ни в технической литературе это понятие однозначно не сформулировано. Поэтому предлагаем, на наш взгляд, наиболее универсальное описание свойств таких связей.

1. Координатную связь (далее – связь) можно представить в виде стержня с бесконечно малым поперечным сечением, имеющего длину, равную расстоянию от базового элемента тела до координатной поверхности.

2. Длина связи не может изменяться в процессе базирования тела, т.е. координаты точки контакта связи с базирующей поверхностью (координаты опорной точки) в выбранной системе координат постоянны в процессе базирования как одного тела, так и целой их партии.

3. «Материал», из которого состоит связь, – абсолютно прочный на растяжение-сжатие, изгиб, кручение, срез и т.д.; не имеет теплового расширения; немагнитен; не удерживает заряд статического электричества; химически инертен; абсолютно твердый, но не повреждает базовые поверхности и не внедряется в них; не имеет массы.

4. В контакте связи с базовой и координатной поверхностями не возникает трения и контактных деформаций.

6. Каждая отдельно взятая связь может по-разному взаимодействовать с различными базирующими поверхностями. В контакте с одной связью у тела, являющегося объектом базирования, могут быть отобраны одна или более степеней свободы в зависимости от формы базовой поверхности, с которой эта связь взаимодействует. Контактная связь с плоской или выпуклой базовой поверхностью тела, являющегося объектом базирования, она удерживает его только в направлении нормали к координатной поверхности, т.е. вдоль «стержня» и не удерживает в тангенциальных направлениях. При контакте со связью вогнутых базирующих поверхностей они могут отбирать во взаимодействии с ней две или три степени свободы.

5. Связи могут попарно «взаимодействовать» друг с другом, создавая момент сопротивления возможному вращению тела, являющегося объектом базирования, относительно осей систем координат или их радиус-векторов.

6. Количество связей, необходимых для полного базирования тела произвольной формы, может варьироваться в зависимости от формы его базовых поверхностей, выбранной системы координат и схемы размещения связей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1976. 36 с.

2. ГОСТ 3.1107-81 (СТ СЭВ 1803-79). Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения. М.: Изд-во стандартов, 1981. 11 с.

Аникеева Юлия Александровна – магистрант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Yuliya A. Anikeeva – Master's student
Department of Mechanical Engineering Technology,
Gagarin Saratov State Technical University

Изнаиров Борис Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Boris M. Iznairov – Ph. D., Associate Professor
Department of Mechanical Engineering Technology,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

А.С. Ильных

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Изложены научно-методические основы высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути, формирующей повышенные эксплуатационные свойства рельсов за счет обеспечения требуемого качества обрабатываемой поверхности и геометрической точности поперечного профиля с учетом условий эксплуатации рельсов.

Абразивная обработка, шлифование рельсов, точность, качество поверхности

A.S. Ilynykh

RESEARCH AND METHODOLOGICAL BASIS FOR HIGH-PERFORMANCE TECHNOLOGY OF THE RAIL GRINDING IN RAIL ROADS

The article describes the research and methodological basis of a high-performance technology for grinding rails in the railway systems used to form the improved operational properties of the rails by providing the required quality of the treated surface and geometric accuracy of the cross-section taking into account the operating conditions of the rails.

Abrasive, rail grinding, accuracy, surface quality

Введение

Российские железные дороги – одна из крупнейших железнодорожных магистралей мира, являющаяся ключевым звеном транспортной системы нашей страны.

Наиболее дорогостоящим и ответственным элементом железнодорожного пути, состояние которого в первую очередь определяет бесперебойное и надежное движение поездов, являются рельсы. Для поддержания рельсового хозяйства в исправном состоянии ежегодно требуется более 3 миллионов тонн новых рельсов. В современных условиях эксплуатации железных дорог с ростом скоростей движения и грузонапряженности потребность в новых рельсах с каждым годом только возрастает, поэтому задача продления жизненного цикла рельсов имеет огромное значение для путевого хозяйства.

Наиболее перспективным направлением в решении данной задачи является технология шлифования рельсов с применением рельсошлифовальных поездов, позволяющая производить механическую обработку головки рельсов без их демонтажа в условиях железнодорожного пути.

Перечень дефектов рельсов, удаляемых шлифованием с применением данной технологии, достаточно обширен и включает в себя: волнообразные износы, механические повреждения, смятия и отслоения металла. При этом одной из главных целей шлифования является формирование поперечного профиля рельсов. Периодическая корректировка профиля шлифованием позволяет обеспечить наилучший контакт колеса с рельсом, равномерно распределить внутренние напряжения по поверхности рельса и тем самым продлить его эксплуатационный ресурс на 15...20 %.

Эксплуатационные свойства рельсов характеризуются противодействием образованию и развитию трещин, контактно-усталостных дефектов и износа, возникновение которых в значительной степени определяется качеством профилирования головки рельса.

Применение технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути усложняется необходимостью закрытия целых перегонов для движения поездов (организация технологических «окон»). Это приводит к значительным убыткам, связанным с ограничением пропускной способности участков пути, задержкой движения и снижением скорости перевозок. Уменьшение этих издержек может быть обеспечено за счет повышения производительности рельсошлифовальных поездов, позволяющей сократить продолжительность «окон».

На основании вышеизложенного, вопрос создания новой высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути, формирующей повышенные эксплуатационные свойства рельсов за счет обеспечения качества их профилирования, является первоочередной и актуальной проблемой для путевого комплекса отрасли. Решение этой проблемы сдержива-

ется отсутствием научно-методических основ в данном вопросе, позволяющих производить анализ процесса шлифования рельсов и оценивать эффективность тех или иных технологий.

Основные положения

На современных рельсошлифовальных поездах реализована схема плоского шлифования торцом круга, которая применяется в стационарных условиях на станках.

Вопросу повышения эффективности процесса абразивной обработки посвящено много работ. Представленные в них теоретические модели и эмпирические зависимости могут быть применены для оценки эффективности различных видов шлифования, однако, учитывая специфику шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути, применение этих моделей затруднительно, а в некоторых случаях невозможно.

Анализ работ, посвящённых различным аспектам теории и практического применения технологии шлифования рельсов, показал, что наряду со схожестью схем шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути и шлифования на станках существуют принципиальные отличия, вносящие существенные изменения в процесс обработки рельсов и влияющих на качество выполняемых работ [1].

Во-первых, шлифование рельсов проводится за счет силового замыкания кинематической цепи «абразивный круг – обрабатываемая поверхность». Каждый отдельный шлифовальный круг прижимается к головке рельса пневмоцилиндром, при этом усилие прижатия шлифовального круга к рельсу определяется давлением в пневмоцилиндре, которое автоматически регулируется в зависимости от токовой нагрузки на обмотках электродвигателя.

Во-вторых, условия резания каждого отдельно работающего круга значительно различаются в зависимости от угла наклона шлифовальной головки. Так, при обработке поверхности катания одним кругом захватывается большая зона, чем при обработке рабочего скругления головки рельса. То есть на различных участках головки рельса формируются дорожки шлифования различной ширины и на этих участках действует различная удельная нагрузка на единичное зерно.

В-третьих, существенные различия в работу абразивного инструмента вносят значительные изменения физико-механических свойств рельсов. В процессе эксплуатации в пути значительно изменяются свойства по сечению головки рельса. Прежде всего, происходит резкое изменение твердости. Повышение твердости на отдельных участках головки рельса способствует ужесточению условий работы шлифовальных кругов.

Указанные отличия приводят не только к различной производительности и неодинаковому износу шлифовальных кругов, но и к разному качеству обработанной поверхности, которое в дальнейшем будет характеризовать различные эксплуатационные свойства отдельных участков головки рельса [1].

Основным параметром, определяющим эффективность процесса шлифования, является глубина среза единичным абразивным зерном. На основе кинематического анализа процесса шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути среднюю глубину единичного среза абразивными зёрнами можно определить по формуле

$$a_{cp} = \sqrt{\frac{t \cdot S_n}{80 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot v_{cp} \cdot (R_{kp} - r_{kp}) \cdot Z}}, \quad (1)$$

где t – глубина резания шлифовальным кругом, мм; S_n – рабочая скорость рельсошлифовального поезда (продольная минутная подача), м/мин; γ – передний угол режущей части абразивного зерна, град; v_{cp} – средняя скорость движения зерен, расположенных на разном расстоянии от оси вращения круга, м/с; R_{kp} , r_{kp} – наружный и внутренний радиусы шлифовального круга, мм; Z – концентрация зерен на рабочей поверхности шлифовального круга, шт./мм².

Анализ полученной зависимости показал, что влияние режимных факторов на глубину срезов абразивными зёрнами в равной степени одинаково на всем диапазоне их изменения. Увеличение одного из параметров в два раза при постоянных других приводит к изменению a_{cp} в среднем в 1,4 раза. Проведенный кинематический анализ позволил сделать следующие выводы:

1. Увеличение глубины резания и продольной подачи инструмента приводит к повышению интенсивности съема металла за счет увеличения размеров единичных срезов.
2. Повышение скорости вращения шлифовального круга способствует снижению сил резания действующих на единичное зерно, за счет уменьшения размеров удаляемых стружек.
3. Наибольшее повышение эффективности процесса шлифования рельсов торцом круга можно достичь за счет применения повышенных скоростей вращения абразивного инструмента с пропорциональным увеличением интенсивности съема металла при тех же силах резания.
4. Определение рациональных значений возможного повышения режимных параметров шлифования требует рассмотрения кинематики процесса в комплексе с силовой моделью процесса шлифования рельсов.

С точки зрения обеспечения максимальной производительности задача, решаемая силовой моделью, сводится к определению максимально возможной глубины единичного среза $a_{кр}$, превышение которой приводит к вырыванию абразивного зерна из связки шлифовального круга. С учетом специфики рельсошлифования величина $a_{кр}$ будет определяться следующим выражением:

$$a_{кр} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot \sigma_{св} \cdot K_{смп}}{16 \cdot K_1 \cdot \tau_c \cdot tg \gamma}}, \quad (2)$$

где d_3 – диаметр абразивного зерна шлифовального круга, мм; $\sigma_{св}$ – предельная величина напряжений материала связки на растяжение, МПа; $K_{смп}$ – коэффициент структуры шлифовального круга, учитывающий наличие пор в зоне контакта абразивного зерна со связкой; τ_c – касательные напряжения, при которых происходит сдвиг в зоне деформации, МПа; $K_1 = \sqrt{3.25} \cos \beta_1 / \sin \beta$, где β – угол между плоскостью сдвига и линией среза; β_1 – угол между линией среза и направлением равнодействующей от сил пластического деформирования срезаемого слоя.

В соответствии с полученными выражениями максимально возможная глубина резания шлифовальным кругом определена из расчета критической нагрузки на единичное зерно. Для этого приравняли величину $a_{кр}$, рассчитанную из условия прочности закрепления зерна в связке (2), к величине $a_{ср}$, определенной по кинематическим параметрам (1), а полученное уравнение решили относительно t :

$$t = \frac{1,25 \cdot \pi \cdot d_3^2 \cdot \sigma_{св} \cdot K_{смп} \cdot v_{ср} \cdot (R_{кр} - r_{кр}) \cdot Z}{K_1 \cdot \tau_c \cdot S_n}. \quad (3)$$

Полученная формула устанавливает взаимосвязь глубины резания шлифовальным кругом с кинематическими и силовыми параметрами процесса шлифования, характеристикой шлифовального круга и обрабатываемого материала и позволяет рассчитывать глубину резания шлифовальным кругом при работе инструмента в режиме самозатачивания. Величина глубины резания, полученная по данной формуле, позволяет обеспечить максимальную производительность шлифования. При этом полученное значение t является предельно допустимым, а его превышение приведет к катастрофическому износу абразивного инструмента.

Задача прогнозирования и назначения глубины резания усложняется тем, что данный параметр напрямую взаимосвязан с шириной дорожки шлифования, изменение которой приводит к изменению глубины резания.

Полученный результат по определению оптимальной глубины резания позволяет подойти к решению задачи по определению ширины дорожки шлифования B , которая наряду с глубиной резания является основополагающей при формообразовании головки рельса. Для её определения в качестве исходных данных примем геометрические параметры фактического поперечного профиля рельса, расчетную глубину резания и обрабатываемый участок головки рельса, определяемый углом наклона φ шлифовальной головки. Для определения фактического поперечного профиля головки рельса использовался рельсовый профилометр, позволяющий производить измерения в полярной системе координат. При этом измеренный профиль рельса представляется массивом точек с координатами $(R_i; \varepsilon_i)$, а геометрию профиля можно описать уравнением:

$$R = f(\varepsilon), \quad (4)$$

где R – радиус-вектор измеряемой точки профиля, мм; ε – полярный угол в измеряемой точке, град.

Для определения ширины дорожки шлифования рассмотрим участок поперечного профиля рельса в полярной системе координат (рис. 1).

Для начала необходимо знать, в какой именно точке головки рельса произойдет контакт со шлифовальным кругом, т.е. необходимо определить координаты точки К с учетом угла наклона φ шлифовальной головки.

Торцевую поверхность шлифовального круга представим прямой $m-m$, касательной к профилю рельса в точке К. С учетом того, что искомые координаты одновременно принадлежат касательной и профилю рельса, их значения определяются совместным решением нормального уравнения прямой $m-m$ с уравнениями параметризации координат точки К, полученных в соответствии с выражением (4):

$$\begin{cases} x_K \cos \psi + y_K \sin \psi - (x_K / \cos \varepsilon_K) \cdot \cos(\psi - \varepsilon_K) = 0 \\ x_K = f(\varepsilon_K) \cos \varepsilon_K \\ y_K = f(\varepsilon_K) \sin \varepsilon_K \end{cases} \quad (5)$$

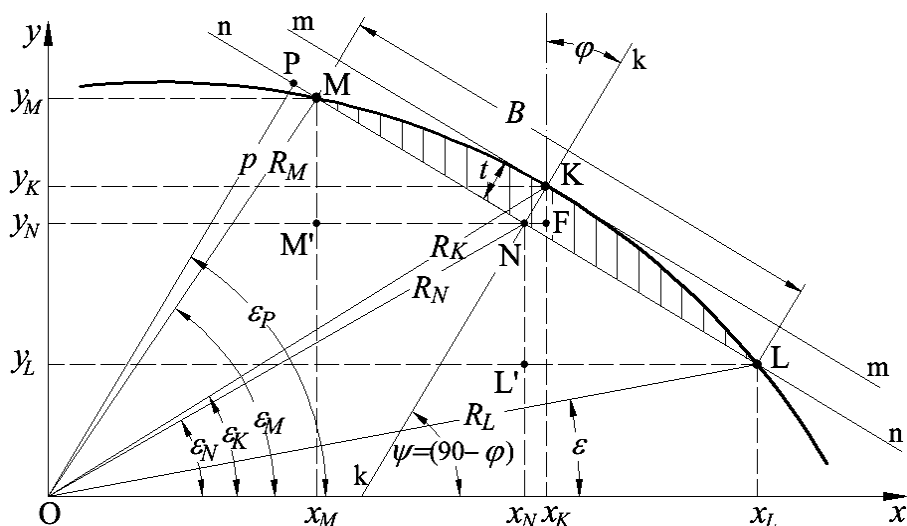


Рис. 1. Схема к определению ширины дорожки шлифования

При работе шлифовальный круг врезается в поверхность рельса на заданную глубину t , которую можно определить по нормали к обрабатываемой поверхности, отложив из точки К отрезок KN, равный значению t .

Проведем через точку N прямую, параллельную касательной m-m. Секущая прямая n-n пересекает границы профиля в точках M и L. Расстояние между этими точками определяет ширину дорожки шлифования B :

$$B = \overline{MN} + \overline{NL}, \tag{6}$$

где $\overline{MN} = \sqrt{(x_N - x_M)^2 + (y_M - y_N)^2}$; $\overline{NL} = \sqrt{(x_L - x_N)^2 + (y_N - y_L)^2}$.

Таким образом, задача определения ширины дорожки шлифования сводится к нахождению координат точек M и L, которые одновременно принадлежат секущей n-n и профилю рельса, т.е. значения координат точек M и L можно определить совместным решением нормального уравнения прямой n-n с уравнениями параметризации координат этих точек:

для точки M:	для точки L:
$\begin{cases} x_M \cos \psi + y_M \sin \psi - R_N \cos(\psi - \varepsilon_N) = 0 \\ x_M = f(\varepsilon_M) \cos \varepsilon_M \\ y_M = f(\varepsilon_M) \sin \varepsilon_M \end{cases}$	$\begin{cases} x_L \cos \psi + y_L \sin \psi - R_N \cos(\psi - \varepsilon_N) = 0 \\ x_L = f(\varepsilon_L) \cos \varepsilon_L \\ y_L = f(\varepsilon_L) \sin \varepsilon_L \end{cases}$

Совокупность данных о ширине дорожки шлифования в зависимости от глубины резания на каждом отдельном участке профиля дает возможность определения и назначения последовательности формирования ремонтного профиля рельса.

При обработке шлифованием формируется качественно новый уровень физико-механических свойств поверхности, который в значительной степени влияет на усталостную прочность, износостойкость и общую долговечность рельсов. Основными параметрами качества поверхности, которые регламентируются нормативно-технической документацией по шлифованию рельсов, являются шероховатость и наличие прижогов на обработанной поверхности. В совокупности эти параметры определяют физическое состояние поверхности рельса после механической обработки.

Определение истинного влияния режимов шлифования рельсов на формирование шероховатости обработанной поверхности осуществлялось на основе экспериментальных данных. Зависимость шероховатости R_z от исследуемых факторов представлена линейным уравнением регрессии [2]:

$$R_z = 193 \cdot t + 34 \cdot d_s + 0,15 \cdot S_n - 0,44 \cdot v_{cp} - 16. \tag{8}$$

Формирование математических моделей и последующий анализ температурных полей применительно к процессу абразивной обработки базировались на анализе реальной физической картины взаимодействия поверхности обрабатываемого рельса с источниками теплообразования и фактических данных о свойствах материала, коэффициентах теплоотдачи и т.д. [3]. Выбор и обоснование метода расчета температурных полей в материале проводились, исходя из положения, что источник теплоты является внешним, а его распространение в твердом теле подчиняется уравнению Фурье:

$$c\rho \frac{dT}{d\tau} = \frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{dT}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\lambda \frac{dT}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(\lambda \frac{dT}{dz} \right) + c\rho \left(V_x \frac{dT}{dx} + V_y \frac{dT}{dy} + V_z \frac{dT}{dz} \right). \quad (9)$$

Шероховатость поверхности и температура в зоне резания формируют остаточные напряжения в поверхностных слоях обработанной поверхности, которые в значительной степени определяют её эксплуатационные свойства. Оценка остаточных напряжений основывалась на модели, в соответствии с которой суммарные остаточные напряжения определяются как [2]:

$$\sigma_{\text{сум}} = -\sigma_{\text{сил}} \pm \sigma_{\text{тем}} \pm \sigma_{\text{стр}}, \quad (10)$$

где $\sigma_{\text{сил}}$ – силовые остаточные напряжения; $\sigma_{\text{тем}}$ – температурные остаточные напряжения; $\sigma_{\text{стр}}$ – остаточные напряжения от структурно-фазовых превращений.

Рассмотрев на основе представленных моделей возможность увеличения производительности шлифования рельсов можно сделать следующий вывод: наиболее благоприятным направлением повышения эффективности профильного шлифования рельсов является увеличение рабочей скорости поезда, т.к. это приводит к снижению теплового воздействия на рельс при обработке и уменьшению остаточных напряжений в поверхностном слое (рис. 2). С увеличением глубины резания наблюдается обратный эффект.

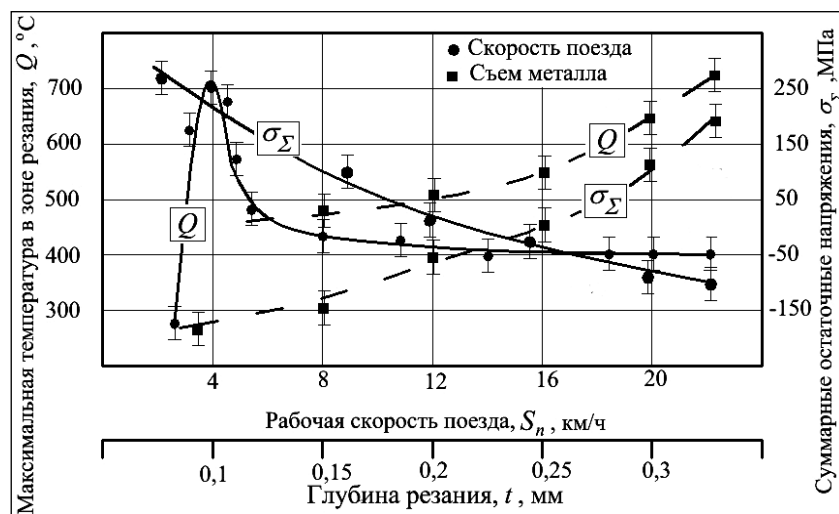


Рис. 2. Влияние режимов шлифования рельсов на температуру в зоне резания и остаточные напряжения в поверхностном слое

Представленные модели позволили выявить закономерность формирования шероховатости обработанной поверхности с учетом силового и температурного воздействия и её взаимосвязь с параметрами технологического процесса, позволяющую реализовать управление качеством поверхности при шлифовании рельсов.

Определение эксплуатационных свойств поверхности катания рельсов после шлифования осуществлялось по критерию трещиностойкости, усталостной прочности и износостойкости [4].

Исследования проводились на специально разработанных установках. Анализ результатов испытаний на циклическую трещиностойкость показали, что увеличение микронеровностей после шлифования приводит к снижению циклической трещиностойкости. При этом грубое шлифование ($R_z=80$ мкм) может снизить трещиностойкость рельсов на 70...80 %, что можно считать результатом влияния остаточных растягивающих напряжений, наведенных в поверхности сильным местным нагревом и повышенной шероховатостью. Отмечено, что при определенных режимах шлифования наклеп, формирующийся в процессе механической обработки, в определенной степени нейтрализует действие концентраторов напряжений от полученных микронеровностей, тем самым увеличивая параметры трещиностойкости [4].

Оценка влияния шероховатости на контактно-усталостную прочность и износостойкость показала, что снижение шероховатости в среднем на 20 мкм позволяет увеличить контактно-усталостную прочность рельсов на 16...18 % и износостойкость на 22...24% [4].

Проведенные исследования показали, что для обеспечения повышенной эксплуатационной стойкости рельсов необходимо формировать шероховатость поверхности при шлифовании с учетом их исходной твердости и условий эксплуатации. На основе напряженного состояния головки рельса в

процессе работы с учетом вида нагружения в зависимости от кривизны участка пути и его расположения, определены значения шероховатости поверхности, обеспечивающие повышенные эксплуатационные свойства рельсов.

Таким образом, установлены закономерности изменения эксплуатационных свойств отшлифованных участков головки рельса по критериям циклической трещиностойкости, контактно-усталостной прочности и износостойкости. Это позволило обосновать методологию обеспечения повышенных эксплуатационных свойств рельсов за счет формирования требуемой шероховатости на отдельных участках головки рельса, воспринимающих различные виды нагружения в процессе эксплуатации.

Заключение

Проведенные исследования позволили получить следующие новые научные результаты:

- разработан комплекс математических моделей процесса шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути. Данные модели учитывают характеристики рельсошлифовального оборудования, параметры шлифовальных кругов, физико-механические свойства рельсов и технологические параметры процесса обработки при определении максимальной производительности с требуемым качеством профилирования рельсов и позволяют использовать глубину резания в качестве управляемого параметра механической обработки через усилие прижатия шлифовального круга к рельсу с экспериментально определенной погрешностью 10...12 %;

- разработана методика формообразования поперечного профиля головки рельса несколькими инструментами, работающими по схеме плоского шлифования торцом круга, учитывающая технологическое наследование после обработки каждым абразивным кругом. Данная методика позволяет обеспечить геометрическую точность головки рельса при формировании ремонтного профиля в соответствии с нормативно-технической документацией, минимизировать количество проходов рельсошлифовального поезда и производить нормирование выполняемых операций;

- выявлены закономерности изменения эксплуатационных свойств головки рельса после шлифования по критериям циклической трещиностойкости, контактно-усталостной прочности и износостойкости в зависимости от параметров качества поверхности. Полученные численные значения подтверждают возможность управления уровнем эксплуатационных свойств рельсов на основе формирования требуемых параметров качества обработанной поверхности. Изменение шероховатости обработанной поверхности рельсов на 20 мкм приводит к изменению её износостойкости на 22...24 %, трещиностойкости и усталостной прочности на 16...18 %;

- обоснована методология обеспечения повышенных эксплуатационных свойств рельсов за счет формирования требуемой шероховатости на отдельных участках головки рельса, воспринимающих различные виды нагружения в процессе эксплуатации. Для обеспечения повышенной трещиностойкости и контактно-усталостной прочности шероховатость отдельных участков головки рельсов формируется в зависимости от их поверхностной твердости и условий нагружения. Для обеспечения повышенной износостойкости формируется минимально возможная шероховатость.

Полученные новые научные результаты позволили обосновать и разработать научно-методические основы высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути, ставшие основой для формирования следующих технических и технологических решений:

- разработан высокопроизводительный технологический процесс шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути, обеспечивающий повышенные эксплуатационные свойства рельсов за счет формирования требуемых параметров качества обработанной поверхности. Новый технологический процесс позволил увеличить эксплуатационный ресурс рельсов до 30...40 %, снизить эксплуатационные расходы на 15...20 % за счет экономии абразивного инструмента, расходных материалов и топлива;

- разработана автоматизированная система проектирования технологических процессов шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути. Её применение позволяет реализовать принципиально новый подход в планировании технологических воздействий, выборе режимов и условий шлифования, заключающийся в обеспечении повышенного уровня эксплуатационных свойств рельсов с максимальной производительностью, за счет обеспечения качества профилирования рельсов;

- создано рабочее оборудование рельсошлифовального поезда для реализации высокопроизводительного технологического процесса, позволяющее увеличить рабочую скорость рельсошлифовального поезда с 6...8 км/ч до 12...15 км/ч при величине съёма металла 0,25...0,30 мм/ход. Реализация разработанной технологии с помощью нового рабочего оборудования позволяет повысить эф-

фektivность выполнения работ по следующим критериям: увеличение производительности шлифования рельсов в 2...2,5 раза, сокращение в 1,5...2 раза время производства работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильиных А.С. Особенности современной ресурсосберегающей технологии шлифования рельсов в пути / А.С. Ильиных // Политранспортные системы: материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. Красноярск: СГУПС, 2010. С. 249-253.
2. Ильиных А.С. Формирование качества поверхности при плоском шлифовании торцом круга / А.С. Ильиных // Технология машиностроения. 2011. № 4. С. 19-22.
3. Ильиных А.С. Теплофизический анализ процесса плоского шлифования рельсов торцом круга / В.А. Аксенов, А.С. Ильиных // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Машиностроение. 2012. № 33. С. 96-100.
4. Ильиных А.С. Режимы стойкости и пределы усталости / А.С. Ильиных, В.М. Григорьев // Мир транспорта. 2007. № 1 (17). С. 58-62.

Ильиных Андрей Степанович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технология транспортного машиностроения
и эксплуатация машин» Сибирского
государственного университета путей сообщения

Andrey S. Ilinykh –
Ph. D., Associate Professor
Department of Transport Engineering Technology
and Operation of Machines,
Siberian State University of Railways

Статья поступила в редакцию 19.11.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 532.522.2:532.529.6

К.А. Копылов

О ВЫЯВЛЕНИИ НИЗКОСКОРОСТНЫХ ЗОН В ПРОЦЕССЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ПРУТКОМ В СПРЕЙЕРЕ

Исследовано влияние расположения, количества форсунок и скорости впрыска на гидродинамические процессы взаимодействия теплоносителя с прутом в спрейерной камере. Для того, чтобы произвести количественную оценку размеров низкоскоростных зон, введен коэффициент K_3 , характеризующий долю поверхности прутка со скоростью движения теплоносителя вблизи поверхности $v \leq 0,001$ м/с. Определено, что минимальный коэффициент $K_3 = 0,346$ обеспечивается режимом впрыска теплоносителя со скоростью $v_A \geq 7$ м/с через три форсунки, расположенные под углом $\psi = 60^\circ$.

Гидродинамика, пружина, обтекание прутка, низкоскоростная область, спрейерная камера

К.А. Kopylov

FORMATION OF STAGNANT ZONES IN THE PROBLEM OF INTERACTION BETWEEN THE COOLANT AND ROD IN THE SPRAY CHAMBER

The article deals with the impact of the location, number of injectors and injection rate on hydrodynamic processes of the interaction between the coolant with the rod in the spray chamber. The K_3 coefficient characterizing the spread of stagnant zones in the computational domain has been introduced to quantify the results. It has been deter-

mined that the minimum ratio $K_3=0,346$ provides a mode of coolant injection speed $v_A \geq 7$ m/s in three nozzles at the $\psi=60^\circ$ angle.

Hydrodynamic, spring, surface flow of rod, stagnant zone, the spray chamber

Введение. В настоящее время курс в развитии машиностроения в России взят на разработку и использование материалов, повышающих надежность и срок службы изделий, а изучение процессов гидродинамики и теплообмена определяет качество многих технических операций. Также известно, что эффекты, возникающие в подобных процессах, широко распространены в энергетическом, теплообменном и технологическом оборудовании различных областей промышленности; отсюда высокая актуальность подобных задач.

В [1] проведено численное моделирование течения двухфазной среды в вихревом теплогенераторе, отражены причины роста температуры рабочей жидкости, представлены современные численные модели кавитации и кавитационного массопереноса при помощи пакетов вычислительной гидродинамики на примере численного моделирования кавитации в вихревых теплогенераторах. Для решения системы уравнений авторами использован программный комплекс «ANSYS CFX». Задача была проработана и решена в трехмерной постановке с использованием k-ε модели турбулентности, уравнения нагрева жидкости, модели кавитации. Результаты вычисления показали наличие поля температур, подтверждающее возможность теплообмена и возникновения кавитационных эффектов в области камеры завихрения и входа потока в отдельных областях расчетной области.

Визуализация поперечного обтекания кругового цилиндра пульсирующим потоком выполнена авторами [2]. Получена структура течения в ближнем следе за цилиндром, предложена карта режимов обтекания и представлено их описание. Результаты экспериментальных исследований показали, что существуют режимы течения, в которых процесс формирования вихрей за цилиндром подстраивается под частоту пульсаций внешнего потока, выявлены режимы наибольшей интенсификации теплоотдачи по сравнению с обтеканием цилиндра стационарным потоком.

Известны также результаты визуальных исследований структуры потока при течении затопленной круглой струи в узком плоскопараллельном канале [3]. На основании анализа фотографий картин течения показано образование характерных вихревых структур, однако для понимания особенностей течения требуется детальное измерение поля скорости во всех обнаруженных областях потока.

Из проведенного анализа литературы следует, что неотъемлемой частью подавляющего большинства технологий изготовления изделий машиностроения является термическая обработка сталей, поэтому в настоящее время одной из важнейших задач становится оптимизация режимов термической обработки. При этом высокотемпературная механическая обработка (ВТМО) пружин является одной из задач, которую данная программа не затронула.

Особенность ВТМО состоит в том, что после горячей деформации происходит закалка пружины, которая позволяет получить в материале пересыщенный твердый раствор с нерекристаллизованной структурой [4]. Отмечается, что классические технологии термической обработки, включающие закалку с последующим отпуском, уже практически исчерпали свой потенциальный оптимизационный запас и нуждаются в качественной модификации с целью повышения вязкостно-пластических свойств при сохранении прочностных характеристик.

В процессе закалки в основном используют газожидкостные смеси, которые представляют собой дисперсные системы. Главной особенностью таких систем является наличие изменяющейся в пространстве и во времени поверхности раздела фаз. Эти изменения влекут за собой силовые и тепловые взаимодействия на границе раздела, которые, в свою очередь, могут являться причиной появления градиентов скорости течения обеих фаз, давления, температуры и концентраций компонентов. Все эти эффекты воздействуют на процессы тепло- и массопереноса и могут как интенсифицировать, так и тормозить тепломассообмен. С другой стороны, указанные явления сами воздействуют на поверхность раздела фаз, изменяя ее распределение в пространстве [5].

Физическая постановка задачи. Технологический процесс изготовления пружин методом ВТМО характеризуется последовательностью операций нагрева, горячей деформации (навивки на оправку) и закалки [6]. В [7] представлены результаты оценки тепловых потерь процесса изготовления пружин методом ВТМО, в рамках решения нестационарных двумерных задач теплопроводности, с учетом принятого допущения о равномерном отводе тепла от поверхности охлаждаемого прутка. На практике охлаждение тел при помощи теплоносителя нарушает принятое допущение, поэтому исследовано расположение низкоскоростных зон (областей) при взаимодействии теплоносителя с прутком.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия теплоносителя с прутком и оправкой в спрейерной камере.

Теплоноситель поступает в пространство спрейерной камеры, которое в первоначальный момент времени заполнено газом (воздух). При взаимодействии теплоносителя с поверхностью прутка и оправки возможно образование застойных зон (циркуляционного течения).

В расчетах низкоскоростной принята область со скоростями $v_{обт} \leq 0,001$ м/с. В [7] отмечено что, чем меньше скорость $v_{обт}$, тем ниже местный коэффициент теплоотдачи α . Таким образом, следствием образования низкоскоростных зон, будет являться снижение местного α .

Задачей исследования является определение условий (скорость впрыска, расположение и число форсунок, геометрия спрейерной камеры), обеспечивающих равномерный подвод теплоносителя к охлаждаемой поверхности.

Ввиду нестационарности и пространственности процесса в постановке задач используется ряд допущений:

1. Пространство спрейерной камеры рассматривается как двухфазная двухкомпонентная изотермическая среда (вода – вязкая несжимаемая жидкость, воздух – газ).
2. Каждая из сред принята неразрывной.

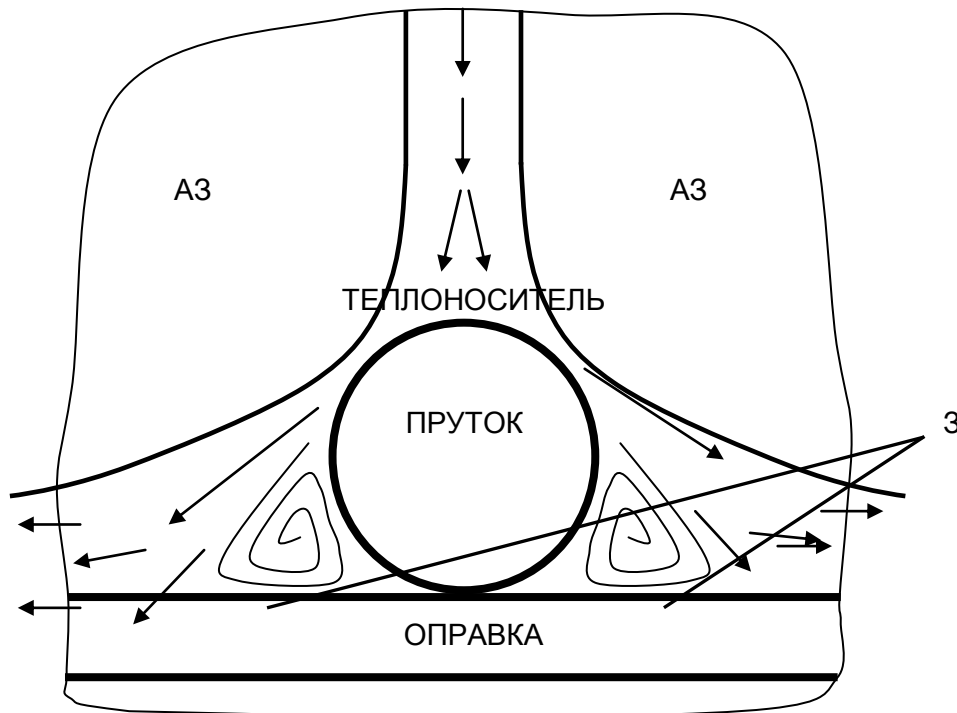


Рис. 1. Схема движения теплоносителя в спрейерной камере. 3 – области низкоскоростного движения теплоносителя (интервал скорости в области $v_{обт} \leq 0,001$ м/с)

Двухмерная задача гидродинамики. Математическая постановка. При моделировании гидродинамического процесса взаимодействия струи из форсунки с поверхностью прутка решается система уравнений (1)-(4), записанных в общем виде [8]. Уравнение неразрывности для i -й составляющей в дифференциальной форме запишется следующим образом:

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \nabla(\rho_i v_i) = \sum_{j=1}^N J_{ji} \quad (1)$$

где ρ_i – плотность i -го компонента смеси; v_i – скорость i -го компонента смеси; J_{ji} – интенсивность перехода массы из j -й в i -ю (или из i -й в j -ю, тогда $J_{ji} < 0$) в единице объёма смеси в единицу времени; t – время.

Поскольку в рассматриваемой задаче фазовые переходы отсутствуют, то $J_{ji}=0$, уравнение неразрывности для смеси в целом примет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (2)$$

где ρ – плотность смеси; \mathbf{v} – скорость смеси.

Уравнение, выражающее изменение импульса для i -й составляющей в дифференциальной форме, запишется в виде

$$\frac{\partial \rho_i v_i}{\partial t} + \nabla^k \rho_i v_i u_i^k = \nabla^k \pi_i^k + \rho_i g_i + \sum_{j=1}^N P_{ji} \quad (3)$$

где π_i^k – тензор поверхностных сил i -го компонента смеси; $\rho_i g_i$ – массовые силы i -го компонента смеси; P_{ji} – интенсивность обмена импульсом между j -й в i -й составляющими. Здесь тензор поверхностных сил и вектор массовых сил, относящиеся к среде в целом:

$$\boldsymbol{\pi} = \sum_{i=1}^N \boldsymbol{\pi}_i, \quad \rho \mathbf{g} = \sum_{i=1}^N \rho \mathbf{g}_i.$$

С учетом принятых допущений к постановке задачи уравнение изменения импульса для смеси в целом запишется в виде

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \nabla^k \boldsymbol{\pi}^k + \rho \mathbf{g}, \quad (4)$$

где $\boldsymbol{\pi}^k$ – тензор поверхностных сил смеси; \mathbf{g} – ускорение свободного падения.

Начальные и граничные условия. Схема расчетной области представлена на рис. 2.

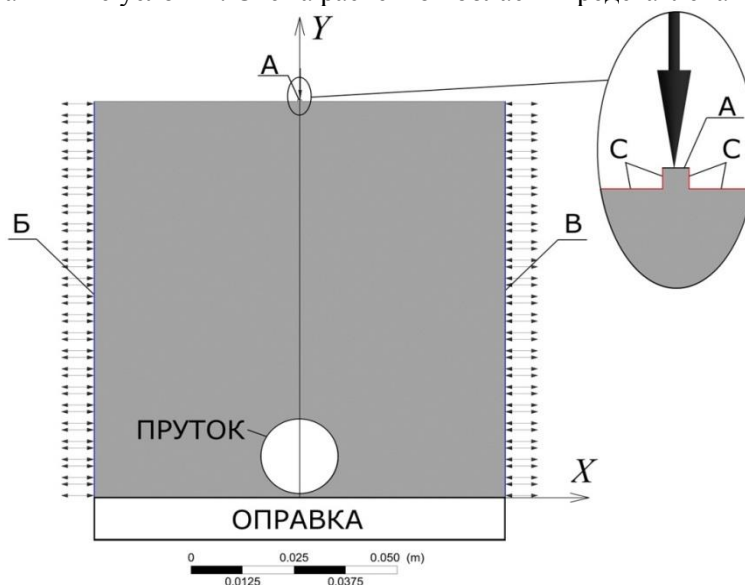


Рис. 2. Схема расчетной области

В начальный момент времени при $\tau=0$ внутреннее пространство спрейерной камеры заполнено воздухом, при этом объёмная доля воздуха $S_{AIR0}(\tau=0)=1$, доля воды $S_{WATER0}(\tau=0)=0$, давление в спрейерной камере $P_0(\tau=0)=10^5$ Па.

Нормальная v_n и касательная v_t составляющие скорости на поверхности прутка, оправки и спрейера (границы «С») равны нулю:

$$v_n = 0 \text{ м/с}, \quad v_\tau = 0 \text{ м/с}.$$

На границе «А» задаётся нормальная составляющая скорости впрыска теплоносителя:

$$v_A|_n = const.$$

Скорость подачи СОЖ изменяется в интервале от 0,5 м/с до 9 м/с, поскольку $v_A|_n \leq 0,5 \text{ м/с}$ не обеспечивает охлаждение прутка за время нахождения в спрейере ($\tau_{\text{MAX}}=5 \text{ с}$) [7].

На левой «Б» и правой границе «В» задаются «мягкие» граничные условия.

На границе раздела сред выполняется условие динамического равновесия:

$$(\tau_1 - \tau_2)e = (p_1 - p_2 + \sigma K)e;$$

$$v_{n1} = v_{n2} = 0;$$

$$v_{\tau1} = v_{\tau2},$$

где τ_i – тензор вязких напряжений; e – единичный нормальный вектор; p_i – давление i -го компонента смеси; K – кривизна поверхности взаимодействия фаз; σ – коэффициент поверхностного натяжения [9].

Определено, что в принятом интервале скоростей впрыска теплоносителя число Рейнольдса изменяется с $Re=0,494E+3$ до $Re=0,962E+4$, что соответствует ламинарному и переходному режимам течения (в качестве характерного размера принят диаметр отверстия форсунки $d=1 \text{ мм}$).

Ввиду симметрии геометрической модели, рассматривается участок спрейерной камеры (без учета геометрии оправки), для которого при выполнении расчетов строятся нерегулярные сетки со сгущением узлов в окрестности обтекаемых тел (рис. 3а). Количество узлов – 175824, элементов – 129864 выбрано после проведения тестовых расчетов на различных сеточных моделях с крупными и мелкими элементами. Решение поставленной задачи осуществляется методом конечных объемов.

Обсуждение результатов. Выделенная область спрейерной камеры с циркуляционным движением теплоносителя со скоростью $v_{\text{обт}} \leq 0,001 \text{ м/с}$ будем считать низкоскоростной областью течения. Для количественной оценки и характеристики данной области вводится коэффициент K_3 , представляющий отношение суммы длин дуг низкоскоростной области ΣS_i к длине окружности поперечного сечения прутка S .

$$K_3 = \frac{\sum S_i}{S}.$$

На рис. 3 представлено векторное поле скоростей движения теплоносителя в расчетной области при подаче с постоянной скоростью $v_A=5 \text{ м/с}$ через две форсунки, расположенные под углом $\psi=20^\circ$. Можно видеть, что в данном расположении форсунок в области между прутком и оправкой образуются две циркуляционные зоны; данное явление носит симметричный характер.

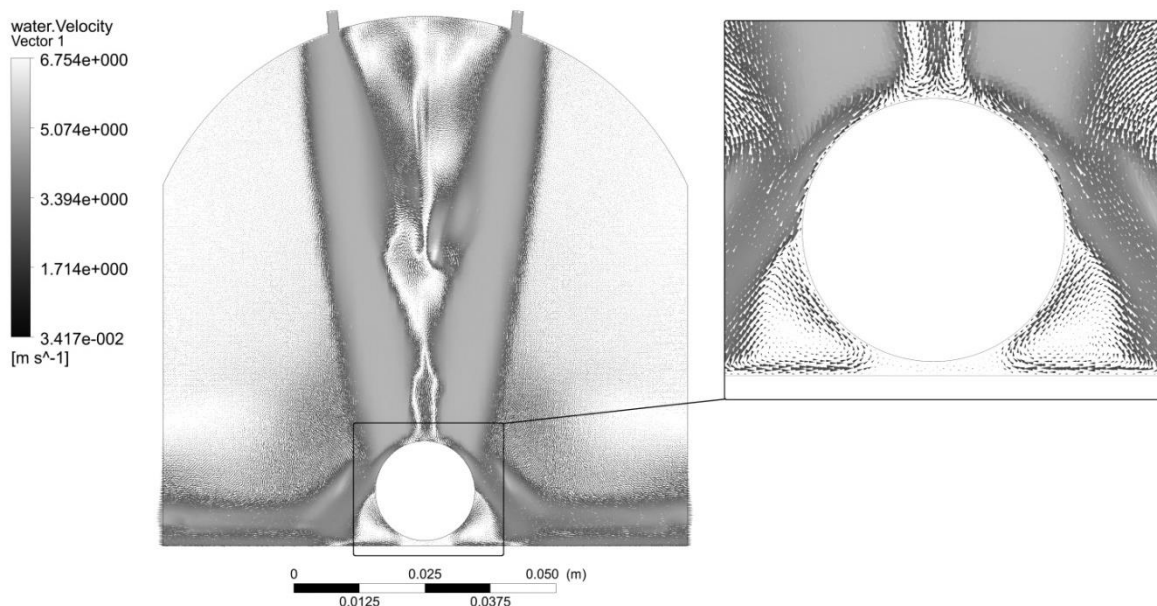


Рис. 3. Векторное поле скорости движения теплоносителя в расчетной области при подаче через две форсунки, расположенные под углом $\psi=20^\circ$ при $R=55 \text{ мм}$, $v_A=5 \text{ м/с}$

Результаты исследования распределения скорости движения теплоносителя в расчетной области при впрыске СОЖ через две форсунки позволяют сделать вывод о том, что режим, обеспечивающий минимальный $K_3=0,407$, реализуется при $\psi=60^\circ$, $R=100$ мм, поскольку для данного случая $K_3 \neq 0$, сделано предположение о необходимости увеличения количества форсунок для подачи теплоносителя до трех, что приводит к результатам, представленным на рис. 4.

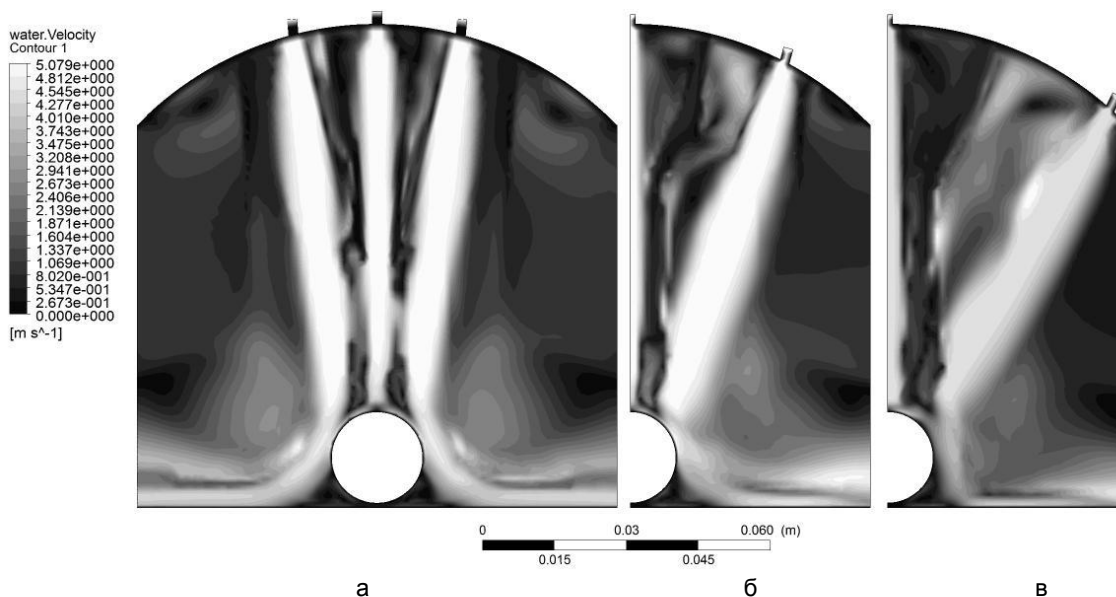


Рис. 4. Распределение скорости движения в расчетной области при подаче теплоносителя через три форсунки, расположенные под углом $\psi=20^\circ$ (а), 40° (б), 60° (в) при $R=55$ мм, $v_A=5$ м/с

Из рис. 4 видно, что минимальное значение $K_3=0,375$ получено при режиме ($\psi=60^\circ$, $R=100$ мм). Отметим, что подвод теплоносителя через две и три форсунки при $R=55$ мм позволяет получить $K_3=0,764$ (впрыск через 2 форсунки), $K_3=0,919$ (впрыск через 3 форсунки). Оценка влияния скорости впрыска v_A на коэффициент K_3 представлена на рис. 5.

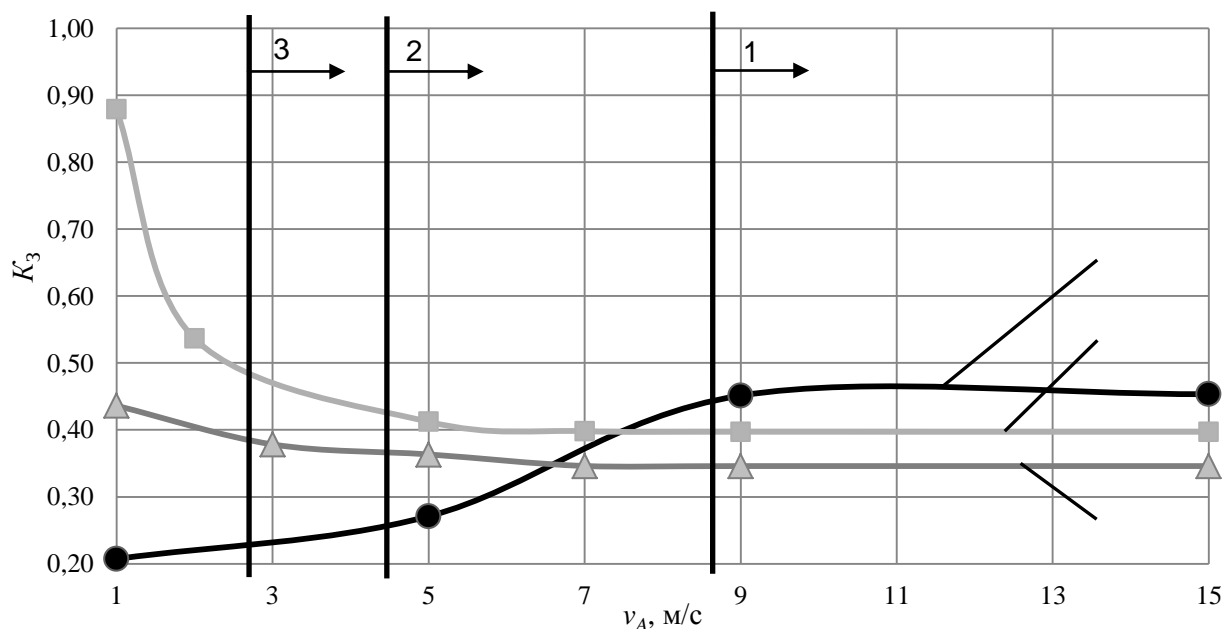


Рис. 5. Влияние скорости впрыска теплоносителя v_A через одну форсунку (а), две (б), три форсунки (в), расположенные под углом $\psi=60^\circ$ при $R=100$ мм на изменение K_3 .

Видно, что минимальное значение $K_3=0,2$ достигается при впрыске через одну форсунку со скоростью $v_A=1$ м/с, максимальное $K_3=0,88$ – при подаче теплоносителя через две форсунки со скоро-

стью $v_A=1$ м/с из каждой. Однако для того чтобы правильно провести оценку полученных результатов, необходимо проанализировать условия, которые позволят обеспечить требуемый теплоотвод.

На основании результатов [7], где дана оценка коэффициента теплообмена, для обеспечения требуемого теплоотвода от прутка получены следующие параметры охлаждения:

Коэффициент теплоотдачи: $\alpha=9200$ Вт/(м²×°),

Время процесса: $\tau=5$ с.

Из уравнения теплового баланса количество теплоты, которое необходимо отвести от прутка с начальной температурой 1273К для того, чтобы обеспечить снижение температуры в ядре до 773К, следует:

$$Q=\alpha \times F(T_2-T_1),$$

где α – коэффициент теплоотдачи [Вт/(м²×°)]; F – площадь поверхности прутка [м²]; T_2 – начальная температура [°С]; T_1 – конечная температура [°С].

Считается, что скорость выхода прутка после нагрева в индукторе ТВЧ, навивки прутка на оправку и подачи прутка в спрейерную камеру [5] составляет 0,5 м/мин=0,008 м/с, откуда F , для участка прутка длиной $l=8 \times 10^{-3}$ м диаметром сечения $D=19$ мм= 19×10^{-3} м:

$$F=\pi \times D \times l=3,14 \times 19 \times 8 \times 10^{-6}=0,497 \times 10^{-6} \text{ м}^2,$$

следовательно:

$$Q=\alpha \times F(T_2-T_1)=9200 \times 0,497 \times 10^{-6} \times (1273-773)=2286,97 \text{ Дж.}$$

С другой стороны, подводимая вода достигает при контакте температуры 373 К и испаряется, не обеспечивая заданного отвода тепла, однако можно рассмотреть вариант, при котором охлаждение производится теплоносителем с более высокой температурой испарения. В расчетах принято допущение о том, что теплоноситель обладает теплофизическими свойствами воды, поэтому

$$Q=G \times c_{ж}(T_{исп}-T_{впрыск}),$$

где G – расход жидкости [кг/с]; $c_{ж}$ – теплоемкость теплоносителя (для воды $c_{ж}=4182$ Дж/(кг×К)); $T_{впрыск}$ – начальная температура подаваемого теплоносителя [°С]; $T_{исп}$ – температура испарения теплоносителя [°С].

Отсюда выразим G :

$$G=Q/[c_{ж} \times (T_{исп}-T_{впрыск})]=2286,97/[4182 \times (373-293)]=0,0068 \text{ кг/с.}$$

С другой стороны, расход жидкости определяется как произведение действительной скорости истечения на фактическую площадь сечения:

$$G=\rho \times F_{отв} \times v_A,$$

где ρ – плотность теплоносителя [кг/м³] (для воды $\rho=997$ кг/м³); $F_{отв}$ – площадь отверстия для впрыска теплоносителя [м²].

Если принять, что диаметр форсунки $d_{форс}$, через которую осуществляется впрыск, составляет $d_{форс}=10^{-3}$ м, то площадь отверстия для впрыска теплоносителя составляет:

$$F_{отв}=\pi \times (d_{форс})^2/4=3,14 \times (10^{-3})^2/4=0,785 \times 10^{-6} \text{ м}^2,$$

откуда скорость впрыска теплоносителя через одну форсунку:

$$v_A=G/\rho \times F_{отв}=0,0068/(997 \times 0,785 \times 10^{-6})=8,7 \text{ м/с.}$$

Аналогичным способом определяется скорость впрыска теплоносителя через две форсунки $v_A=4,35$ м/с, три форсунки $v_A=2,9$ м/с.

Выводы. Оценка полученных результатов показала, что режим впрыска теплоносителя через одну форсунку не обеспечит требуемого охлаждения прутка при условиях минимального появления низкоскоростных областей. В общем случае для выполнения всех условий, в том числе теплоотвода, необходимо использовать режим подачи СОЖ через три форсунки со скоростью $v_A \geq 7$ м/с ($K_3=0,346$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов Ю.М. Исследование гидродинамических и термодинамических процессов высоконапорного многофазного вихревого течения жидкости / Ю.М. Ахметов // Вестник УГАТУ. Уфа: УГАТУ. 2012. № 2. С. 163-168.
2. Давлетшин И.А. Отрыв пульсирующего потока / И.А. Давлетшин, Н.И. Михеев, В.М. Молочников // Доклады Академии наук. М.: Академиздатцентр, 2007. Т. 417. № 6. С. 760-763.
3. Перепелица Б.В. Пространственная структура потока при истечении круглой струи в узкий канал / Б.В. Перепелица, М.В. Шестаков // Теплофизика и аэромеханика. ИТ СО РАН: Новосибирск, 2009. Т. 16. № 1. С. 57-60.
4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков. М.: Металлургия, 1986. 480 с.

5. Протоdjяконов И.О. Гидродинамика и массообмен в системах газ-жидкость: монография / И.О. Протоdjяконов, И.Е. Люблинская; отв. ред. П.Г. Романков. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 349 с.
6. Редькин Л.М. Повышение долговечности жестких пружин высокотемпературной термомеханической обработкой / Л.М. Редькин, О.И. Шаврин, А.С. Потапов // Конструирование и технология изготовления пружин. 1986. С. 83-91.
7. Бендерский Б.Я. Моделирование процессов теплообмена при изготовлении пружин методом высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) / Б.Я. Бендерский, К.А. Копылов // Химическая физика и мезоскопия. ИПМ УрО РАН, 2011. Т. 13. Вып. 1. С. 28-36.
8. Волков К.Н. Течение газа с частицами / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов. М.: Физматлит, 2008. 598 с.
9. Тонков Л.Е. Численное моделирование динамики капли вязкой жидкости методом функции уровня / Л.Е. Тонков // Вестник Удмуртского государственного университета. Ижевск: УдГУ, 2010. № 3. С. 134-140.

Копылов Константин Андреевич –
аспирант
Ижевского государственного технического
университета имени М.Т. Калашникова

Konstantin A. Kopylov –
Postgraduate
Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 678.062.5

Д.Н. Муромцев, С.Я. Пичхидзе

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ И ГОМОГЕННОСТИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВЫХ КАУЧУКОВ

Показано, что наибольшей информативностью для оценки качества смешения резиновой смеси обладают тангенс угла механических потерь $tg\delta$, сдвиговой модуль накопления G' и дисперсный анализ частиц технического углерода в каучуке, отображающие в целом изменение технологических свойств резиновой смеси. Разработанный способ позволяет эффективно оценивать качество смешения резиновых смесей, а также распределение частиц технического углерода и их количественные характеристики.

Диспергирование, тангенс угла механических потерь, сдвиговой модуль накопления, этиленпропиленовый каучук

D.N. Muromtsev, S.Ya. Pichhidze

ASSESSMENT OF THE DISPERSION DEGREE AND HOMOGENEITY OF RUBBER COMPOUNDS BASED ON THE EPDM RUBBER

The research has shown that the tangent of the $tg\delta$ mechanical losses angle, the G' shift modulus, and the disperse analysis of the carbon black particles in the rubber reflecting the changes in the technological properties of the rubber mixes provide the biggest data needed for assessing the mixing quality of the rubber mixtures. The developed method allows to effectively assessing the quality of the rubber mixtures, as well as the distribution of the carbon black particles and their quantitative characteristics.

Dispersion, tangent of the mechanical loss, shear storage modulus, EPDM

Развитие современного машиностроения требует постоянного совершенствования уплотнительных устройств типа резиновых оконных уплотнителей. Для изготовления таких уплотнителей, – в основном применяются резины на основе этиленпропиленовых каучуков (EPDM). Расширение производства современных оконных уплотнителей, требует изготовления качественных резиновых сме-

сей, а так же оптимизации технологии изготовления длинномерных резиновых профилей, изготавливаемых по экструзионной технологии на промышленных линиях непрерывной высокотемпературной вулканизаций.

К основным требованиям, предъявляемым к длинномерным резиновым профилям, относятся сохранение заданных геометрических размеров и недопущение искажения формы, а также удовлетворительные внешневидовые характеристики, т.е. отсутствие возвышений, углублений, шероховатости, пузырей, включений, механических повреждений, срезов, вырывов, продольных рисок и необходимая чистота поверхности.

Для получения высоконаполненных смесей с требуемыми технологическими свойствами без потери эксплуатационных и внешневидовых свойств важно правильно сделать выбор каучука, подобрать оптимальную степень наполнения и режим смешения для лучшего диспергирования технического углерода и других наполнителей.

В реологическом аспекте результат смешения оценивается однородностью системы, что определяется в основном накопленной деформацией сдвига и степенью диспергирования технического углерода в каучуке, связанной с максимальным напряжением сдвига. Статистические характеристики перемешивания рассчитываются при наличии данных физико-химического анализа по вариациям концентраций ингредиентов. Однако степень диспергирования технического углерода непосредственно рассчитать трудно.

Количественное определение степени диспергирования технического углерода в каучуке имеет большое значение в производстве резины, поскольку в заводских условиях режим смешения устанавливается таким образом, чтобы обеспечить необходимую степень диспергирования в готовой смеси. Простейшие оценки степени диспергирования технического углерода в каучуке обычно делаются визуально по блеску среза смеси и степени неровности его поверхности, а после вулканизации по данным физико-механических испытаний проводят количественную оценку степени диспергирования наполнителя в резиновой смеси [1].

Целью настоящей работы являлась разработка способа оценки качества смешения резиновых смесей, позволяющего быстро и с минимальными затратами определить степень диспергирования ингредиентов, а также оптимальный режим их смешения при получении резиновых смесей.

В качестве объекта исследования была выбрана применяемая для изготовления оконных уплотнителей автомобилей стандартная резиновая смесь на основе этиленпропиленового каучука марки СКЭПТ-50, полученная при разных режимах смешения и дозировках технического углерода марки П-514.

Экспериментальная часть

Изготовление модельных резиновых смесей осуществлялось в резиносмесителе Farrel BR1600 при скорости вращения роторов 65 об/мин, температуре смешения 100 °С.

Для исследования образцов резиновых смесей был использован анализатор перерабатываемости резин RPA2000 (Alpha Technologies). Определение тангенса угла механических потерь ($\text{tg}\delta$) и сдвигового модуля накопления (G') осуществлялось при частоте 0,1 Гц, температуре 80 °С в диапазоне деформаций от 0,3 % до 1000 % (от 0,02 до 72 degrees).

Оценка внешневидовых характеристик экструдата осуществлялась через формующее отверстие типа Гарвей (Garvey) на лабораторном экструдере холодного питания Rubicon ЕЕК 32.12 L-4,0/90 при скорости вращения червяка 15 об/мин. Эксперимент проводился при температурах: червяка – 55 °С, цилиндра – 60 °С, формующего инструмента – 65 °С, что соответствует реальным производственным условиям.

Исследование экструдиремости модельных резиновых смесей и качества поверхности экструдата осуществлялось согласно стандарту ASTM D 2230-02 по показателям вздутия и пористости, резкости и постоянства края под углом 30°, мягкости поверхности, остроте и устойчивости углов.

Степень дисперсии технического углерода и наполнителей в резиновой смеси определялась при помощи оптического микроскопа Unico ZM181, оснащенного фотоаппаратом Canon PowerShot A640 для получения фотографий и их дальнейшего анализа по программе ImageJ (NIH). Для дисперсного анализа применялись образцы, представляющие собой шайбу для определения твердости по Шору А толщиной 6 мм, на которых лезвием делались тонкие надрезы. Анализу подвергались надрезы без дефектов, возникающие непосредственно при срезе лезвием, которые исследовались при 80-кратном увеличении. Бралось 5 участков: в четырех углах и в середине.

Вязкость по Муни MS(1+4)100 °С оценивалась на вискозиметре MV2000 (Alpha Technologies).

Обсуждение результатов

Единственным стандартизованным реологическим методом испытания полимеров, принятым в технологии резин, является метод определения вязкости по Муни. При всей его важности, метод обеспечивает только обобщенное описание характеристик полимеров и не может гарантировать их одинаковое технологическое поведение. Вязкость по Муни в большей степени пропорциональна средней молекулярной массе полимера [2].

С целью установления качества смешения нами был выбран показатель тангенс угла механических потерь ($tg\delta$), который минимум в два раза более чувствителен к реальным изменениям технологических свойств резины, чем показатель вязкости по Муни [3]. Тангенс угла механических потерь при высоких деформациях может коррелировать с эластическим восстановлением экструдатов резиновых смесей. Таким образом, $tg\delta$ является надежным индикатором для быстрого контроля качества смешения, экструзионных свойств резиновых смесей. За показатель качества смешения также был взят сдвиговый модуль накопления (G'), характеризующий эластичность материала при определенной температуре, частоте и деформации.

С целью установления взаимосвязи $tg\delta$ и G' от изменения качества диспергирования компонентов были приготовлены резиновые смеси (7 образцов) при режиме смешения от 3 до 15 минут. Зависимости $tg\delta$ и вязкости по Муни от режима смешения модельных смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение $tg\delta$, вязкости по Муни, гомогенности и экструзионной способности от времени смешения модельных резиновых смесей

Номер закладки	Время смешения, мин	$tg\delta$	G' , кПа	Вязкость по Муни, усл. ед.	ASTM D 2230-02		Наличие включений
					система А	система В	
1	3	2,661	835,53	52,0	4-3-2-2	8А	есть
2	5	2,934	830,13	48,4	4-3-3-3	8А	есть
3	7	3,098	760,33	50,9	4-3-3-3	8А	есть
4	9	3,184	653,01	40,5	4-4-3-3	8А	есть
5	11	3,285	547,76	47,4	4-4-3-3	9А	нет
6	13	3,307	521,35	52,6	4-4-4-4	10А	нет
7	15	3,317	500,03	50,5	4-4-4-4	10А	нет

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что с увеличением времени смешения происходят увеличение $tg\delta$, улучшение внешневидовых свойств экструдата (уменьшается шероховатость, количество и размер включений, их исчезновение в дальнейшем) и достигается точность воспроизведения контуров экструзионной головки экструдатом. Также установлено, что с увеличением времени смешения $tg\delta$ начинает приближаться к постоянному значению, что может показывать оптимальное время смешения, т.е. оптимум диспергирования, тем самым объясняя возрастание гомогенности смеси. Изменение вязкости по Муни в данном случае является необъективным, показывая примерно равные значения при разном времени смешения.

Установлено, что уменьшение значения сдвигового модуля накопления (G'), измеренного в области больших деформаций, с увеличением времени смешения происходит линейно. Таким образом, чем лучше диспергирование, тем меньше значение G' . Это может быть объяснено на основе представлений о сетке агломератов, которая существует в смеси при плохом диспергировании частиц наполнителя [4].

Также замечено (табл. 1), что с уменьшением значения G' улучшаются внешневидовые характеристики экструдата. В таком случае показатель G' может служить мерой оценки величины изменения геометрических форм экструдата.

Из представленных в табл. 1 и на рис. 1 данных видно, что показатели $tg\delta$ и G' чувствительны к изменению режима приготовления резиновых смесей.

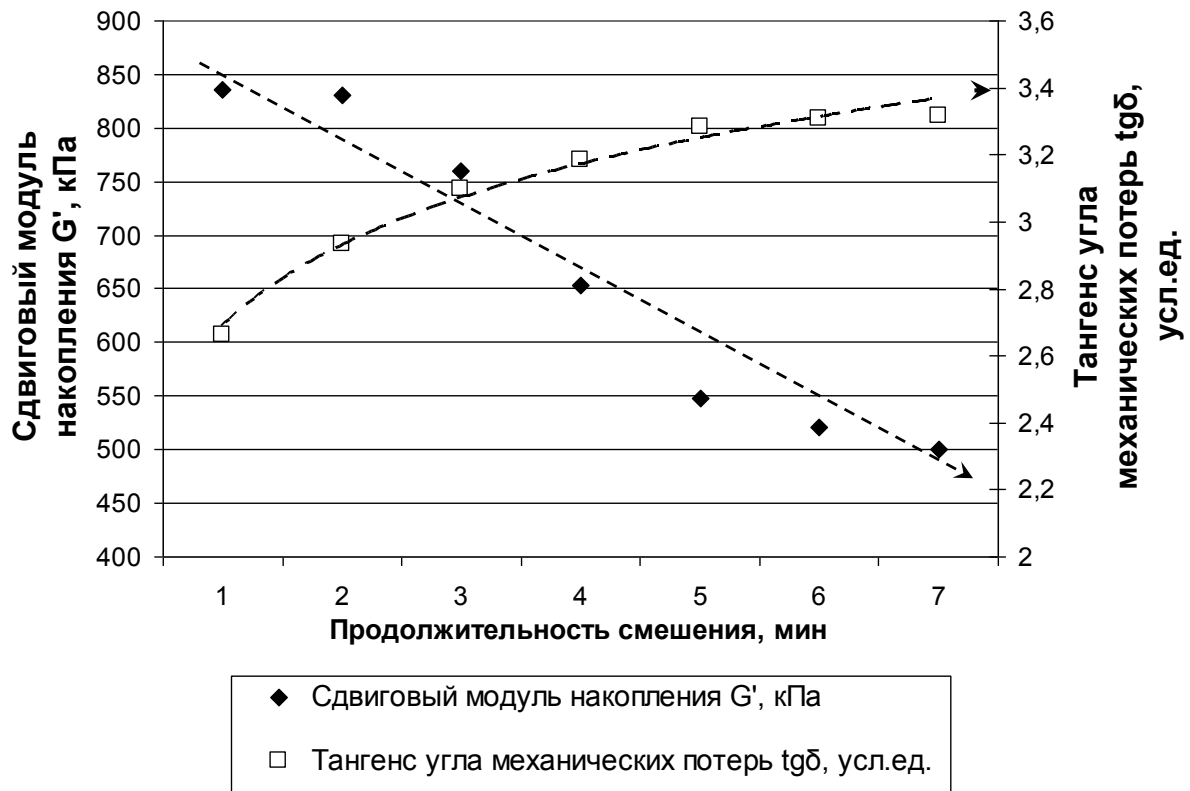


Рис. 1. Изменение $tg\delta$ и G' в модельных резиновых смесях от продолжительности смешения

С увеличением времени смешения размеры частиц уменьшаются (табл. 2), увеличивается количество более мелких частиц и улучшается их распределение в резиновой смеси.

Таблица 2

Дисперсный анализ модельных резиновых смесей с разным временем смешения при помощи программы ImageJ

Номер образца	Общее время смешения, мин	Общее количество частиц, шт.	Общая площадь включений, мм ²	Минимальный размер (площадь) частиц, мм ²	Максимальный размер (площадь) частиц, мм ²
1	3	849	0,376	$7,08 \times 10^{-7}$	0,281
2	5	1102	0,252	$6,78 \times 10^{-7}$	0,078
3	7	1937	0,274	$6,78 \times 10^{-7}$	0,048
4	9	2015	0,293	$7,27 \times 10^{-7}$	0,017
5	11	1796	0,076	$7,27 \times 10^{-7}$	0,006
6	13	1579	0,048	$7,27 \times 10^{-7}$	0,004
7	15	512	0,029	$7,27 \times 10^{-7}$	0,001

Для оценки чувствительности $tg\delta$ и G' к изменению состава резиновой смеси были приготовлены в одинаковых условиях (время смешения 12 минут, температура смешения 100 °С) резиновые смеси с различным содержанием технического углерода марки П-514 (от 55 до 145 мас. ч.). Из результатов, представленных в табл. 3, видно, что с увеличением дозировки технического углерода в резиновой смеси уменьшается значение G' (т.е. снижается эластическая составляющая) и увеличивается значение $tg\delta$, что подтверждает увеличение степени наполнения резиновой смеси и её твердости.

Изменение $tg\delta$, G' , вязкости по Муни и свойств экструдата от содержания технического углерода в модельных резиновых смесях

Номер образца	Масс. ч. ТУ на 100 масс. ч. каучука	ASTM D 2230-02		$tg\delta$	G' , кПа	Вязкость по Муни, усл. ед.
		система А	система В			
1	55	4-1-1-1	5В	3,242	745,53	44,0
2	70	4-2-2-2	6В	3,260	764,28	46,0
3	85	4-3-3-3	8А	3,300	736,98	49,0
4	100	4-4-4-4	10А	3,386	663,35	52,0
5	115	4-4-4-4	10А	3,491	457,76	54,0
6	130	4-4-3-3	9А	3,776	431,35	65,0
7	145	4-4-3-3	9А	3,801	410,03	73,0

Большая степень наполнения каучука техническим углеродом ведет к увеличению показателя вязкости по Муни (образцы 6 и 7). При этом теряется технологичность резиновой смеси, что негативно сказывается на процессе переработки резиновой смеси, так как возрастает давление в области формирующей головки.

Испытание на лабораторном экструдере показывает, что с увеличением дозировки технического углерода до 115 масс. ч. улучшаются блеск, гладкость, насыщенность черного цвета, снижается разбухание экструдата, заметно улучшаются такие показатели как резкость и постоянство края под углом 30° , острота и устойчивость углов. Наполнение свыше 115 масс. ч. в данном случае приводит к нежелательному увеличению вязкости по Муни, а также к ухудшению внешневидовых свойств экструдата.

Выводы. Проведено комплексное исследование, направленное на изучение качества смешения резиновой смеси. Показано, что наибольшей информативностью для оценки качества смешения резиновой смеси обладают тангенс угла механических потерь ($tg\delta$), сдвиговой модуль накопления (G') и дисперсный анализ частиц технического углерода в каучуке, отображающие изменение технологических свойств резиновой смеси и внешневидовых свойств экструдата. Установлена взаимосвязь изменений $tg\delta$ и G' от содержания технического углерода и степени его диспергирования.

Разработан способ, позволяющий при помощи RPA2000 быстро и с минимальными затратами эффективно оценивать качество смешения резиновых смесей, а также распределение частиц технического углерода и их количественные характеристики по программе ImageJ. Основываясь на предлагаемом подходе, можно своевременно выявлять дефекты диспергирования, непосредственно влияющие на свойства и способность резиновой смеси к переработке.

Полученные закономерности позволяют оптимально подобрать режимы смешения в производстве и дают больше информации о качестве невулканизированной смеси по сравнению со стандартными методами анализа, что дает возможность повысить качество оконных уплотнителей автомобилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вострокнутов Е.Г. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование) / Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков, Н.В. Прозоровская. М.: Химия, 1980. 280 с.
2. Burhin H.G. Практическое применение линейного и нелинейного участков вязкоупругих свойств полимеров для оценки их свойств / Henri G. Burhin, Chris Stevens // Alpha Technologies. United Kingdom, 2006. 12 с.
3. Дик Дж. С. Технология резины: Рецептуростроение и испытания / Дж. С. Дик; под ред. Дж.С. Дика; пер. с англ. под ред. В.А. Шершнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
4. Аверко-Антонович И.Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров: учеб. пособие / И.Ю. Аверко-Антонович, Р.Т. Бикмуллин. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.

Пичхидзе Сергей Яковлевич – кандидат химических наук, доцент кафедры «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Муромцев Денис Николаевич – ведущий инженер-технолог
ОАО «Балаковорезинотехника», г. Балаково

Sergei Ya. Pichhidze – Ph. D., Associate Professor
Senior Researcher: Department of Biotechnical and Medical Devices and Systems,
Gagarin Saratov State Technical University

Denis N. Muromtsev – Leading Engineer
JSC «Balakovorezintehnika», Balakovo

Статья поступила в редакцию 17.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

Г.Г. Нечаев

МОДЕЛЬ МИКРОРАЗРЯДОВ В ПРОЦЕССЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Предложена модель микроразряда в процессе МДО как разряд с жидким катодом и изменяющимся расстоянием между электродами. Объяснено прерывание горения микроразряда как следствие увеличения площади поверхности и охлаждения квазикатода после выхода плазменного образования за пределы устья поры. Приведены выражения, связывающие параметры единичного разряда, электрический режим процесса МДО и толщину покрытия. Проведен анализ процесса МДО с использованием модели микроразряда.

Микроразряд, жидкий катод, термическая плазма, плазмохимические реакции, электрохимическое окисление

G.G. Nechaev

A MODEL IN THE MICRODISCHARGE MICRO-ARC OXIDATION

The article presents a microdischarge model for the MAO process as the discharge with a liquid cathode and changing the distance between the electrodes. Explanation is provided for the interruption of the microdischarge burning as the result of increasing the surface area and the quasi-cathode cooling after the plasma formation outside the pore mouth. The presented expressions are related with the parameters of the unit discharge, electric mode MAO process, and thickness of the coating. The process is analyzed using the MAO microdischarge model.

Microdischarge, liquid cathode, thermal plasma, plasma-chemical reactions, electrochemical oxidation

Создание новых материалов, поиск способов придания поверхности изделий необходимых функциональных свойств является одной из самых актуальных задач.

Микродуговое окисление (МДО) вызывает большой интерес как у исследователей, так и у технологов, занимающихся разработкой и применением способов формирования функциональных покрытий. Поток публикаций, относящихся к проблеме исследования и использования процесса МДО, разработка моделей, позволяющих описать и связать воедино все явления, объединенные в этом процессе свидетельствует о актуальности разработок, проводимых в этой области и их востребованности.

Одним из узких мест всех известных на сегодняшний день разработок остается отсутствие работоспособной модели плазменных процессов.

Целью настоящего исследования является создание модели микроразрядов, возникающих при МДО и определяющих характер протекающих плазмохимических процессов, которая позволяла бы связать параметры единичного микроразряда с технологическими параметрами процесса МДО.

Первая модель микродугового разряда, предложенная авторами [1], весьма наглядно представила направление перемещения потоков массы, зарядов, тепла и протекающие химические реакции. Однако эта качественная модель не могла связать изменения, происходящие в микроразряде с параметрами технологического процесса. А вне этой связи невозможно дальнейшее развитие и создание теории процесса.

Рассмотрим модель динамического развития микроразряда, возникающего в процессе МДО.

Согласно имеющимся на сегодняшний день представлениям [2] возникновению микроразряда при МДО предшествует вскипание электролита у дна поры вследствие разогрева оксидного слоя на дне из-за термических потерь, возникающих при протекании тока, и формирование у дна поры парогазового пузыря.

В парогазовом пузыре наряду с молекулами электролита оказываются и ионы. Под действием электрического поля они ускоряются и бомбардируют оксидный слой на дне поры еще более разогревая его и парогазовый пузырь. С повышением температуры до величины, при которой возникает термоэмиссия электронов, начинают возникать электронные лавины которые в конечном итоге вызывают электрический пробой (рис. 1а). Пузырь при этом превращается из парогазового в плазменный и формируется канал разряда, одним электродом которого является металл, а вторым – граница жидкого электролита.

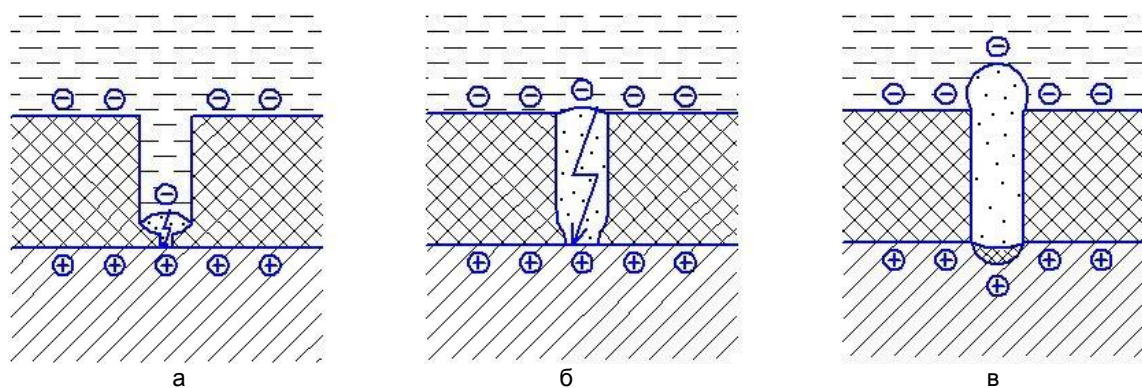


Рис. 1. Модель микроразряда с подвижным жидким катодом:
 а – вскипание электролита, возникновение микроразряда; б – развитие микроразряда;
 в – остывание катода и прекращение микроразряда

В силу разогрева плазма расширяется и граница жидкого электролита отодвигается от дна в сторону устья поры. Пузырь распространяется вдоль поры, пока не достигнет её устья (рис. 1б). До этого момента условия охлаждения жидкостного электрода не изменяются. Из поверхности жидкого катода, подвергающейся разогреву при бомбардировке положительными ионами, идет эмиссия электронов и ионов в канал микроразряда, которая поддерживает его существование. Когда граница пузыря выходит за пределы устья поры он начинает расширяться, площадь поверхности увеличивается, что приводит к охлаждению катода из-за увеличения площади теплопередачи и уменьшения ионного тока, приходящегося на единицу площади поверхности, и резкому снижению эмиссии (рис. 1в). Снижение эмиссии приводит к затуханию микродуго, охлаждению и схлопыванию пузыря.

Таким образом, микроразряд при МДО – это разряд с жидким катодом и изменяющимся расстоянием между электродами. Площадь поверхности катода зависит от его местонахождения и определяет условие прекращения микроразряда.

Рассмотрим, как предложенная модель согласуется с известными о процессе МДО фактами и наблюдениями.

Известно, что в начале процесса МДО микроразряды мелкие и быстро гаснут. Предложенная модель прекрасно объясняет этот факт. Глубина пор на начальной стадии процесса очень мала, Паровой пузырь выходит за пределы устья поры в момент образования микроразряда, холодный катод не обеспечивает эмиссию электронов и сразу после пробоя разряд гаснет. Разряд на этой стадии процесса носит искровой характер.

По мере увеличения толщины покрытия и глубины пор разряд изменяется и приобретает характер микродугового.

Разрядный промежуток дугового разряда заполняет плазма, состоящая из электронов, ионов, нейтральных и возбужденных атомов и молекул газа (испаренного вещества электродов).

Для дальнейшего развития модели необходимо уточнить, какие характеристики имеет плазма микроразряда при МДО и каким образом эти характеристики связаны с параметрами микроразряда и параметрами технологического процесса.

Наиболее важными характеристиками плазмы являются температура, степень ионизации и плотность.

Средние энергии частиц различного сорта в плазме дугового разряда могут быть разными. Поэтому, говоря о температуре дугового разряда, различают ионную температуру, электронную температуру и температуру нейтральной компоненты. В случае равенства этих температур плазму называют изотермической [3]. Согласно теории плазменных процессов плазма положительного столба при давлениях порядка сотен Тор становится термодинамически равновесной (термической), то есть температура газа и температура электронов становятся равными. Давление в плазменном образовании при МДО равно атмосферному плюс высота столба электролита. Следовательно, плазму микродугового разряда можно считать термической.

Степень ионизации пропорциональна числу атомов, отдавших или поглотивших электроны, и больше всего зависит от температуры. Неполная ионизация приводит к большому разнообразию участвующих в процессах частиц. При этом, температура среды достаточно высока для того, чтобы в ней с большой вероятностью протекали реакции, связанные с диссоциацией, перегруппировкой и рекомбинацией молекул и атомов, то есть реакции, обычно называемые химическими. Из литературных данных [3] известно, что температура плазмы в канале разряда достигает 10000 К. Степень ионизации

зависит от температуры практически экспоненциально ($n_e \sim \exp(I/2T)$) [3]. Степень ионизации α определяется как $\alpha = n_i/(n_i+n_a)$, где n_i – концентрация ионов, а n_a – концентрация нейтральных атомов. Плотность электронов (концентрация свободных электронов или число свободных электронов в единице объёма) в незаряженной плазме n_e определяется соотношением: $n_e = \langle Z \rangle n_i$, где $\langle Z \rangle$ – среднее значение заряда ионов плазмы. Плотность электронов, при которой происходит выравнивание температур, лежит при этом в интервале $n_e \sim 1015-1016 \text{ см}^{-3}$.

В [3] приведены выражения, с помощью которых можно найти температуру, характерный радиус проводящего канала и напряженность электрического поля в положительном столбе.

$$i = \sigma_k E \pi r_0^2 \quad (1)$$

$$T_k = (I/2)/(\text{const} - \ln(i/R)) \quad (2)$$

$$\Theta_k = (W/2)/\ln(R/r_0), \quad (3)$$

где $W = i^2 / \pi r_0^2 \sigma_k$ – теплоперенос на единицу длины столба, Θ_k – потенциал потока тепла.

Ток разряда и напряженность поля связаны уравнением

$$i = E \int_0^R \sigma(r) 2\pi r dr. \quad (4)$$

Система: металл – оксид – электролит представляет собой конденсатор. Напряженность электрического поля такого конденсатора определяется величиной заряда квазикатода $E = q/\epsilon_0 S$, а он, в свою очередь, зависит от тока (плотности тока).

Напряжение на пластинах конденсатора:

$$U = Ed \text{ или } U = (q/\epsilon_0 S) d. \quad (5)$$

Автором [4] предложена зависимость напряжения от толщины оксидного слоя, которая находится в качественном и количественном согласии с опытом:

$$\exp(U/U_0) = h/H + 1, \quad (6)$$

где h – толщина оксидного слоя; параметр $H = c/a$; постоянная $c = 4,36 \times 10^{-5} \text{ см}^3/\text{Кл}$; a , U_0 – параметры аппроксимационной формулы, полученные обработкой экспериментальных кривых по методу наименьших квадратов.

Проведенный анализ [4] численных значений величин U_0 , H не обнаружил их зависимости от интегральной плотности тока j , что позволило принять эти значения постоянными и средними: $\langle U_0 \rangle = 105,6 \text{ В}$; $\langle H \rangle = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.

Приведенные соотношения связывают параметры единичного разряда, электрический режим процесса МДО и толщину покрытия.

Ток процесса МДО согласно модели эквивалентных сопротивлений [5, 6] состоит из тока протекающего через оксидное покрытие в процессе электрохимического окисления и тока микроразрядов, то есть можно записать

$$I_{\text{мп}} = I - I_{\text{оп}}. \quad (7)$$

С другой стороны,

$$I_{\text{мп}} = i \cdot n_{\text{мп}}, \quad (8)$$

где i – ток единичного микроразряда, $n_{\text{мп}}$ – количество микроразрядов.

Увеличивая общий ток процесса мы увеличиваем ток микродуговых разрядов. При этом увеличивается количество микроразрядов на поверхности. Но увеличение количества микроразрядов уменьшает площадь поверхности, на которой протекают процессы анодного оксидирования. При этом величина тока анодного оксидирования тоже уменьшится. То есть увеличение плотности тока процесса МДО изменяет соотношение двух процессов, участвующих в формировании покрытия: увеличивает ток микродуговых разрядов и уменьшает ток процесса анодного оксидирования.

В то же время увеличение плотности тока будет влиять не только на соотношение процессов, протекающих на поверхности детали, но и на изменение величины тока единичного микроразряда. Характер такого влияния можно представить следующим образом: при увеличении плотности тока увеличивается количество ионов, подходящих к поверхности детали, и концентрация ионов в единице объема приповерхностного слоя электролита. При возникновении парового пузыря в нем оказывается большее количество носителей заряда, пробой сопровождается большим выделением теплоты и разряд формируется с большей скоростью. Выделение тепла вызывает повышение температуры, что, в свою очередь, увеличивает степень ионизации плазмы, которая имеет экспоненциальную зависимость от температуры. Увеличение степени ионизации приводит к увеличению числа заряженных частиц, в том числе электронной компоненты тока, и общей величины тока единичного микроразряда. При этом выход количества вещества, образовавшегося в плазмохимических реакциях, по отношению к величине заряда, прошедшего через анод, уменьшается.

Если рассматривать общую динамику процесса МДО, можно отметить следующие моменты. При увеличении толщины покрытия время горения единичного разряда возрастает и, как следствие, возрастает величина заряда, прошедшего через единичный разряд, что соответствует увеличению тока единичного разряда. Увеличение тока единичного микроарзряда при сохранении общей плотности тока процесса приводит к уменьшению количества микроарзрядов к концу процесса. Площадь поверхности, на которой протекают электрохимические реакции, сокращается в ходе процесса МДО из-за уменьшения количества пор, которые запечатываются керамическими пробками после возникновения в них микроарзрядов. В результате скорость образования покрытия снижается к концу процесса МДО.

Процесс МДО заканчивается в момент когда все поры, которые существуют в покрытии, формирующемся по механизму анодного электрохимического окисления, оказываются закрытыми в результате возникновения в них микродуговых разрядов.

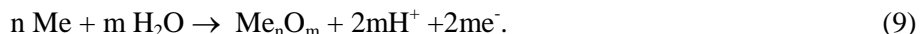
Такая модель протекания процесса согласуется с хорошо известным из практики фактом: при ведении процесса МДО с более высокой плотностью тока скорость увеличения толщины покрытия возрастает, процесс быстрее переходит в стадию дуговых разрядов, но толщина покрытия, образовавшегося к этому моменту, меньше, чем толщина покрытия, которая достигается при ведении процесса на меньшей плотности до перехода в стадию дуговых разрядов.

При завершении процесса МДО процесс приобретает дуговой характер. При визуальном наблюдении за процессом создается впечатление, что на поверхности детали постоянно горят несколько дуговых разрядов. Изменение положения разрядов на поверхности происходит очень медленно.

Согласно наблюдениям за процессом МДО при увеличении толщины покрытия изменяется не только длительность горения единичного микроарзряда, но и его спектр. Спектр излучения микроарзряда смещается из красной области в желтую. Это свидетельствует о повышении температуры плазмы. Как было отмечено ранее, повышение температуры плазмы вызывает увеличение степени ионизации и, следовательно, возрастание электронной компоненты в анодной составляющей тока процесса МДО и относительное уменьшение ионной составляющей. При достижении предельной толщины покрытия объем сформированного в результате плазмохимических реакций вещества недостаточен для заполнения канала разряда в покрытии. После угасания разряда толщина оксида в месте пробы меньше, чем толщина покрытия в целом, поэтому следующий пробой возникает в том же месте.

В силу того, что процессы электрохимического окисления и микроарзряды протекают на поверхности одновременно, в основе образования покрытия в процессе МДО лежат два механизма: механизм электрохимического окисления металла и плазмохимические реакции.

В общем виде реакция образования фазового оксида на вентильных металлах может быть представлена следующим образом:



Что касается плазмохимических реакций, то их основой служит образование ионов при разложении веществ в плазме. Известно, что при нагреве воды до 2500 °С происходит её разложение на кислород и водород [7].



Диссоциация молекул воды может происходить по различным схемам [8]. Например, молекула воды может распасться сначала на молекулы водорода и кислорода, которые диссоциируют при более высоких температурах, или же может происходить распад молекулы на атомы сразу и т.д.

Выделяющаяся в канале энергия расходуется в основном на диссоциацию молекул воды и нагрев газа. Тогда если D – энергия диссоциации на одну молекулу, то для диссоциации молекул в массе m воды и нагрева образовавшегося одноатомного газа требуется энергия

$$(m/\mu)N_0(D + (9/2)kT), \quad (11)$$

где μ – молекулярный вес воды, N_0 – число Авогадро.

Полагая, что вся выделившаяся в канале энергия идет на образование нагретого газа, найдем

$$m = (E\mu/N_0)(D + (9/2)kT). \quad (12)$$

Степень диссоциации газа двухатомных молекул может быть найдена из условия минимальности свободной энергии. Полученную из этого условия формулу удобно записать в виде

$$\alpha_m^2/(1 - \alpha_m) = (\rho_d/\rho) e^{-D/kT}, \quad (13)$$

где $\alpha_m = n_a/(n_a + 2n_m)$ – массовая концентрация атомарной компоненты; n_a ; n_m – число атомов и молекул в 1 см³; для водорода $\rho_d = 1,80$ г/см³, для кислорода $\rho_d = 150$ г/см³; D – энергия диссоциации.

Заметная диссоциация имеет место уже при температурах $T \ll D/k$. Это связано с большим статистическим весом диссоциированного состояния, отражающим тот факт, что при $kT \ll D$ молекулы «разбиваются» ударами быстрых частиц.

По этим же причинам газ оказывается заметно ионизированным при температурах, малых по сравнению с характерной температурой ионизации I/k , где I – потенциал ионизации.

В интересующем нас диапазоне температур, когда существенна лишь первая ионизация атомов, степень ионизации определяется формулой Саха

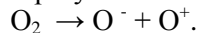
$$n_e n_i / n_a = A (\Sigma i / \Sigma a) T^{3/2} e^{-I/kT} \quad (14)$$

Здесь n_e , n_i , n_a – числа электронов, ионов и атомов в 1 см^3 ; $A = 2 (2\pi m_e k/h^2)^{3/2} = 4,85 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3} \cdot \text{град}^{-3/2} = 6,06 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3} \cdot \text{эВ}^{-3/2}$; Σi , Σa – статистические суммы иона и атома; I – потенциал ионизации; T – температура. Для кислорода и водорода в рассматриваемом диапазоне температур отношение $\Sigma i / \Sigma a$ близко к единице. Действительно, при не слишком высоких температурах $\Sigma i / \Sigma a$ приближенно равно отношению статистических весов основных состояний атома и иона, а эти отношения равны $1/2$ для водорода и $4/9$ для кислорода. Близки также и потенциалы ионизации водорода и кислорода, равные приблизительно $13,6 \text{ эВ}$.

Степень ионизации в канале электрического разряда в воде, когда образуется водородно-кислородная плазма разряда, обычно невелика, но благодаря большой плотности концентрации заряженных частиц оказывается весьма высокой, достигая $10^{18} - 10^{19} \cdot \text{см}^{-3}$.

Механизмы ионизации при этом разнообразны. Рассмотрим только те, в результате которых может происходить образование отрицательных ионов кислорода и радикалов [9].

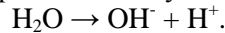
Молекулы кислорода распадаются, образуя положительные и отрицательные аэроионы:



Свободные электроны захватываются нейтральными молекулами кислорода и образуются молекулярные ионы кислорода O_2^- , O_2^{2-} .

Помимо основных отрицательных ионов кислорода, возникают и атомарные ионы кислорода: O^- и O^{2-} . Их возникновение связано, прежде всего, с воздействием фотонов на нейтральные молекулы.

Некоторые модели предполагают распад молекул воды на водород и радикал



Кроме того, в плазме будут образовываться другие радикалы, состав которых и протекающие с их участием реакции определяются составом электролита.

Вне зависимости от механизма образования ионов под действием электрического поля положительные ионы устремляются к катоду, а отрицательные – к аноду.

На аноде ионы кислорода и радикалы вступают в реакцию с атомами металла и образуют оксиды и другие химические соединения. Наряду с этим логично предположить, что атомы и ионы металла, испаренные под воздействием электрического разряда с поверхности металла и попавшие в плазменную область, встречаясь с отрицательными ионами и радикалами, будут рекомбинировать и вступать с ними в плазмохимические реакции. Продукты таких реакций будут конденсироваться и заполнять канал разряда после прекращения разряда и остывания парового пузыря.

Вклад электрохимического окисления и плазмохимических реакций в формирование покрытия определяется плотностью тока процесса МДО.

Модель микроразряда с подвижным жидким катодом в сочетании с моделью эквивалентных сопротивлений позволяют дать объяснения процессам, протекающим на поверхности при реализации процесса МДО.

Вывод. Микроразряд в процессе МДО – это электрический разряд с подвижным жидким катодом. Прерывание горения микроразряда связано с увеличением площади поверхности и охлаждением квазикатода после выхода плазменного образования за пределы устья поры. Плазма микроразряда – термическая. Предложенная модель позволяет объяснить изменение характера микроразрядов в течение процесса, особенности протекания процесса МДО и связать параметры единичного разряда, электрический режим процесса МДО и толщину покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов Д.Ю. О механизме импульсного электролитно-искрового оксидирования Al в концентрированной H_2SO_4 / Д.Ю. Харитонов, Е. И. Гуцевич. М., 1988. 17 с. (Препринт / Атоминформ: № 4705/13).
2. Ракоч А.Г. Модельные представления о механизме микродугового оксидирования металлических материалов и управление этим процессом / А.Г. Ракоч, В.В. Хохлов, В.А. Баутин и др. // Защита металлов. 2006. Т. 42. № 2. С. 173-184.
3. Князев Б.А. Низкотемпературная плазма и газовый разряд: учеб. пособие / Б.А. Князев. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2003. 290 с.
4. Кириллов В.И. Ансамбль микроплазменных разрядов. Напряженность электрического поля, числа частиц и другие характеристики плазмы / В.И. Кириллов // Электрохимия. 1996. Т. 32. № 3. С. 435-439.
5. Нечаев Г.Г. Микродуговое оксидирование: модель эквивалентных сопротивлений / Г.Г. Нечаев, С.С. Попова // Коррозия: материалы, защита. 2008. № 2. С. 31-34.

6. Нечаев Г.Г. Микроплазмохимический синтез оксидных покрытий (микродуговое оксидирование) как синергетическое явление. Моделирование процесса методом эквивалентных сопротивлений / Г.Г. Нечаев, С.С. Попова // Вестник СГТУ. 2007. № 1. Вып. 2. С. 48-52.

7. Пономарев-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика – пути развития / Н.Н. Пономарев-Степной, А.Я. Столяревский // Энергия. 2004. № 1. С. 3-4.

8. Наугольных К.А. Электрические разряды в воде / К.А. Наугольных, Н.А. Рой. М.: Наука, 1971. 155 с.

9. Зайцев Ю.В. Механизмы образования различных видов ионов в электроэффлювиальном ионизаторе / Ю.В. Зайцев, А.В. Соловьёв, К.В. Носачёв // Исследовано в России. С. 1056-1064. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/111.pdf>.

Нечаев Геннадий Георгиевич –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Биотехнические и медицинские аппараты
и системы» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennady G. Nechaev –
Ph. D., Associate Professor
Department of Biotechnical and Medical Devices
and Systems,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.436

Д.В. Синчурин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК ОТ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цилиндровая втулка высокофорсированного дизеля во время работы кривошипно-шатунной группы подвергается воздействию различных факторов, что сказывается на ее напряженно-деформированном состоянии. Одним из факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на ее напряженность, являются силы давления газов. Моделирование процесса нагружения позволит определить нагруженные элементы конструкции и опасные сечения.

Сжимающая нагрузка, галтель, моделирование процесса, метод конечных элементов

D.V. Sinchurin

MODELLING OF PROCESS OF THE TENSION CYLINDER PLUGS FROM ACTION OF PRESSURE FORCES OF GASES BY THE METHOD OF FINAL ELEMENTS

The cylinder plug of the high-forced diesel in working hours of crank group is exposed to influence of various factors that affects its intense the deformed condition. One of factors having the most essential the impacts on its intensity are pressure forces of gases. Modeling of process of loading will allow to define the loaded elements of a design and dangerous sections.

Squeezing loading, galtel, process modeling, method of final elements

Рассмотрим систему сложного напряженного состояния элементов цилиндрической втулки высокофорсированного дизеля под действием сжимающей нагрузки, возникающей от силы давления газов (рис. 1). С одной стороны, цилиндрическая втулка как оболочка вращения подвергается осевому сжатию

от сил давления газов. С другой стороны, на фланец цилиндровой втулки воздействует контактное давление от затяжки силовых шпилек, величина и закон распределения которого неизвестны. Практика эксплуатации таких фланцевых соединений показывает, что нарушение плотности вызывается не разрушением фланца, а усталостными трещинами и деформациями деталей соединения, превышающими предельно допустимые значения, определяемые условиями совместной работы фланца цилиндровой втулки, силовых шпилек и прокладки. Задача о расчете напряжений во фланцах, стянутых шпильками, относится к категории контактных задач теории упругости, которые не нашли еще полного разрешения ввиду их сложности [1].

Для приближенного расчета этой системы используем следующие допущения:

- а) цилиндровая втулка рассматривается как тонкостенная оболочка вращения;
- б) цилиндровая втулка как оболочка вращения подвергается осевому сжатию $P_{СЖ}$, которое при местной потере устойчивости вызывает изгиб оболочки в пределах малых участков, а максимальные напряжения в сжато-изогнутой втулке не достигают предела текучести;
- в) фланец приближенно рассматривается как балка на упругом основании;
- г) угол наклона θ фланца в месте соединения со стенкой цилиндровой оболочки равен нулю (жесткое соединение);
- д) при действии осевой сжимающей нагрузки в затянутом стыке фланцевого соединения цилиндровой втулки имеет место малая величина «отгиба» фланца.

Сечением О-О разобьем цилиндровую втулку на два элемента, в месте разреза возникает изгибающий момент M_0 .

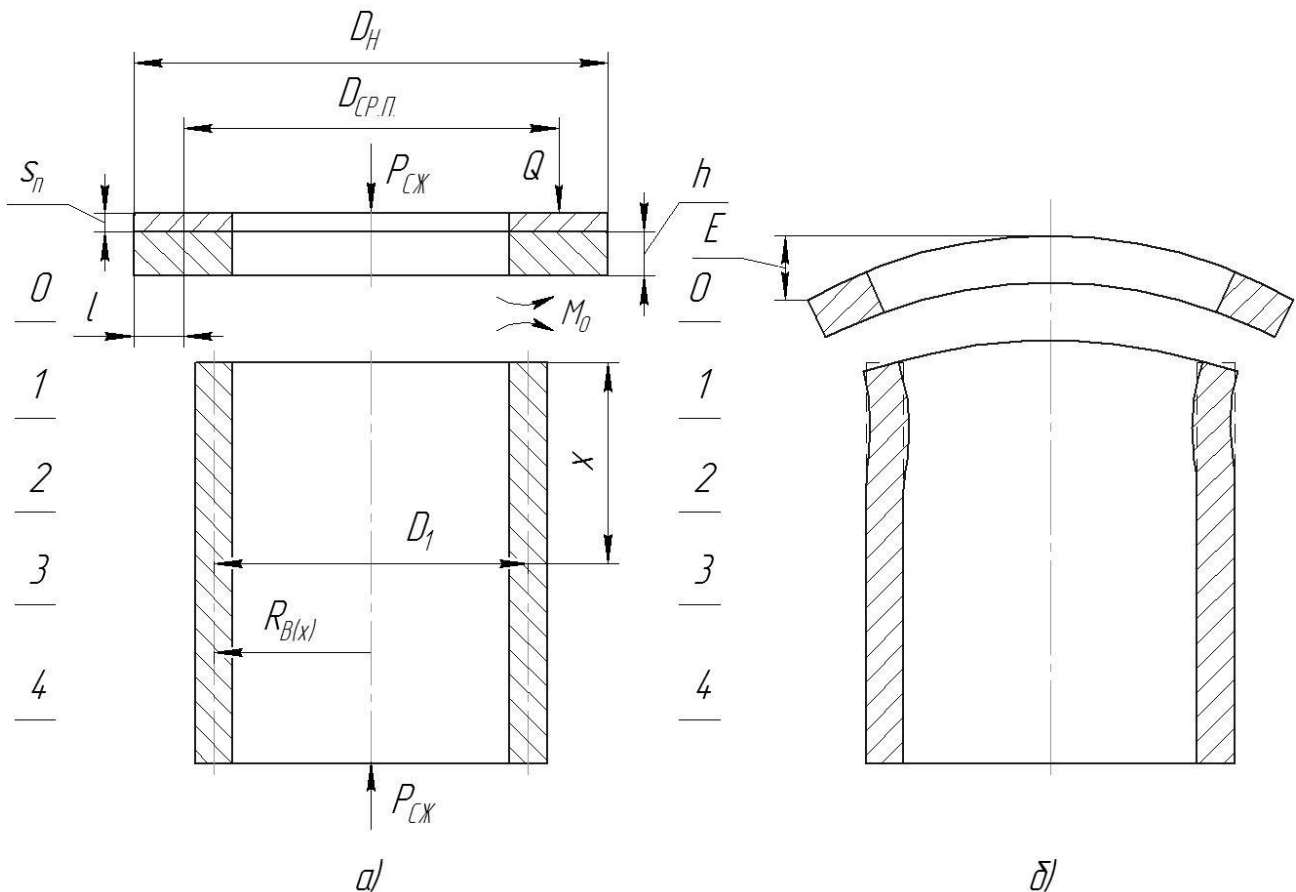


Рис. 1. Расчетная схема цилиндровой втулки от сжимающей нагрузки: а – основная система; б – схема деформации фланца и цилиндровой втулки

Расчетное усилие, действующее на стык и необходимое для восприятия внешней нагрузки $P_{СЖ}$, для обеспечения герметичности стыка между цилиндровой крышкой и втулкой, определяется зависимостью [2]:

$$Q = \frac{(K \cdot \pi \cdot D_{CP.II}^2 \cdot P)}{4} \quad (1)$$

где $D_{CP.II}$ – средний диаметр прокладки, м; P – рабочее давление сгорания, МПа; K – коэффициент затяжки.

Изгибающий момент в сечении О-О

$$M_0 = \frac{\eta \cdot Q}{\pi \cdot D} \quad (2)$$

где η – коэффициент, учитывающий, что часть момента воспринимается поворотной деформацией фланца, s_n – толщина прокладки, м; l – длина от края фланца до среднего диаметра прокладки, м; $r_{пр}$ – приведенный радиус галтели, между цилиндрической обечайкой и фланцем, м.

Изгибающий момент в любом сечении цилиндрической втулки представляется зависимостью [3]:

$$M_{(x)} = M_0 \cdot e^{-\beta x} \cdot \cos(\beta x) \quad (3)$$

где x – текущая координата; β – поправочный коэффициент.

Определим на краю цилиндрической втулки нормальные тангенциальные напряжения как суммарный результат наложения от действия изгибающего момента на соответствующий результат от действия силы давления газов, однако «сила $P_{сж}$ в этом случае считается отрицательной» [3]:

$$\sigma(x) = \frac{P_{сж}}{\pi \cdot R_{B(x)}^2} + \frac{6 \cdot M(x)}{\pi \cdot R_{B(x)}^2 \cdot s_{II}^2} \quad (4)$$

Под действием сжимающей нагрузки в галтели, описанной радиусом r , возникает зона дополнительных напряжений. Результаты расчета тангенциальных напряжений в сечениях цилиндрической втулки представлены в табл. 1

Таблица 1

Расчет тангенциальных напряжений

№ расчетного сечения	0 – 0	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4
$\sigma_{p(x)}$, МПа	27,19	10,9	5,41	5,5	10,3

В настоящее время широко развито направление моделирования системы и ее проверки методом конечных элементов. Проведем дополнительный расчет с применением метода конечных элементов (МКЭ) с разбиением цилиндрической втулки на конечные элементы тетраэдральной формы (рис. 2). Расчет проводим в комплексной программе SolidWorks в модуле SolidWorks Simulation. Исходные данные принимаем по выше приведенной схеме: материал цилиндрической втулки, приложенные нагрузки, закрепление детали с опорными поверхностями как в сборочном узле.

По представленной схеме число узловых элементов составляет 23024, а конечных элементов – 11864. Модель цилиндрической втулки идеализирована конечными элементами тетраэдральной формы, что позволяет за счет упругих систем определить уровень напряжений в конструкции. Представим на рис. 3 графические результаты расчета напряженного состояния цилиндрической втулки от силы давления газов.

На эпюрах (рис. 3а) видно, что наиболее нагружены галтельные зоны, которые могут стать причиной возникновения усталостных трещин.

Выполнив сечение вдоль цилиндрической втулки и по галтельной зоне (рис. 3 б), которое характеризует развитие и направление напряжений, а также форму деформаций геометрических размеров под действием сил давления газа. Значение деформации для наглядности увеличено для определения ее направления. При сравнении значений напряжений в характерных сечениях с табл. 1 расхождение результатов не превышает 10% (по факту расхождение по максимальному значению 9,5%), что подтверждает правильность моделирования процесса и расчетов.

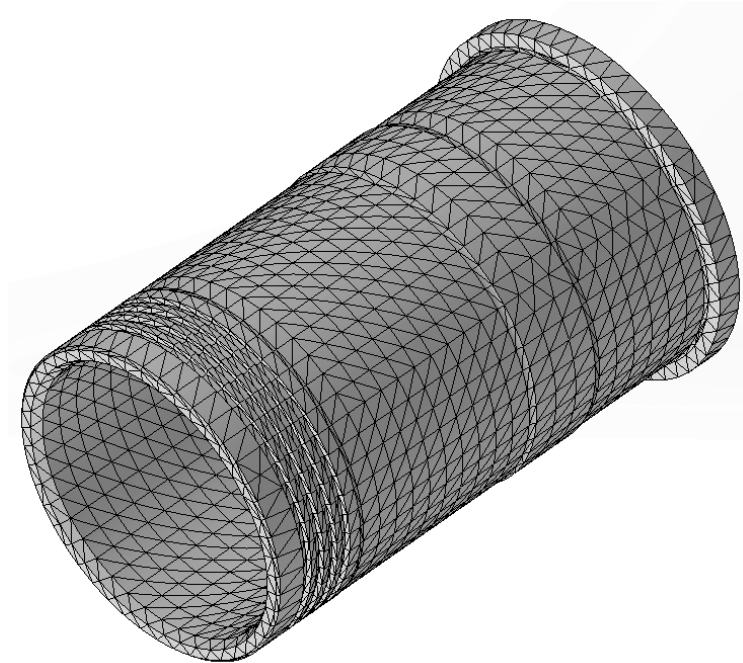


Рис. 2. Разбивка МКЭ цилиндрической втулки дизеля 6ЧН 21/21

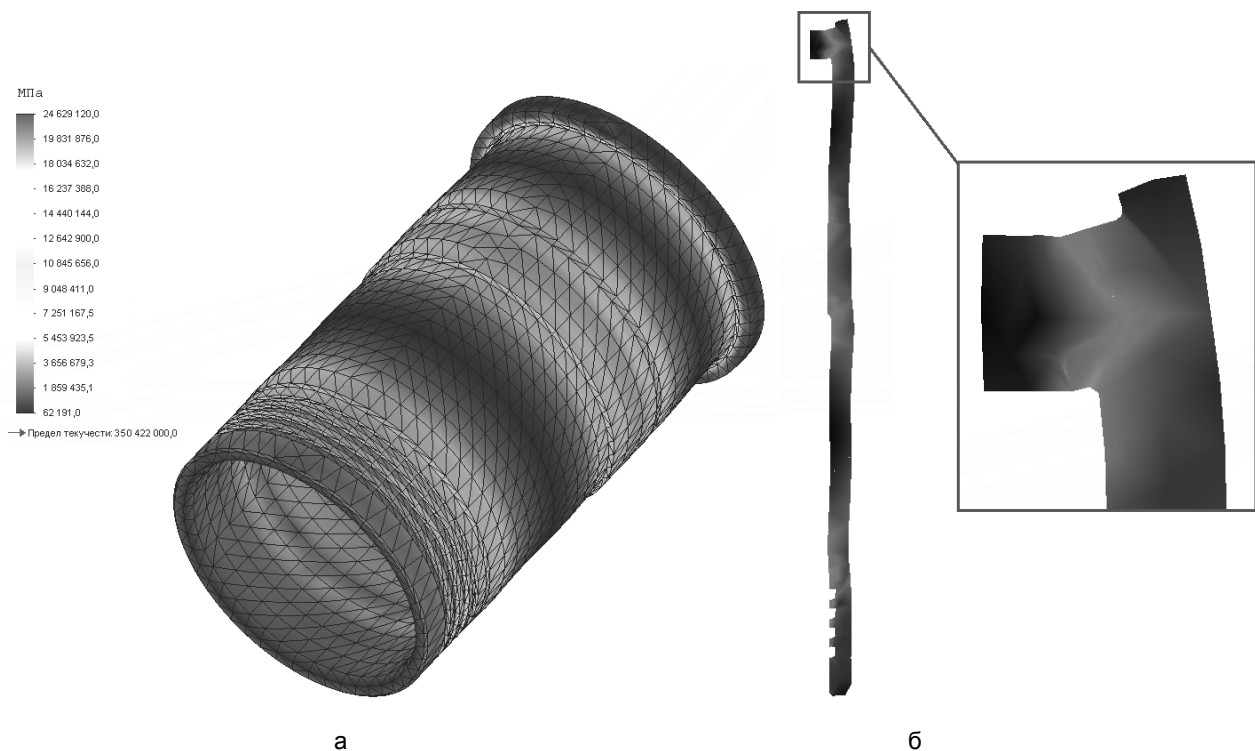


Рис. 3. Эпюры расчётных МКЭ нормальных напряжений цилиндрической втулки (а) и ее деформация от силы давления газов (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. Косырев С.П. Напряженное состояние втулки цилиндра высокофорсированного дизеля от действия сил давления газов / С. П. Косырев // Современные информационные технологии строительной, машиностроительной, химической и энергетической промышленности: сб. науч. тр., посв. 75-летию СГТУ. Саратов: СГТУ, 2006. С. 102-105.
2. Бугов А.У. Расчет напряжений и деформаций плотнопрочных фланцевых соединений кольцевых деталей гидротурбин / А.У. Бугов // Проблемы прочности в машиностроении: сб. Вып. 9. М.: Изд. АН СССР, 1962. С. 77-95.
3. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

Синчури́н Денис Васи́льевич – аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Denis V. Sinchurin – Postgraduate
Department of Technology and Mechanical Engineering Automation
Balakovo Institute of Technics, Technology and Management
of Gagarin Saratov Technical State University

Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.9

А.В. Славин

ПОРОГОВАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАК СРЕДСТВО ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Рассмотрены основные аспекты формирования качества поверхности при абразивной обработке с позиции нейросетевого моделирования. Предложена пороговая модель процесса формирования поверхности детали при шлифовании на основе применения нейронной сети с учетом влияния факторов разных уровней.

Пороговая иерархическая система, факторный анализ, абразивная обработка

A.V. Slavin

THE THRESHOLD HIERARCHICAL SYSTEM AS A MEANS OF THE ABRASIVE FACTOR ANALYSIS

The article describes the main aspects of the surface quality formation using the abrasive machining in terms of the neural network modeling. A threshold model is applied for treating the surface of a part by the grinding through the application of a neural network taking into account the influence of factors at different levels.

Threshold hierarchical system, factor analysis, abrasive treatment

В настоящее время к качеству обработки деталей машин предъявляются повышенные требования. Размерная точность, качество поверхности, макрогеометрические показатели – это критерии, определяющие качество и конкурентоспособность готовой продукции. Абразивная обработка, являясь финишной технологической операцией, должна обеспечить требуемые показатели. Являясь многофакторным стохастическим процессом шлифование сложно поддается анализу и упорядочению. В связи с этим рекомендации по подбору инструмента, режимов обработки и смазочно-охлаждающей жидкости основаны на эмпирических данных и носят достаточно размытый характер. Многочисленные исследования в данной области подчеркивают необходимость систематизации факторов, влияющих на конечное состояние поверхности изделия. Микрогеометрические теории абразивного разрушения [1-4] имеют важное значение.

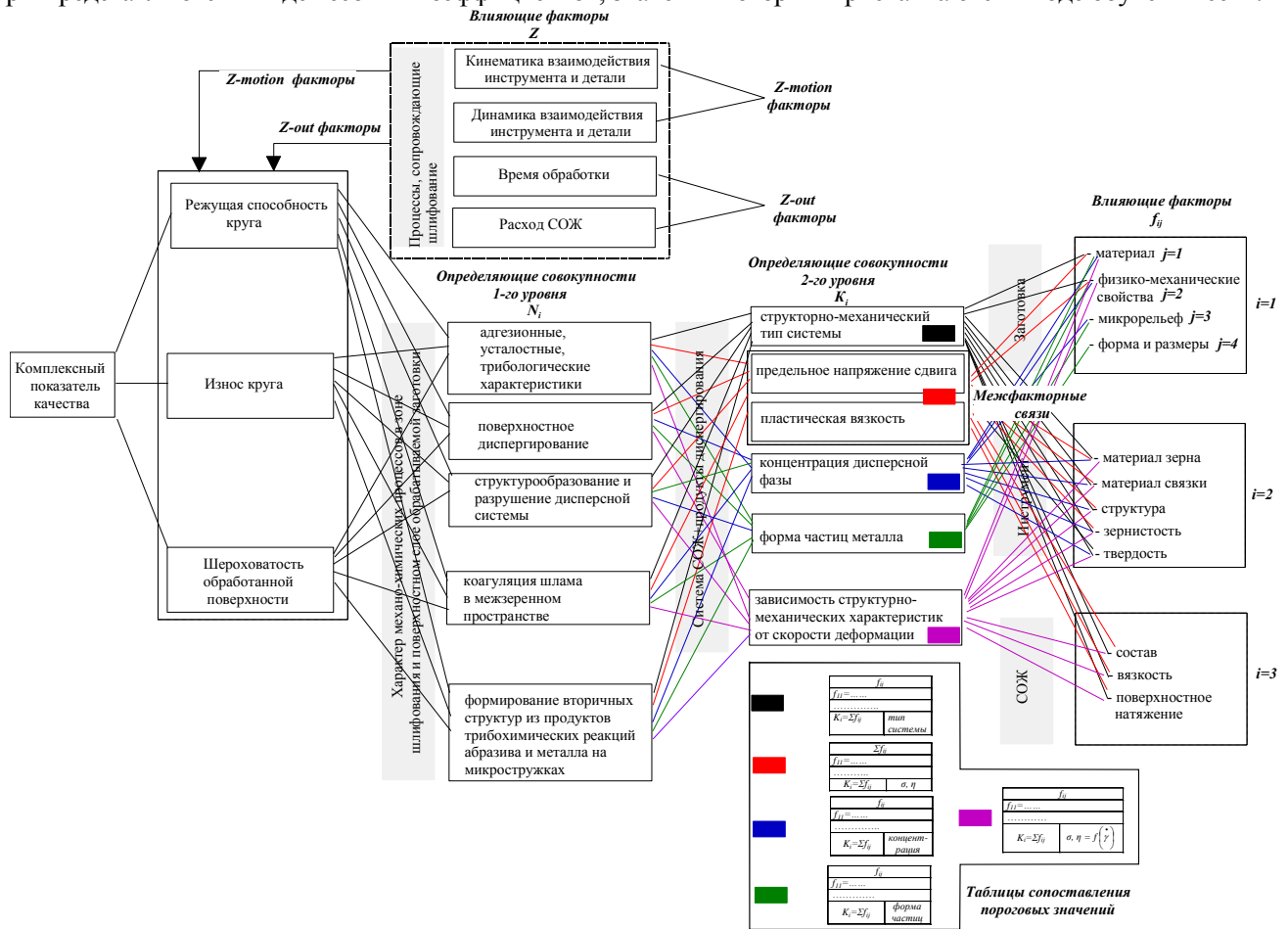
Необходимо отметить, что одним из важнейших показателей шлифования является шероховатость обработанной поверхности. Вместе с тем для обеспечения стабильности производственного цикла необходимо поддерживать в заданных пределах режущую способность инструмента и минимизировать его износ. Эти показатели связывают с параметрами материала заготовки, инструмента и СОЖ системой феноменологических уравнений. Большинство коэффициентов в этих уравнениях получены опытным путем и это затрудняет процесс алгоритмизации назначения режимов обработки, параметров и материала абразивного круга и выбора состава СОЖ.

Рассмотрим совокупность параметров и факторов, имеющих место в процессе абразивной обработки с позиций системного анализа.

В связи с особенностями данного вида обработки сложно проследить прямые зависимости между совокупностью параметров и итоговыми характеристиками.

Построим древовидную пороговую систему, имеющую иерархическую структуру и состоящую из факторов и совокупностей различных уровней.

На рисунке представлена предлагаемая структура. В качестве результирующего показателя используем безразмерный комплексный показатель качества, который формируется совокупностью коэффициентов режущей способности, износа круга и шероховатости обработанной поверхности. Элементарными составляющими процесса являются влияющие факторы множества $\{f_{ij}\}$. Внутри этого уровня j -е факторы разделены на i -е подмножества, определяющие принадлежность к заготовке, инструменту или СОЖ. j -е факторы представляются в виде весовых коэффициентов, значения которым присваиваются в ходе обучения сети.



Иерархическая пороговая структура процесса шлифования

Следующая иерархическая ступень – определяющие совокупности 2-го уровня K_i . Данная совокупность содержит сведения о системе, состоящей из СОЖ и продуктов диспергирования. Состояние этой системы влияет на итоговый показатель, т.к. физико-химические и структурно-механические показатели определяют интенсивность засаливания – нивелирования микропрофиля абразивного круга продуктами взаимодействия СОЖ, фрагментов зерна, связки и микростружек. Засаливание же в свою очередь является основным негативным фактором абразивной обработки, снижающим ее качество. На схеме показаны связи между элементами различных уровней. Совокупность входящих значений f_{ij} сопоставляется с пороговыми значениями $\sum f_{ij(порог)}$ и после обработки посредством таблиц сопоставления формирует выходные значения.

Далее формируются связи с определяющими совокупностями 1-го уровня N_i .

Эти совокупности отражают характер механо-химических процессов в зоне шлифования и поверхностном слое обрабатываемой заготовки. Влияние этого уровня на итоговые величины обусловлено механизмом засаливания, согласно которому, в зоне контакта абразивного круга и обрабатываемой детали формируется вязкопластическая дисперсная система, от устойчивости которой зависят режущая способность, износ круга и шероховатость обработанной поверхности.

По пороговому механизму осуществляется формирование значений элементов данного уровня с учетом характера связей и выходных значений K_i .

Следующий уровень – величины, составляющие комплексный показатель качества. Их значения формируются в результате связей, указанных на схеме и сопоставления значений действующих определяющих совокупностей предыдущего иерархического уровня. Сопоставление с пороговым значением дает весовые коэффициенты, непосредственно формирующие комплексный показатель качества.

Отдельно стоит рассмотреть факторы, определяющие процессы, сопровождающие шлифование, т. н. влияющие Z-факторы. В свою очередь они образуют две подсистемы – факторы, связанные с взаимным движением инструмента и детали (Z-motion) и факторы внешнего характера (Z-out). Их совокупное действие влияет на итоговые величины в качестве усиливающего или ослабляющего коэффициента.

Таким образом, система работает в 2 направлениях – прогнозирование результата абразивной обработки по имеющимся характеристикам заготовки, круга и СОЖ или подбор характеристик инструмента и СОЖ при фиксированных значениях параметров заготовки и требуемым показателям режущей способности, износа круга и шероховатости обработанной поверхности. Второй случай представляется более актуальным. Преимущество данной системы состоит в дискретности влияющих показателей всех иерархических уровней системы в силу порогового характера их формирования.

Обучение системы заключается в прогоне через систему совокупностей и результатов абразивной обработки. Основная задача на данном этапе – анализ данных и присвоение значений весовых коэффициентов, а также определение пороговых значений. Использование подобного подхода позволяет автоматизировать процесс выбора абразивного инструмента, режимов обработки и состава СОЖ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mac Gregor S.W. Handbuch der analytischen Verschleissberechnung / S.W. Mac Gregor. N.Y.: Plenum Press, 1964.
2. Blok H. The Flash Temperature Concept / H. Blok // Wear. Vol. (1963) 6, S. 483-494.
3. Cocks M. The Formation of Wedges of Displaced metal between Sliding Metal Surfaces / M. Cocks // Wear. 8 (1965), S. 85-92.
4. Cocks M. Roles of Displaced Metal in the sliding of Flat Metal Surfaces / M. Cocks // T. Appl. Phys. 55 (1964), S. 1807-1814.
5. Dr. Yun Peng, CMSC 491N/691N, Section 0101, Spring 2001 Introduction to Neural Network Computing, Chapter 4. Neural Networks Based on Competition.

Славин Андрей Вячеславович –
доцент кафедры «Технология обработки
и производства материалов»
Волжского института строительства
и технологий (филиала) Волгоградского
государственного архитектурно-строительного
университета

Andrei V. Slavin –
Associate Professor
Department of Processing Technology
and Production Materials
Volga Institute of Construction and Technology
Part of the Volgograd State Architectural University

Статья поступила в редакцию 18.09.13, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.86/87(075)

Н.М. Чернова, Р.А. Кобзев

КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТИПА 3k-h НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГРАФИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Рассматривается методика проектирования планетарных зубчатых передач с тремя центральными колесами на основе метода графического синтеза. Рассматривается классификация передач типа 3k-h. Получены соотношения для определения геометрических параметров зубчатых колес в зависимости от величины и знака передаточного отношения, а также обобщенного параметра, величина которого назначается в зависимости от требуемых качественных характеристик проектируемой передачи.

Планетарные зубчатые передачи, метод графического синтеза, оптимальное проектирование

N.M. Chernova, R.A. Kobzev

CLASSIFICATION AND CALCULATION OF THE $3k-h$ TYPE GEAR SETS USING THE GRAPHIC SYNTHESIS METHOD

The article considers the method for designing the planetary gear sets with three central wheels design on the basis of the graphic synthesis. Classification of the $3k-h$ type gears is presented. Correlation factors are used to determine the geometric parameters of cog-wheels depending on the size and sign of the transfer relation, as well as on the generalized parameter with the size appointed depending on the required qualitative characteristics of the projected gear.

Planetary gear sets, graphic synthesis method, optimum design

Перспективным направлением для приводов крановых механизмов является применение планетарных редукторов. Сравнительно неширокое применение планетарных приводов механизмов грузоподъемных машин объясняется недоработанностью теории проектирования планетарных передач применительно к решаемым задачам. Существенным недостатком в современном проектировании планетарных редукторов является тот факт, что заранее выбирается схема редуктора, а затем по заданному передаточному отношению проводится подбор чисел зубьев. Это практически не позволяет скомпоновать редуктор в заданные габариты, определяемые внутренним диаметром барабана, размерами балансира, размерами площадки для размещения механизма поворота и т.д. Кроме того, при решении задач оптимизации по принципам металлоемкости или энергоемкости необходим анализ схем на стадии проектирования, что провести на основе существующих методик очень сложно.

В ряде работ, проведенных на кафедре «Подъемно-транспортные и строительно-дорожные машины» Балаковского института техники, технологии и управления д.т.н. Черновой Н.М., доказано, что выбор схемы редуктора зависит не только от величины передаточного отношения, но и, в первую очередь, от его знака. Был разработан метод графического синтеза соосных зубчатых передач [1], на основе которого доказывается, что схема зубчатой передачи и геометрические размеры колес однозначно определяются величиной и знаком передаточного отношения, а также величиной введенной обобщенной координаты x_i , учитывающей качественные характеристики проектируемой передачи. В соответствии с этим была проведена классификация планетарных зубчатых передач типа $2k-h$ с разделением по четвертям декартовой системы координат, получены соотношения для определения чисел зубьев передачи в зависимости от числа зубьев первого центрального колеса, передаточного соотношения и обобщенной координаты x_i [2]. Были разработаны методики оптимального проектирования планетарных передач типа $2k-h$ при условии равной контактной и изгибной прочностей.

При оптимальном проектировании механизмов кранов большой грузоподъемности перспективным является применение планетарной зубчатой передачи типа $3k-h$, позволяющей за счет подбора соответствующих чисел зубьев обеспечивать большие передаточные отношения (50÷600) при хорошем КПД (0.9÷0.8) и большой компактности. Для разработки методики оптимального проектирования планетарных зубчатых передач типа $3k-h$, на основании метода графического синтеза были получены соотношения для определения начальных радиусов колес в зависимости от передаточного отношения и введенного геометрического параметра x_i . Рассматривались схемы передач с двухвенцовыми сателлитами (рис. 1). Передачи имеют три центральных колеса: одно с внешним зацеплением – колесо 1, два с внутренним – колеса 3 и 4. Водило вращается свободно, не передавая движения. Могут быть получены схемы различного исполнения в зависимости от того, какое из колес 3 или 4 является опорным. В зависимости от размеров сателлитных колес передача может иметь положительное (рис. 1а и в) или отрицательное передаточное отношение (рис. 1 б и г).

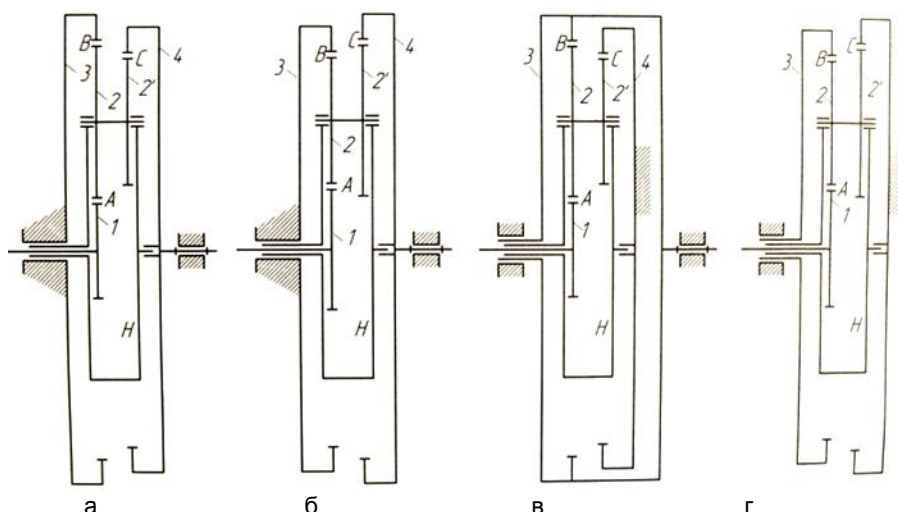


Рис. 1. Классификация зубчатых передач типа 3k-h

Рассмотрим применение метода графического синтеза к проектированию рассматриваемой зубчатой передачи на примере редуктора с опорным колесом 3 и положительным передаточным отношением $u_{14}^{(3)} > 0$ (рис. 2). Выберем систему координат XOY . Ось OX проходит через точку A – точку контакта ведущего колеса с сателлитным. Построим картину аналогов скоростей точек редуктора в том же масштабе, что и схему механизма. По оси OX отложим отрезок:

$$Oa = V_A = \omega_1 r_1, \quad (1)$$

где r_1 – радиус первого колеса выбирается произвольно, ω_1 – угловая скорость вращения ведущего колеса, которая может быть принята равной единице ($\omega_1 = 1 \text{ с}^{-1}$).

Далее из начала координат в отрицательном направлении оси OY откладываем отрезок $OD = r_1$ (точка D будет осью вращения центрального колеса 1). Соединив точки a и D , получим прямоугольный треугольник aOD с равными катетами. Гипотенуза aD будет представлять собой линию распределения линейных скоростей центрального колеса 1. Таким образом, получаем:

$$\operatorname{tg} \theta_1 = Oa/OD = 1 \text{ или } \theta_1 = 45 \text{ град; } u_{14}^{(3)} = \operatorname{tg} \theta_1 / \operatorname{tg} \theta_4 = 1 / \operatorname{tg} \theta_4. \quad (2)$$

При заданном $u_{14}^{(3)}$ найдем угол θ_4 и из точки D проведем линию распределения аналогов скоростей точек 4-го колеса (линию 4) под углом θ_4 к оси OY в положительном или отрицательном направлении оси OX в зависимости от знака $u_{14}^{(3)}$. На линии 4 произвольно выберем точку c , которая характеризуется координатой x_c . Точка c на плане скоростей соответствует концу вектора аналога скорости t . C на плане механизма – точке контакта сателлитного колеса 2 с центральным колесом 4. Проведем линию ac до пересечения с осью OY в точке B . Координата x_c имеет положительное значение при $u_{14}^{(3)} > 0$ и отрицательное – при $u_{14}^{(3)} < 0$. Точки a, c, b, h – концы векторов окружных скоростей центральных колес 1, 3 и 4 и водила соответственно (точка O_2 делит отрезок OB пополам). При этом по оси OY получим отрезки, характеризующие размеры звеньев редуктора: $DO = r_1$; $DB = r_3$; $OO_2 = r_2$; $DC = r_4$; $O_2 C = r_2$. Данные построения позволяют выразить начальные радиусы колес передачи через обобщенную координату и передаточное отношение редуктора. Начальный радиус 4-го колеса:

$$r_4 = DC = x_c u_{14}^{(3)}. \quad (3)$$

Начальный радиус 3-го колеса:

$$r_3 = DB = r_1 + OB. \quad (4)$$

Рассмотрим подобие треугольников ΔBaO и ΔBcC :

$$\frac{Cc}{Oa} = \frac{CB}{OB}. \quad (5)$$

Учитывая соотношения:

$$CB = DB - DC = r_3 - r_4 = r_3 - x_c u_{14}^{(3)}; OB = r_3 - r_1, \quad (6)$$

после преобразований из соотношения (5) получим

$$r_3 = \frac{r_1 x_c (u_{14}^{(3)} - 1)}{r_1 - x_c} \quad (7)$$

$$r_2 = \frac{AB}{2} = \frac{r_3 - r_1}{2} = \frac{r_1 (x_c u_{14}^{(3)} - r_1)}{2(r_1 - x_c)} \quad (8)$$

Начальный радиус сателлита 2' определим из условия соосности:

$$r_{2'} = r_4 - r_1 - r_2, \quad r_{2'} = \frac{(r_1 - 2x_c)(x_c u_{14}^{(3)} - r_1)}{2(r_1 - x_c)} \quad (9)$$

Начальные радиусы колес редуктора с отрицательным передаточным отношением также выражаются соотношениями (3), (7)-(9).

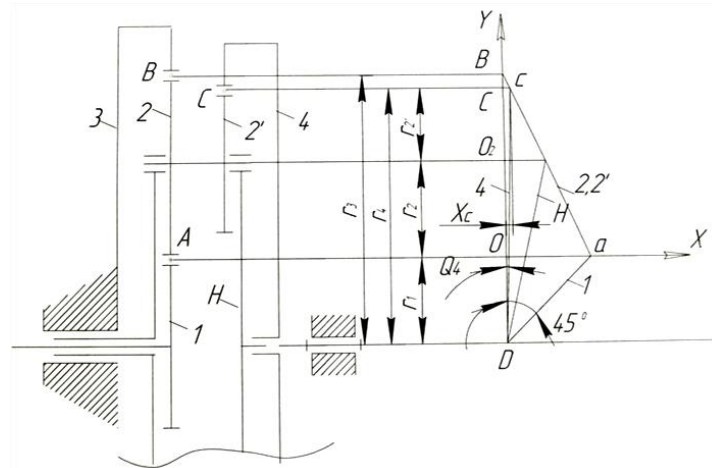


Рис. 2. Определение геометрических параметров редуктора с опорным колесом 3

Рассмотрим редукторы с опорным колесом 4 на примере редуктора с положительным передаточным отношением $u_{13}^{(4)} > 0$ (рис. 3). Выберем систему координат XOY. Ось OX проходит через точку A – точку контакта ведущего колеса с сателлитным. Построим картину аналогов скоростей точек редуктора в том же масштабе, что и схему механизма. По оси OX отложим отрезок Oa, определяемый соотношением (1).

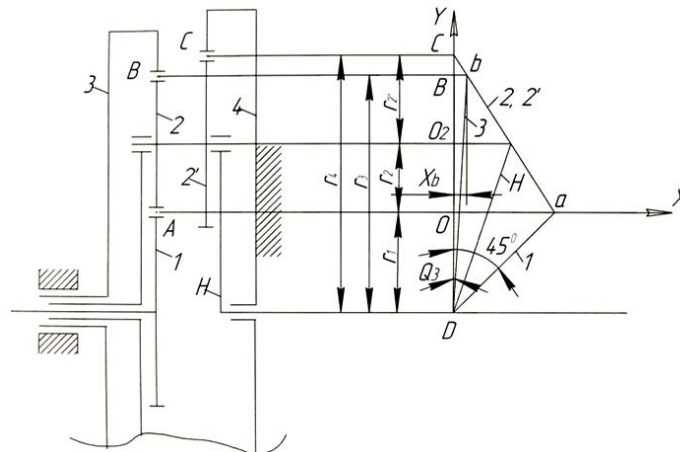


Рис. 3. Определение геометрических параметров редуктора с опорным колесом 4

Далее из начала координат в отрицательном направлении оси OY откладываем отрезок OD = r1 (точка D будет осью вращения центрального колеса 1). Соединив точки a и D, получим прямоугольный треугольник aOD с равными катетами. Гипотенуза aD будет представлять собой линию распределения линейных скоростей центрального колеса 1. Таким образом, получаем

$$tg \theta_1 = Oa/OD = 1 \text{ или } \theta_1 = 45 \text{ град; } u_{13}^{(4)} = tg \theta_1 / tg \theta_3 = 1 / tg \theta_3 \quad (10)$$

По известному передаточному отношению $u_{13}^{(4)}$ найдем угол θ_3 и из точки D проведем линию распределения аналогов скоростей точек 3-го колеса (линию 3) под углом θ_3 к оси OY в положительном или отрицательном направлении оси OX в зависимости от знака $u_{13}^{(4)}$. Для редукторов с опорным колесом 4 вводится обобщенный параметр x_B , представляющий собой координату т. b , соответствующей аналогу скорости т. B на плане механизма – точке контакта сателлитного колеса 2 с центральным колесом 3. Координата x_B имеет положительное значение при $u_{13}^{(4)} > 0$ и отрицательное – при $u_{13}^{(4)} < 0$. Проведем линию ab до пересечения с осью OY в точке C . Точки a, c, b, h – концы векторов окружных скоростей центральных колес 1, 3 и 4 и водила соответственно (точка O_2 делит отрезок OB пополам). При этом по оси OY получим отрезки, характеризующие размеры звеньев редуктора: $DO = r_1$; $DB = r_3$; $OO_2 = r_2$; $DC = r_4$; $O_2C = r_2$. Данные построения позволяют выразить начальные радиусы колес передачи через обобщенную координату и передаточное отношение редуктора. Начальные радиусы колес 3 и 4:

$$r_3 = DB = x_B u_{13}^{(4)}, \quad r_4 = DC = r_1 + OC. \quad (11)$$

Рассмотрев подобие треугольников ΔCaO и ΔBbC , после преобразований получим

$$r_4 = \frac{r_1 x_B (u_{13}^{(4)} - 1)}{r_1 - x_B}. \quad (12)$$

$$r_2 = \frac{AB}{2} = \frac{r_3 - r_1}{2} = \frac{r_1 x_B - r_1}{2}. \quad (13)$$

Начальный радиус сателлита 2' определим из условия соосности:

$$r_2' = r_4 - r_1 - r_2, \quad r_2' = \frac{(r_1 + x_B)(x_B u_{13}^{(4)} - r_1)}{2(r_1 - x_B)}. \quad (14)$$

Начальные радиусы колес редуктора с отрицательным передаточным отношением также выражаются соотношениями (11)-(14).

Параметры x ; следует выбирать, исходя из требуемых качественных характеристик зубчатого механизма. Такими характеристиками, выбираемыми в зависимости от назначения, для крановых планетарных зубчатых механизмов могут быть: условие равной контактной прочности зубьев; условие равного износа ножек зубьев; условие наименьших габаритов; максимально возможный коэффициент перекрытия зубьев; величина КПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернова Н.М. Метод графического синтеза соосных зубчатых передач / Н.М. Чернова // Изв. ТулГУ. Подъемно-транспортные машины и оборудование. Тула, 2005. Вып. 4. С. 218-222.
2. Чернова Н.М. Оптимальное проектирование планетарных зубчатых передач / Н.М. Чернова. Саратов: СГТУ, 2006. 184 с.

Чернова Наталья Михайловна – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Высшая математика и механика» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Natalia M. Chernova – Dr. Sc., Head: Department of Higher Mathematics and Mechanics, Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management, Part of Gagarin Saratov State Technical University

Кобзев Роман Анатольевич – кандидат технических наук, докторант кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

Roman A. Kobzev – Ph. D., Postgraduate Department of Hoisting-and-Transport, Building and Road Machines, Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management, Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 04.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

О.С. Шумарова, С.А. Игнатъев

АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ В ДИАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА WAVELET TOOLBOX

Описывается применение вейвлет преобразования Добеши и Хаара в пакете расширения Wavelet Toolbox системы Matlab и анализ части сигнала с вихретокового преобразователя дефекта забоина с помощью встроенных функций Wavelet Toolbox.

Вейвлет-преобразование, анализ сигнала, дефекты поверхностного слоя деталей подшипников

O.S. Shumarova, S.A. Ignatyev

THE INTERACTIVE MODE OF ANALYZING THE LOCAL DEFECTS OF THE BEARING PARTS USING THE WAVELET TOOLBOX PACKAGE

The article describes application of the Daubechie and Haar converters used in the package of the Wavelet Toolbox expansion of the Matlab system, and analysis of a part of a signal coming from the eddy-current converter of a defect by means of the built-in Wavelet Toolbox functions.

Wavelet-converter, signal analysis, defect of the surface layer of a bearing component

В связи с тем, что современная технология производства изделий массового выпуска, которыми являются подшипники, требует повышения скоростей автоматического неразрушающего контроля и включения систем контроля непосредственно в технологическую линию, возникает задача автоматизации сортировки деталей в зависимости от качества поверхностного слоя, а также обнаружения и идентификации дефектов поверхностного слоя деталей подшипников.

Максимально возможная степень автоматизации контроля качества поверхностного слоя деталей подшипников на этапе шлифования позволяет целенаправленно воздействовать на причины возникновения выявляемых типов неоднородностей, снижает себестоимость контроля качества и охватывает больший объем выборки контролируемых изделий, что повышает эффективность всей системы мониторинга. Вследствие особенностей алгоритма формирования карт неоднородностей поверхностного слоя деталей подшипников было выявлено большое количество классов кластеризации изображения, ряд которых неоднозначно описывают тип обнаруженных неоднородностей.

Анализ научно-технической информации показал перспективность использования для автоматизации распознавания локальных дефектов колец подшипников аппарата вейвлет-преобразований как для локализации неоднородностей в сигнале, так и для последующего выделения классификационных признаков для каждого из альтернативных классов распознаваемых дефектов. Также сделан вывод о целесообразности использования пакета расширения Wavelet Toolbox системы Matlab.

Сигнал вихретокового преобразователя, полученный с помощью ПВК-К2М, имеет две составляющие: амплитудную и фазовую. Каждая составляющая представляет собой дискретный сигнал, в котором заключена часть информации о поверхности контролируемой детали.

Выход значений электромагнитных характеристик сканируемой поверхности за допустимый уровень, отражается в сигнале вихретокового преобразователя резким скачком амплитуды. Данный факт позволяет выработать количественный порог, по которому в дальнейшем можно определить границы неоднородности.

Для этого удобно использовать дискретное вейвлет-преобразование сигнала ВТП. Как следует из теории ДВП, резкие кратковременные всплески отображаются в высокочастотной части разложения, что находит отражение в детализирующих коэффициентах различных уровней разложения. Анализируя в совокупности детализирующие коэффициенты различных уровней разложения фазовой и амплитудной составляющей сигнала ВТП, выявляем последовательно неоднородности поверхностного слоя, путем выделения

их левой и правой границы. В итоге, выделенные неоднородности представляют собой набор из $2N$ чисел, где N – количество обнаруженных неоднородностей. Полученные таким образом сигналы дефектов имеют различную длину и различные размеры по амплитуде, так как дефекты различаются по геометрическим размерам: глубине, площади, размерам зон напряжения и т.д. Но в тоже время один и тот же тип дефектов имеет внутри своего класса сходную форму сигнала, что позволяет отличать один тип от другого.

Пакет расширения Wavelet Toolbox системы Matlab позволяет использовать вейвлетный анализ и преобразование данных в самых различных областях науки и техники.

Программное обеспечение пакета позволяет выполнять вейвлет-преобразования как в командном режиме (и готовить специализированные программы), так и в диалоговом режиме по интерфейсу GUI (включение командой «wavemenu» или из окна редактора, Wavelet Toolbox → Main Menu).

Интерфейс GUI удобен для анализа данных в диалоговом режиме. Демонстрационные сигналы загружаются в окно из меню File → Example Analysis, устанавливается тип вейвлета, параметры анализа и нажимается кнопка 'Analyze', после чего в графической части окна появляется сигнал и результаты его разложения в трех представлениях (полное, сечение по среднему уровню разложения и линии локальных максимумов). Графическое представление можно изменять нижерасположенными кнопками и переключателями, а также использовать типовые возможности оконного меню.

При вейвлет-разложении аппроксимирующие коэффициенты (рис. 1) раскладываются на аппроксимирующие (слева) и детализирующие (справа) коэффициенты более низкого уровня, а затем процедура применяется к вновь полученным аппроксимирующим коэффициентам. Детализирующие коэффициенты далее не анализируются. Разложение сигнала ВГП целесообразно осуществлять не более третьего уровня.

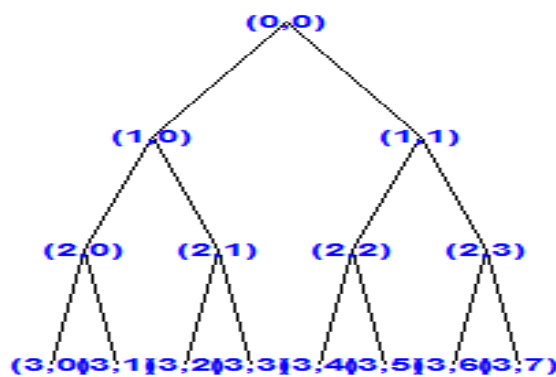


Рис. 1. Схема пакетного разложения третьего уровня

Для числового анализа детализирующих коэффициентов можно использовать по крайней мере три способа обработки:

- статистические характеристики;
- энергетический спектр – основан на исследовании энергетического спектра преобразований Фурье количественных характеристик компонентов сигналов;
- стохастические характеристики: фрактальная размерность, показатель Херста, корреляционная размерность, размерность фазового пространства – используются для оценки хаотичности вейвлет-коэффициентов. Данные метода основаны на том, что по имеющимся одномерным данным можно построить динамическую систему в многомерном фазовом пространстве, для которой наблюдаемая переменная будет одной из координат.

Рассмотрим данный способ разложения на примере одного из выбранных дефектов (забойна), с использованием приложения Wavelet Toolbox, обеспечивающий представление и визуализацию данных и результатов в удобной и наглядной форме.

Загрузим данные вихретокового преобразователя и построим график выбранного дефекта и проанализируем его с помощью вейвлета Добеши третьего порядка и второго уровня и вейвлета Хаара 2 уровня. На рис. 2 приведены график исходного сигнала s и графики компонент сигнала, восстановленных чисто по аппроксимирующим коэффициентам a_3 и детализирующим коэффициентам d_1, d_2, d_3 .

Также есть возможность оценить характеристики разности между исходным и сжатым сигналами: график разности, гистограмма, автокорреляционная функция, частотный спектр быстрого преобразования Фурье и числовые статистические характеристики, такие как среднее, максимальное и минимальное значения, медиана, среднеквадратичное отклонение и другие.

Более гибким методом является пороговая обработка в зависимости от уровня. При выборе метода появляется окно, содержащее графики исходного сигнала и детализирующих коэффициентов d_1, d_2, d_3 .

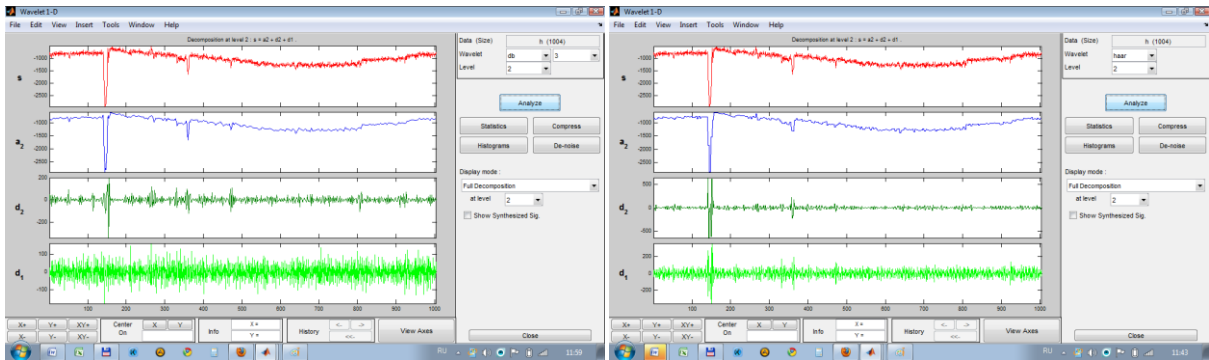


Рис. 2. График дискретного вейвлет-разложения до 3-го уровня

Главным достоинством дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) является возможность быстрого преобразования (БВП) с пирамидальным алгоритмом вычислений, что позволяет выполнять анализ больших выборок данных. Однако возможности БВП реализуются не для всех типов вейвлетов. Тем не менее, при обработке данных БВП используется весьма интенсивно и в пакете Wavelet Toolbox представлено большим количеством специальных функций.

Окно преобразования включается из 'Wavelet Toolbox Main Menu' кнопкой «Wavelet 1-D» (рис. 3) и имеет несколько большие функциональные возможности. Переключателем «Display mode» режимы вывода можно изменять, детали вывода можно устанавливать в отдельном подокне (кнопка «More Display Options»).

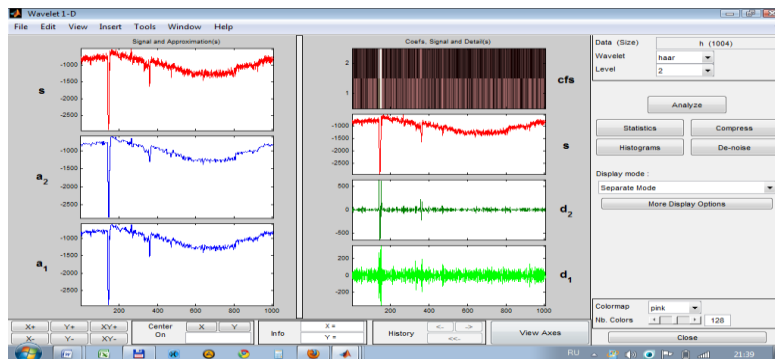


Рис. 3. Окно преобразования «Wavelet 1-D» исходного сигнала с помощью вейвлета Хаара

Под кнопкой «Analyze» окно имеет 4 кнопки включения окон выполнения специальных операций над результатами разложения сигнала.

Окна «Statistics» и «Histograms» (рис. 4) предназначены для анализа и графического вывода статистических характеристик сигнала и всех коэффициентов его разложения.

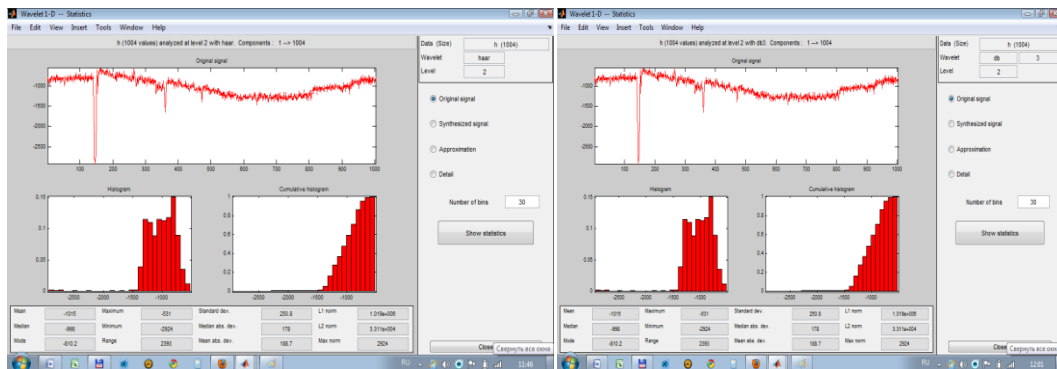


Рис. 4. Окна графического вывода статистических характеристик сигнала и всех коэффициентов его разложения

В окнах «Compress» и «De-noise» (рис. 5, 6) устанавливаются режимы компрессии (сжатия) сигналов и очистки сигналов от шумов, и выполняются эти операции.

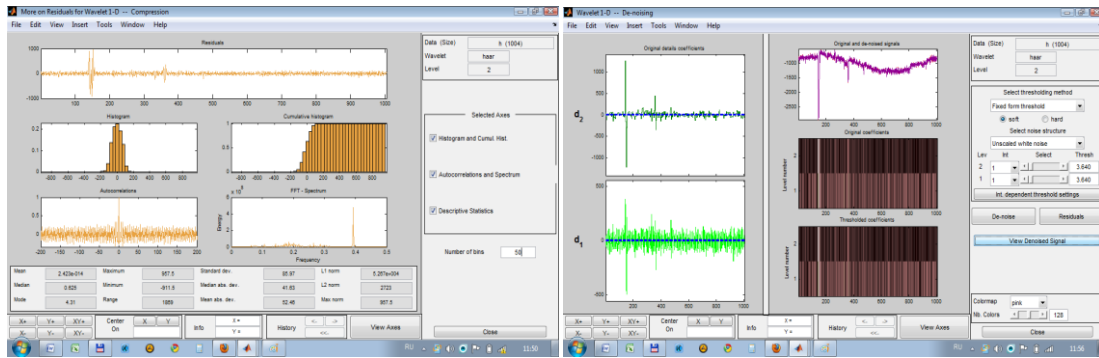


Рис. 5. Окна вывода режима компрессии (сжатия) сигнала и очистки сигнала от шумов с помощью вейвлета Хаара

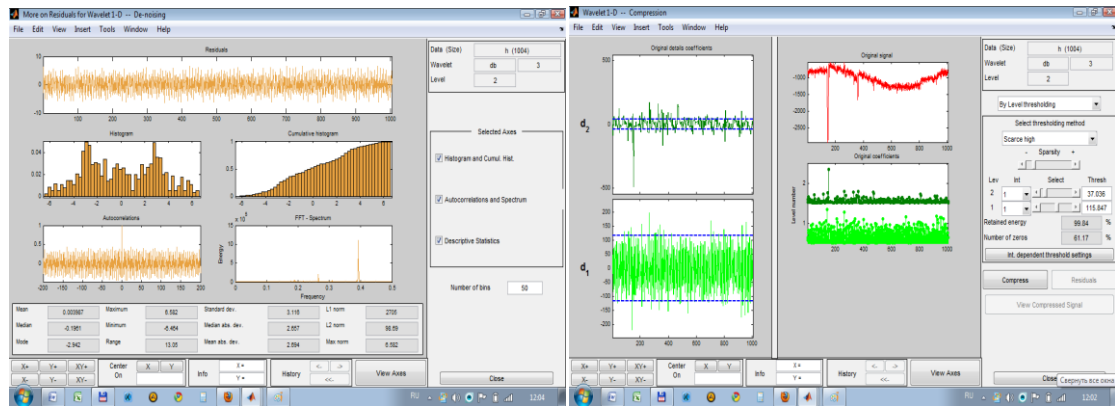


Рис. 6. Окна вывода режима компрессии (сжатия) сигнала и очистки сигнала от шумов с помощью вейвлета Добеши

Коэффициенты декомпозиции в структуре разложения [C,L], а также синтезированный сигнал могут быть записаны на диск в mat-файлы через меню окна File. Точно так же в окно может загружаться как сигнал, так и коэффициенты его разложения.

В обычном алгоритме Маллата быстрого вейвлет-преобразования (БВП) при переходе с масштабного уровня m на уровень $m+1$ функция аппроксимирующих коэффициентов $c_{m,k}$ разделяется на низкочастотную ($c_{m+1,k}$) и высокочастотную ($d_{m+1,k}$) части спектрального диапазона, и при дальнейшем увеличении масштабных уровней аналогичному разложению последовательно подвергаются только низкочастотные функции (аппроксимирующие). В пакетном алгоритме БВП операция последовательного частотного расщепления применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных (детализирующих) коэффициентов. В результате возникает дерево расщепления.

При таком расщеплении вейвелты каждого последующего уровня образуются из вейвлета предыдущего уровня разделением на два новых вейвлета (рис. 6). Новые вейвелты также локализованы в пространстве, но на вдвое более широком интервале. Полный набор вейвлетных функций разложения называют вейвлет-пакетом.

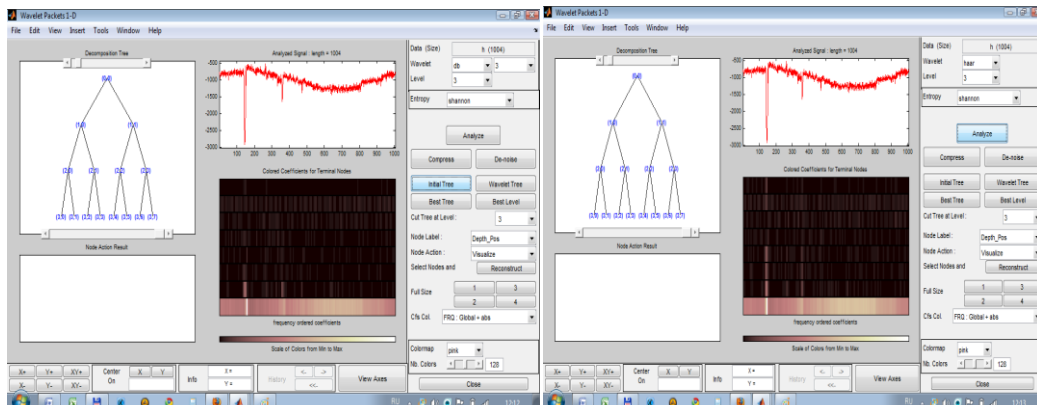


Рис. 6. Пакетный алгоритм БВП заданного сигнала а основе вейвлетов Добеши и Хаара

Пакетное вейвлет-преобразование позволяет более точно приспособляться к особенностям сигналов путем выбора соответствующей оптимальной формы дерева разложения, которая обеспечивает минимальное количество вейвлет-коэффициентов при заданной точности реконструкции сигнала, и, тем самым, целенаправленно исключает из обратного БВП незначимые, информационно избыточные или ненужные детали сигналов. Мерой оптимальности обычно служит концентрация числа вейвлет-коэффициентов для реконструкции сигнала с заданной точностью (погрешностью).

Для просмотра формы пакетных вейвлетов и получения о них более подробной информации аналогично обычным вейвлетам можно использовать интерфейс GUI (команда 'wavemenu', кнопка 'Wavelet Packet Display' окна 'Wavelet Toolbox Main Menu').

При вихретоковом методе контроля оператор должен обладать достаточно большим опытом для визуального распознавания дефектов по изображению. Эту задачу существенно облегчают, во-первых, создание специального классификатора дефектов, выявленных другими известными методами, во-вторых автоматический процесс распознавания. Для распознавания локальных дефектов предусматривается метод, основанный на использовании вейвлет-преобразования информационных сигналов ВТП. На ОАО «Саратовский подшипниковый завод» дискретные вейвлет-преобразования (ДВП) применяются как первый этап в автоматизированном распознавании образов. Реальные нестационарные сигналы чаще всего состоят из кратковременных высокочастотных и длительных низкочастотных компонентов, поэтому для их анализа целесообразно применять преобразование, которое обеспечивает различные окна для различных частот (узкие – для высоких частот и широкие – для низких). Этим условиям отвечает вейвлет-преобразование. Материнскими вейвлетами могут быть различные функции, например, вейвлеты Хаара; Шеннона; Добеши; Мейера; «мексиканская шляпа» и т.д. Вейвлет-преобразование позволяет выявить количественную оценку различных дефектов деталей подшипников. Коэффициенты разложения зависят от выбора анализируемого всплеска, поэтому для каждой прикладной задачи необходимо подобрать наиболее приспособленный всплеск.

Согласно научным исследованиям, теоретически представление сигналов возможно в виде суммы составляющих – базисных функций $\psi_k(t)$, умноженных на коэффициенты C_k :

$$s(t) = \sum_k C_k \cdot \psi_k(t) \quad (1)$$

Так как базисные функции $\psi_k(t)$ предполагаются заданными как функции вполне определенного вида, то только коэффициенты C_k содержат информацию о конкретном сигнале. Ряды Фурье используют единственную базовую функцию – синусоиду. Уже в силу этого для нестационарных сигналов классический спектральный анализ просто неприменим. Поскольку выбор базисных функций выполняется заранее, коэффициенты C_k содержат полную информацию об исходном сигнале.

При применении вейвлет-преобразований к сигналам ВТП от локальных дефектов по значениям коэффициентов разложения можно судить о виде дефекта, так как наборы коэффициентов различаются. В виде объекта автоматического распознавания выбраны детали подшипников, качество которых поддерживается с помощью вихретокового метода контроля неоднородности поверхностного слоя шлифованных деталей подшипников. Локальным неоднородностям поверхностного слоя соответствуют резкие колебания амплитуд составляющих сигнала по сравнению со средним значением амплитуд сигнала ВТП, полученного при контроле детали с приемлемым уровнем качества. Вследствие того, что наиболее часто встречающиеся дефекты поверхностного слоя деталей подшипников имеют различную форму сигнала ВТП, и следовательно, различаются спектры вейвлет-коэффициентов, предоставляется возможность разработать методику автоматического выявления и распознавания локальных дефектов поверхностного слоя деталей подшипников. Существенным отличием предлагаемого метода является использование амплитудных и фазовых составляющих сигнала ВТП для распознавания локальных дефектов деталей подшипников. Часть дефектов распознается по амплитудной составляющей, в противном случае осуществляется автоматический переход к распознаванию по фазовой составляющей информационных сигналов (ИС).

Для определения надежности распознавания наиболее распространенных дефектов поверхностей качения деталей подшипников (забоина, металлическая трещина, штриховой прижог, пятнистый прижог, закалочная трещина, шлифовальная трещина предполагается использование одного классификационного признака – интегральной оценки спектров аппроксимирующих вейвлет-коэффициентов окна выявления дефекта, приведенного к единому масштабу [3].

Таким образом, проведенный анализ позволит обосновать целесообразность разработки методов автоматического распознавания дефектов и анализа качества шлифованной поверхности деталей подшипников по данным вихретокового контроля, на основе разработанного алгоритма процесса распознавания состояния контролируемого объекта, и управления им в системе мониторинга технологического процесса производства подшипниковой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатьев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. С. 124.
2. Горбунов В.В. Мониторинг технологического процесса обработки деталей подшипников с применением автоматизированного вихретокового контроля / В.В. Горбунов, А.А. Игнатьев, О.В. Волынская // Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении: сб. науч. тр. Саратов: ИШТМУ РАН, 2002. С. 72-74.
3. Дорофеев А.Л. Электромагнитная дефектоскопия / А.Л. Дорофеев, Ю.Г. Казаманов. М.: Машиностроение, 1980. 280 с.
4. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MathLab / Н.К. Смоленцев. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.
5. Игнатьев А.А. Автоматизированная вихретоковая дефектоскопия деталей подшипников / А.А. Игнатьев, А.М. Чистяков, В.В. Горбунов // СТИН. 2002. № 4. С. 17-19.
6. Игнатьев А.А. Автоматизация распознавания дефектов шлифованных деталей в системе мониторинга технологического процесса производства подшипников / А.А. Игнатьев, А.Р. Бахтеев // Вестник СГТУ. 2006. № 3 (14). Вып. 1. С. 136-142.

Шумарова Ольга Сергеевна –
аспирант кафедры «Автоматизация
и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Olga S. Shumarova –
Postgraduate
Department of Automation and Management
of Technological Processes
Gagarin Saratov State Technical University

Игнатьев Станислав Александрович –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Автоматизация и управление технологическими
процессами» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Stanislav A. Ignatyev –
Dr. Sc., Professor
Department of Automation and Management
of Technological Processes
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.11.12, принята к опубликованию 20.02.13

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.316

В.В. Муллин, И.И. Сиберт

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР ПОЛЮСА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Проанализировано состояние поверхностного слоя контактов двух последовательно включенных вакуумных дугогасительных камер после ресурсных испытаний. Проведено сравнение их состояния с состоянием поверхностного слоя контактов камеры другого типа, также прошедшей ресурсные испытания. Выявлен одинаковый характер оплавления рабочих поверхностей контактов камер вне зависимости от геометрии контактов, значений коммутируемого тока и числа циклов коммутации.

Вакуумная дугогасительная камера, контакт, коммутационный ресурс, оплавление

V.V. Mullin, I.I. Sybert

LIFE TEST RESULTS FOR VACUUM INTERRUPTERS OPERATING IN HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKER POLE

Two vacuum interrupters in the series have been subjected to testing, and the surface of their contacts has been thoroughly examined. The obtained results are related to the vacuum interrupter of another type tested earlier. It has been established that the character of the work surface melting is not affected by the contact geometry, or load current or the number of switching operations.

Vacuum interrupter, contact, switching life, melting

В вакуумных дугогасительных камерах (ВДК) за счет механического замыкания и размыкания контактов в вакуумной среде осуществляется коммутация электрических цепей. Ресурс ВДК ограничивается потерей ее отключающей способности, при которой исключается повторный пробой вакуумного промежутка между расходящимися контактами при переходе тока через нуль. На эффективность отключения влияют процессы в вакуумной дуге, физическое состояние материала контактов в процессе отключения и величина напряжения цепи.

При увеличении напряжения коммутируемой цепи требуется увеличение зазора между контактами. Однако с увеличением зазора возникают затруднения с сохранением параметров дуги и состояния контактов, исключаящего повторный пробой вакуумного промежутка. Поэтому при напряжениях свыше 100 кВ вместо одной ВДК с габаритами и зазором между контактами, рассчитанными на полное напряжение, в выключателе применяются конструкции полюса с соединенными последовательно несколькими ВДК с габаритами и межконтактными промежутками, рассчитанными на меньшее напряжение.

В таком полюсе ВДК соединяются шиной. Из-за образования емкости «шина-земля» эти ВДК будут работать в разных режимах, а следовательно, их контакты будут находиться в различных условиях. Очевидно, чем больше величина емкости «шина-земля» тем это различие будет больше. Существует два варианта построения полюса выключателя: с вертикальным и горизонтальным расположением ВДК. Известно, что при вертикальном расположении ВДК величина емкости «шина-земля» больше, чем при горизонтальном расположении. Однако при вертикальном расположении ВДК

упрощается конструкция полюса. Именно с таким расположением ВДК в качестве примера приведена конструкция полюса в монографии [1].

Ниже представлены результаты анализа состояния контактов ВДК типа КДВА-60-31,5/2000 в составе полюса выключателя на 110 кВ после ресурсных испытаний при токе короткого замыкания, равном 31,5 кА. В полюсе две камеры включены последовательно и расположены вертикально. Также проведено сравнение состояния контактов этих ВДК с состоянием контактов ВДК типа КДВА5-10-20/1600 после ресурсных испытаний при токе короткого замыкания, равном 20 кА [2]. Конструктивные данные этих ВДК приведены в табл. 1. Как видно, в ВДК КДВА5-10-20/1600 удельная токовая нагрузка контактов меньше. В ВДК КДВА-60-31,5/2000 контакты плоские, в ВДК КДВА5-10-20/1600 один контакт имеет выпуклую поверхность, а другой – вогнутую. В обеих камерах контакты выполнены из материала ХД-70, а в межконтактном промежутке при прохождении тока создается аксиальное магнитное поле.

Таблица 1

Конструктивные данные ВДК

Тип ВДК	Диаметр контактов, мм	Расстояние между контактами, мм
КДВА-60-31,5/2000	90	25-30
КДВА5-10-20/1600	45	6-8

При испытаниях* ВДК КДВА-60-31,5/2000 в составе полюса сначала выполнялось 15 операций «отключение», а затем 15 операций «включение-отключение». После испытаний износ контактов обеих камер одинаков и составляет 0,8-0,9 мм.

Анализ поверхности контактов обеих ВДК после коммутационных испытаний, а также структуры их поверхностного слоя не выявил существенных отличий. На рис. 1 приведена фотография рабочей поверхности одного из контактов. Как видно, рабочая поверхность контакта оплавлена, а на боковой поверхности имеются наплавления его материала. Последнее объясняется выдавливанием материала контактов, расплавляемого под действием дуги, которая загорается при их замыкании. Тем более, что замыкание происходит при дополнительном поджатии, равном 3000 Н. Выдавливанием расплавленного материала можно объяснить также износ контактов при испытании полюса.

На рис. 2 приведена фотография шлифа поверхностного слоя контакта ВДК после ресурсных испытаний. Видно, что результатом оплавления является образование вторичного слоя с измененной структурой. Как показал металлографический анализ, распределение глубины оплавления следующие:

- в средней части (около половины диаметра) она находится в пределах от 40-60 до 240-270 мкм;
- на остальной поверхности плоской части контакта – в пределах от 40-60 до 240-270 мкм;
- на участке перехода с плоской части поверхности контакта на боковую – до 90-180 мкм.



Рис. 1. Фотография рабочей поверхности контакта ВДК после ресурсных испытаний



Рис. 2. Фотография шлифа поверхностного слоя контакта ВДК после ресурсных испытаний

Полученные результаты анализа показывают, что внешний вид оплавления, структура оплавленного слоя и глубина оплавления во многом идентичны с данными, полученными с ВДК КДВА5-10-20/1600 [2], несмотря на существенные различия в геометрии, значениях испытательных токов и напряжений, а также количестве циклов коммутаций. При проведении ресурсных испытаний ВДК КДВА5-10-20/1600 выполнено 170 циклов коммутации, в том числе 54 операций «включение-отключение». Эта идентичность позволяет сделать следующие выводы. Неоднородность глубины

* Испытания проводились в НИЦ ВВА (г. Москва).

оплавления, особенно заметная в местах перехода с плоской части поверхности контакта на боковую, обусловлена нарушением соосности и параллельности контактов. Наибольшие глубина оплавления и величины выбросов оплавленного материала на боковую поверхность соответствуют местам с наименьшим зазором. По мере износа контактов происходит более плотное их соприкосновение и более равномерное воздействие дуги. На сферических контактах КДВА5-10-20/1600 неравномерность оплавления определялась еще геометрией контактов, что приводит к преобладанию износа на краях контакта и выражается в изменении кривизны сферы.

1. Сопоставимая величина максимальной глубины оплавления рабочих поверхностей обеих камер свидетельствует об идентичности структуры дуги и удельных тепловых нагрузках этих поверхностей. Глубина оплавления при одной и той же плотности тока определяется физическими свойствами материала контакта и структуры сформировавшегося под воздействием дуги вторичного переходного слоя. В ходе испытаний происходят одновременно процессы формирования вторичного слоя на границе с основным материалом контакта и его испарения с поверхности контакта. Во вторичном слое в связи с преимущественным испарением меди изменяется соотношение хром-медь, и структура хрома становится мелкозернистой.

2. Слоистая структура наплывов на боковых поверхностях обеих камер свидетельствует о том, что вытеснение расплавленного материала из рабочей зоны происходит в места с меньшим тепловым воздействием дуги. Большие наплывы на боковой поверхности контактов со сферической формой обусловлены различием циклов коммутации и более интенсивным износом краев контактов такой формы.

Однако сравнение состояния поверхностного слоя контактов ВДК, прошедших ресурсные испытания, выявило одно существенное отличие. Вдоль вторичного слоя контактов ВДК типа КДВ5А-10-20/1600 имелись трещины, поры и раковины. Таких нарушений во вторичном слое контактов ВДК типа КДВ А-60-31,5/2000 не обнаружено. По всей видимости, это объясняется тем, что число циклов коммутации при испытании ВДК типа КДВ А-60-31,5/2000 было меньше, чем при испытании ВДК типа КДВ5А-10-20/1600.

Таким образом, анализ состояния рабочих поверхностей контактов ВДК после ресурсных испытаний позволяет заключить, что в процессе работы ВДК в составе выключателя происходит оплавление этих поверхностей. Причем такое состояние рабочих поверхностей контактов ВДК не зависит от их геометрии, значений коммутируемых токов и количества циклов коммутации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Slade P. G. The Vacuum Interrupter. Theory, Design und Application / P.G. Slade. CPC Press. 2008. 510 p.

2. Муллин В.В. Результаты ресурсных испытаний вакуумных дугогасительных камер со сферическими контактами / В.В. Муллин, А.А. Смирнов, И.И. Сиберт. Электротехника. 2007. № 7. С. 30-33.

Муллин Виктор Валентинович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электронное машиностроение
и сварка» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Victor V Mullin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Electronic Engineering
and Welding,
Gagarin Saratov State Technical University

Сиберт Иван Игнатьевич –
ведущий инженер ОАО «НПП «Контакт»,
г. Саратов

Ivan I. Sibert –
Project Engineer,
JSC «NPP Kontakt», Saratov

Статья поступила в редакцию 14.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.039.58:621.311.238

А.С. Наумов, З.Ю. Новикова, В.А. Хрусталева

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПГУ НА БАЗЕ ГТУ И АЭС С ВВЭР

В статье рассматривается вопрос эффективности комбинирования атомных электростанций и газотурбинных установок. Получены результаты

расчета эффективности работы парогазовой установки. Рассчитаны поверхности нагрева газопарового пароперегревателя и газовой теплообменника.

Комбинирование, газовая турбина, атомная электрическая станция, парогазовая установка, мощность, базовая нагрузка, гидроаккумулирующая электростанция, уходящие газы, дожигающее устройство, газопаровой пароперегреватель, газовой теплообменник

A.S. Naumov, Z.Yu. Novikova, V.A. Khrustalev

IMPROVING THE EFFICIENCY OF COMBINED CYCLE POWER PLANTS BASED ON GAS TURBINES AND NUCLEAR POWER PLANTS WITH PWR

The article discusses the effectiveness of combining nuclear power plants and gas turbines. The efficiency of the combined cycle plant has been estimated. The heating surfaces of the gas-vapor superheater and gas-water heat exchanger have been calculated.

Combination, the gas turbine, nuclear power plant, combined cycle gas turbine, power, base load, pumped storage power plant, flue gases, the reburning chamber, gas-vapor superheater, gas-water heat exchanger

Утверждённой правительством РФ «Стратегией развития атомной энергетики» предусматривается довести мощность АЭС до 50 тыс. МВт. В этом случае удельный вес АЭС в общей структуре генерирующих мощностей может достигнуть в среднем уровня 25 %. Однако, уже в настоящее время в Объединённой энергетической системе (ОЭС) Средней Волги доля АЭС составляет более 20 %.

Основной проблемой АЭС, кроме повышенной капитальной составляющей, является их низкая маневренность. АЭС обладают ограниченными возможностями изменения мощности энергоблоков, особенно, в оперативном режиме. Работа АЭС в маневренных режимах сопряжена не только с рядом технологических ограничений (например, по топливу), но и с заметными экономическими потерями в этих режимах из-за снижения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ).

В странах с большой долей АЭС для обеспечения базовой нагрузки сооружают специальные маневренные мощности (гидроаккумулирующие электростанции, ГТУ и др.). К примеру, во Франции доля гидроаккумулирующих электростанций составляет 10 % от установленной мощности АЭС, а в Японии доходит до 30 %. В России построена только одна Загорская гидроаккумулирующая электростанция (1-ая очередь), а строительство новых сопряжено с проблемой выбора площадок и высокими затратами в сооружение. В условиях оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ), диктующего новые требования ко всем объектам, включая АЭС, обеспечение их участия в регулировании графиков нагрузки становится в этой связи неизбежным.

За последние 20 лет большая часть оборудования ТЭС либо уже выработала, либо имеет низкий остаточный проектный ресурс. Более того, начиная с 90-х годов темпы старения традиционного энергетического оборудования ТЭС и ГЭС опережали темпы их обновления. В этот период ввод маневренных энергоустановок был явно недостаточным. В результате из-за образовавшегося дефицита маневренных мощностей в Единой энергетической системе (ЕЭС) России обострилась проблема покрытия переменной зоны графика электрической нагрузки в ряде ОЭС. С 2007 г. Системный оператор – Центральное Диспетчерское Управление (СО ЦДУ) – вынужден применять по отношению к АЭС диспетчерские ограничения по выдаче мощности в ОЭС, а в перспективе ещё больше их ужесточать.

В таких условиях актуальна задача повышения маневренности и надежности как уже работающих, так и проектируемых энергоблоков АЭС с ВВЭР. С этой точки зрения комбинирование схем АЭС и ГТУ является перспективным, поскольку это позволяет расширить регулировочный диапазон таких комплексов [1-9].

В настоящее время известны различные установки, основанные на вытеснении теплотой отработавшего рабочего тела газотурбинной установки (ГТУ) различных потоков теплоносителя в схеме турбоустановки АЭС. Например, схемы, предложенные в Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А. и в Московском энергетическом институте [1-6]. В вышедшей в 1990 г. монографии [1] (раздел 8.1 «Комбинирование схем АЭС и пиковых ГТУ») отмечалось, что:

– в ПГУ с энергоблоками АЭС с ВВЭР увеличение мощности влажнопаровых турбин возможно за счет вытеснения термодинамически невыгодного паропарового перегрева;

– расширение регулировочного диапазона для ПГУ «ГТУ+АЭС» увеличением верхнего «предела» мощности турбоустановки более эффективно для АЭС, чем в традиционных ПГУ «ГТУ+ТЭС».

Недостатком известных ранее схем комбинированных установок в сравнении с предлагаемой далее, является то, что обеспечиваемая ими дополнительная мощность и эффективность существенно ниже.

В Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А. в 2011 г. предложена парогазовая установка, позволяющая не только вытеснять паропаровой перегрев и получать дополнительную мощность во влажнопаровой турбине, но и повышать КПД цикла АЭС+ГТУ за счет увеличения температуры пара перед цилиндрами высокого и низкого давления [7].

В качестве основного оборудования для рассматриваемой в данной статье парогазовой установки предполагается использование блока АЭС с влажнопаровой турбиной К-1000/60-1500 и газовой турбиной IV поколения ГТЭ-180 мощностью 180 МВт, заводские характеристики которой были взяты из [10].

При работе парогазовой установки [7] на данном оборудовании и при использовании двух газопаровых пароперегревателей (ГПП) и газоводяного теплообменника (ГВТ) можно, наряду с вытеснением паропарового перегрева и верхнего подогревателя высокого давления, обеспечить перегрев свежего пара перед ЦВД до 310 °С и вытеснение паропарового перегрева с повышением температуры пара перед ЦНД до 320 °С (табл. 1). Для обеспечения теплового баланса в ГПП, используемом для перегрева пара перед ЦНД в замещение паропарового перегревателя (ПП), необходимо дополнительное сжигание топлива в дожигающем устройстве (ДУ) [10] для повышения температуры газа на входе.

$$V_{\text{доп}} = G_{\Gamma} \cdot (h_{\Gamma}^{\text{ДУ}} - h_{\Gamma}) / (Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \eta_{\text{ДУ}} + h_{\text{T}} - h_{\Gamma}^{\text{ДУ}}), \quad (1)$$

h_{Γ} , $h_{\Gamma}^{\text{ДУ}}$ – энтальпия газа на входе и выходе из дожигающего устройства, кДж/кг; h_{T} – энтальпия дополнительного топлива, подаваемого в дожигающее устройство, кДж/кг; Q_{H}^{P} – низшая рабочая теплота сгорания топлива, кДж/кг; $\eta_{\text{ДУ}}$ – КПД дожигающего устройства.

Результаты расчетов параметров ПГУ (табл. 1) для круглогодичной эксплуатации с температурой наружного воздуха +15°С, рассчитаны по следующему предложенному алгоритму:

1. Эффективный КПД парогазовой установки

$$\eta_{\text{пгу}} = \frac{l_2 + d_n \cdot (l_n + \Delta l_{\text{CN}} + \Delta l_{\text{nn}} + \Delta l_{\text{нвд}})}{q_2 + q_{\text{ДУ}} + d_n \cdot q_n} \quad (2)$$

Здесь l_2 – работа ГТУ, кДж/кг; $d_n = D_n / G_2$ – отношение расходов рабочих тел в паровой и газовой турбинах с учетом дополнительного подогрева в ДУ; l_n – работа ПТУ на номинальном режиме, кДж/кг; Δl_{CN} – прирост работы ПТУ при перегреве свежего пара, кДж/кг; Δl_{nn} – прирост работы ПТУ при вытеснении ступеней ПП и перегреве пара перед ЦНД, кДж/кг; $\Delta l_{\text{нвд}}$ – прирост работы ПТУ при вытеснении ПВД, кДж/кг; q_2 – подводимая теплота ГТ, кДж/кг; $q_{\text{ДУ}}$ – подводимая теплота в ДУ, кДж/кг; q_n – подводимая теплота к паровой турбине, кДж/кг.

2. Электрическая мощность ПГУ

$$N_9^{\text{пгу}} = N_9^{\text{аэс}} + N_9^{\text{гту}} \quad (3)$$

Здесь $N_9^{\text{аэс}}$ – электрическая мощность АЭС с учетом дополнительной мощности, МВт; $N_9^{\text{гту}}$ – электрическая мощность ГТУ, МВт.

3. Необходимая поверхность нагрева ГПП (ГВТ)

$$F = Q_{2\text{nn}} / k \cdot \Delta t \quad (4)$$

Здесь $k = 1 / \left(\left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} \right) \frac{F_{\text{PC}}}{F_c} + \frac{1}{\alpha'_{1\text{nn}}} \right)$ – коэффициент теплопередачи, Вт/м²К;

$\alpha'_{1\text{nn}}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи с газовой стороны, Вт/м²К; α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к пару, Вт/м²К; δ_c – толщина стенки трубы, м; λ_c – коэффициент теплопроводности металла ребер, Вт/м К; F_{PC} – полная внешняя ребристая поверхность 1 м длины трубы, м²/м; F_c – удельная внутренняя поверхность 1 м длины трубы, м²/м; $\Delta t = (\Delta t_{\text{Г}} - \Delta t_{\text{М}}) / \ln \frac{\Delta t_{\text{Г}}}{\Delta t_{\text{М}}}$ – температурный напор в пароперегревателе, °С; $\Delta t_{\text{Г}} = \theta' - \theta''$ – наибольшая разность температур сред на горячем

участке теплообмена, °C; $\Delta t_M = \vartheta'' - t'$ – наименьшая разность температур сред на холодном участке теплообмена, °C.

$$Q_{2nn} = G_2 C_p^2 (\vartheta'' - \vartheta') \eta_{2nn} - \text{теплота, переданная пару (воде) в ГПП (ГВТ)}$$

G_2 – расход газов через ГПП (ГВТ), кг/с; ϑ' , ϑ'' – температура газов на входе и выходе пароперегревателя (теплообменника), °C; C_p^2 – изобарная теплоемкость газов в пароперегревателе (теплообменнике), кДж/(кг·°C); η_{2nn} – КПД ГПП (ГВТ).

4. Необходимый тепловой баланс для ГПП и ГВТ:

$$Q_{n(\vartheta)} = D_{n(\vartheta)}(h'' - h') = Q_2 = G_2 C_p^2 (\vartheta'' - \vartheta') \eta_{2nn(\vartheta)} = F \cdot k \cdot \Delta t \quad (5)$$

Здесь, $Q_{n(\vartheta)}$ – теплота, необходимая для повышения температуры пара (воды), кДж; $D_{n(\vartheta)}$ – расход пара (воды), кг/с; h' , h'' – энтальпия пара (воды) до и после перегрева (подогрева), кДж/кг.

В зависимости от величины перегрева свежего пара и пара перед ЦНД возможно повышение мощности АЭС на 120 – 324 МВт при постоянной тепловой мощности РУ. Суммарная мощность всей ПГУ составит 1301,5 – 1504,9 МВт с КПД 36 – 40,8 % (табл. 1, рис. 1, 2) (при базовых значениях КПД, для отдельно работающих ГТУ – без утилизации – 35% и ПТУ АЭС – 34%).

Как видно из табл. 1, в каждом из вариантов эксплуатации энергокомплекса для обеспечения более высоких значений КПД и мощности ПГУ соответствуют наибольшие общая поверхность нагрева $F_{\text{общ}}$ и дополнительный расход топлива, сжигаемого в ДУ – $V_{\text{доп}}$.

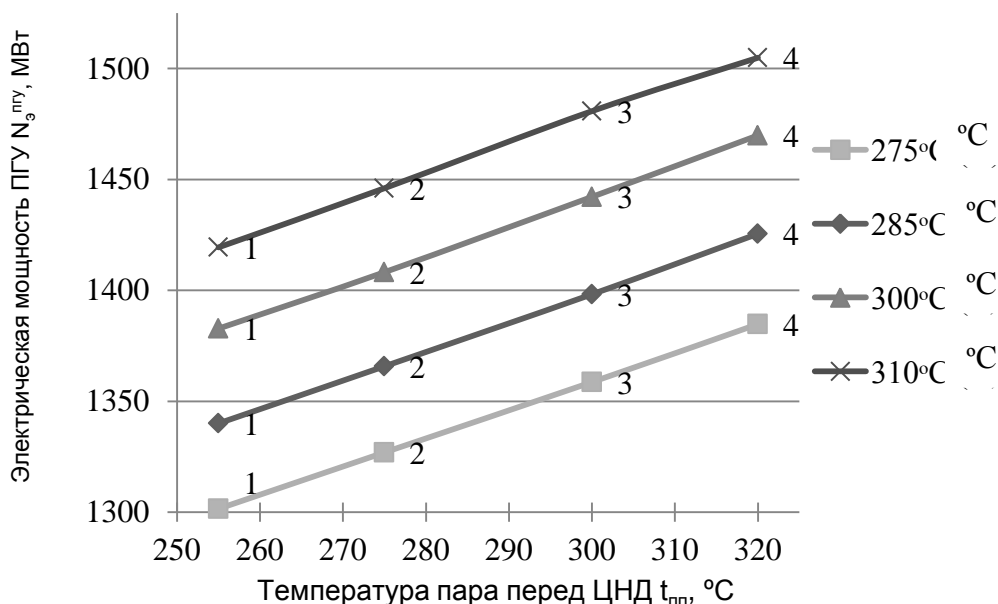


Рис. 1. Изменение электрической мощности ПГУ $N_э^{пгу}$ в зависимости: от перегрева свежего пара, вытеснения 2 ступеней промперегрева, дополнительного перегрева пара перед ЦНД и замещения верхнего ПВД. Обозначение точек соответствует принятым в табл. 1

Использование АЭС и ГТУ по комбинированной схеме позволяет обеспечить:

- повышение КПД АЭС и ПГУ при глубокой утилизации уходящих газов ГТУ за счет выработки дополнительной мощности замещаемыми греющими отборными потоками пара и путем увеличения температуры пара перед цилиндрами высокого и низкого давления;
- высокий КИУМ по тепловой мощности реакторной установки (РУ), повышение КИУМ ПТУ и, как следствие, ПГУ в целом по электрической мощности при сопутствующем расширении регулировочного диапазона всей ПГУ;
- возможность участия в первичном и противоаварийном регулировании частоты в энергосистемах, имеющих значительную долю низкоманевренного оборудования.

Для проведения дальнейших схемно-параметрических и оптимизационных расчетов ПГУ на базе АЭС и ГТУ необходим анализ t-q диаграмм, пример которых для варианта эксплуатации С3 представлен на рис. 3.

Таблица 1

Параметры ПГУ в зависимости от температуры пара в узловых точках

Параметры ПГУ	Ном. режим	Перегрев свежего пара с вытеснением 2 ступеней ПП и дополнительным перегревом пара перед ЦНД и замещением верхнего ПВД															
		275				285				300				310			
Температура свежего пара t_0 , °C	275	A				B				C				D			
Температура пара перед ЦНД $t_{пп}$, °C		255	255	275	300	320	255	275	300	320	255	275	300	320	255	275	300
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Мощность ПГУ $N_{э\text{пгу}}$, МВт	1180,5	1301,5	1326,9	1358,6	1384,8	1340,0	1365,8	1398,2	1425,5	1382,8	1408,2	1442,2	1469,9	1419,4	1446,1	1480,8	1504,9
КПД ПГУ с ГТУ, работающей 24 ч $\eta_{\text{пгу}(24)}$	0,3438	0,3604	0,3646	0,3698	0,3740	0,3709	0,3751	0,3804	0,3848	0,3826	0,3866	0,3922	0,3969	0,3927	0,3969	0,4026	0,4076
КПД ПГУ с ГТУ, работающей 19 ч $\eta_{\text{пгу}(19/5)}$	0,3435	0,3566	0,3600	0,3641	0,3674	0,3650	0,3683	0,3725	0,3760	0,3742	0,3774	0,3818	0,3853	0,3822	0,3855	0,3900	0,3937
Доп. расход топлива в ДУ $V_{\text{доп}}$, кг/с	-	0,757	2,171	3,913	5,353	2,823	4,246	6,005	7,466	5,392	6,820	8,585	9,887	6,454	7,883	9,650	10,954
Суммарная поверхность ГПП и ГВТ $F_{\text{общ}}$, м ²	-	45717	48970	52209	54847	52254	55447	59134	61570	59437	62560	65796	68646	66053	69166	72390	75228

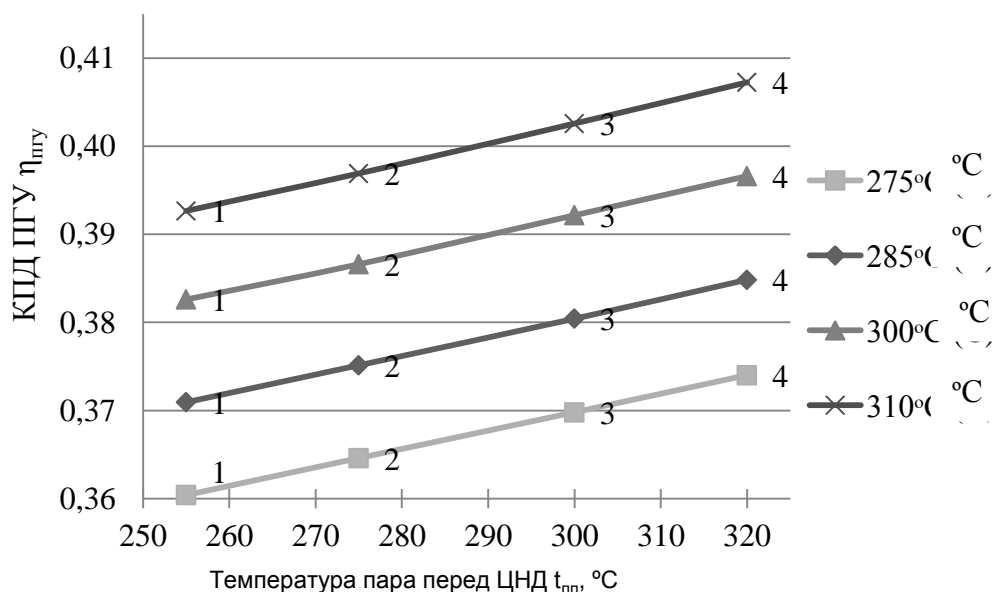


Рис. 2. Изменение КПД ПГУ $\eta_{пгу}$ в зависимости: от перегрева свежего пара, вытеснения 2 ступеней промперегрева, дополнительного перегрева пара перед ЦНД и замещения верхнего ПВД. Обозначение точек соответствует принятым в табл. 1

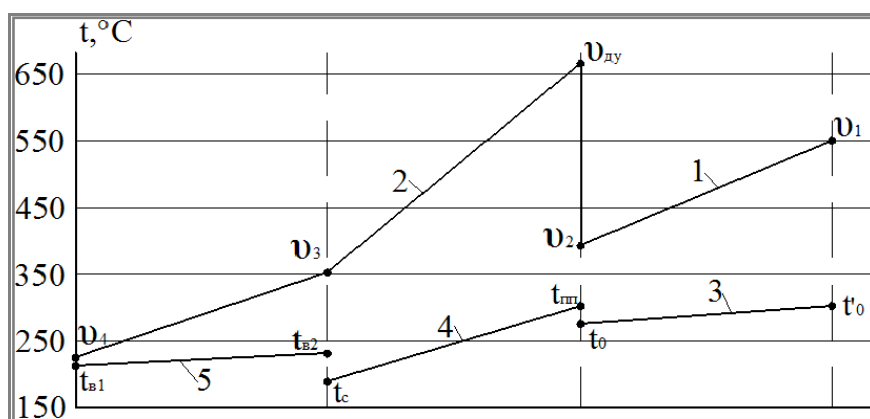


Рис. 3. t - q диаграмма для варианта эксплуатации парогазовой установки с перегревом пара до $t'_0 = 300$ °C и $t_{пп} = 300$ °C: 1 – уходящие газы ГТУ; 2 – газы нагретые в ДУ; 3 – свежий пар; 4 – пар ПП; 5 – питательная вода

В дальнейшем следует проанализировать эффективность работы ПГУ в маневренных режимах для рассмотренных выше вариантов работы в различном их сочетании в разрезе года, наиболее полно отвечающим требованиям со стороны различных энергосистем. Общим критерием оценки будет среднегодовой КПД ПГУ, находимый по формуле (1).

Предложена новая схема комбинирования АЭС с ВВЭР и ГТУ, позволяющая за счет утилизации теплоты ГТУ и обеспечиваемых при этом перегреве свежего пара, вытеснении 2 ступеней промперегрева, дополнительного перегрева пара перед ЦНД и замещении верхнего ПВД повысить КПД на 2-7% и мощность ПГУ на 120-320 МВт.

Энергокомплекс «ГТУ+АЭС» представляется перспективным направлением парогазовой энергетики, которое требует дальнейших разработок и исследований.

В настоящей статье рассмотрен вариант работы ПГУ в условиях круглогодичной эксплуатации при температуре наружного воздуха +15 °C. Рост мощности ГТУ при снижении температуры необходимо полезно использовать в периоды осенне-зимнего пика нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. АЭС с ВВЭР: режимы, характеристики, эффективность: учеб. пособие / Р.З. Аминов, В.А. Хрусталеv, А.С. Духовенский, А.И. Осадчий. М.: Энергоатомиздат, 1990. 264 с.

2. А. с. 941641 (СССР) Парогазовая установка / В.Я. Рыжкин, С.В. Цанев, И.М. Чухин. Оpubл. В Б. И., 1982. №25.
3. А. с. 1060798 (СССР) Парогазовая установка / В.А. Хрусталеv, О.И. Демидов, М.С. Доронин и др. Оpubл. В Б. И., 1983. №46.
4. Сурков В.В. Комбинированная установка АЭС – ГТУ // Теплоэнергетика, 1981. № 10. С. 57-58.
5. Хрусталеv В.А. Об одном способе форсировки паротурбинных блоков АЭС / В.А. Хрусталеv, С.М. Петин // Известия вузов. Энергетика. 1981. №7. С. 106-108.
6. Нуждин В.Н. Союз атома и газа / В.Н. Нуждин, А.А. Просвирнов // Материалы инновационного форума Росатома. М.: Центр «Атом-Инновация», 2007. С. 28-33.
7. Парогазовая установка с дожигающим устройством: заявка 2011109940 Рос. Федерация; заявл. 17.03.2011.
8. Хрусталеv В.А. Вопросы комбинирования схем ГТУ и АЭС // В.А. Хрусталеv, А.С. Наумов / Вестник СГТУ. № 1. 2011. С. 142-149.
9. Новикова З.Ю. Вопросы повышения маневренности на основе комбинирования схем АЭС и ГТУ / З.Ю. Новикова, А.С. Наумов, В.А. Хрусталеv // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. Общенаучные вопросы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2011, Вып. 6. С. 162-171.
10. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / под ред. С.В. Цанева. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 584 с.
11. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
12. http://rosenergoatom.info/index.php?option=com_content&view=article&id=138%3A2010-03-07-12-35-43&Itemid=60.

Наумов Алексей Сергеевич – аспирант кафедры «Тепловые электрические станции» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey S. Naumov – Postgraduate
Department of Thermal Power Stations,
Gagarin Saratov State Technical University

Новикова Зоя Юрьевна – аспирант кафедры «Тепловые электрические станции» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Zoya Yu. Novikova – Postgraduate
Department of Thermal Power Stations,
Gagarin Saratov State Technical University

Хрусталеv Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые электрические станции» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir A. Khrustalev – Dr. Sc., Professor
Department of Thermal Power Stations,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 16.09.13, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 574.46

Н.А. Озеров, Б.А. Семёнов

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ В СИСТЕМЕ ОБДУВА ВАРОЧНОГО БАССЕЙНА СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Предложены пути снижения энергетических и материальных затрат в системе обдува ограждающих конструкций варочного бассейна стекловаренных печей, обоснованные с использованием методологии технико-экономической оптимизации и результатов вычислительного эксперимента, выполненного по разработанной ранее двухфакторной математической модели скорости высокотемпературной коррозии бадделито-корундовых огнеупорных материалов.

Ванная стекловаренная печь, огнеупорные материалы, бакор, высокотемпературная коррозия, срок эксплуатации, оптимизация

N.A. Ozerov, B.A. Semyonov

OPTIMIZATION POWER AND MATERIAL INPUTS IN COOLING-SYSTEM OF MELTER ZONE GLASS FURNACES

Ways of decrease power and material inputs in cooling-system protecting designs of melted part glass furnaces, proved with use of methodology of technical and economic optimization and results of the computing experiment executed on speed developed before two-factorial mathematical model of high-temperature corrosion of fire-resistant materials are offered.

Bathing glass furnace, fire-resistant materials, bakor, high-temperature corrosion, operation term, optimization

В современных условиях международного разделения труда, одной из отраслей специализации России является национальная стекольная промышленность. Стекло российского производства занимает значительную долю мирового рынка. По данным СтеклоСоюза, объем рынка листового стекла в России по итогам 2007 года составил порядка 175 млн. м². Основной же рост физических объемов производства высококачественного флоат-стекла в России пришелся на 2009-2010 гг. Так, объемы производства к 2010 году составили примерно 300 млн. м² флоат-стекла в год. Однако доля экспортных поставок в настоящее время не превышает 7-10% от общего объема листового стекла, производимого в России [1]. Вместе с тем сегодня в нашей стране наметилась явная тенденция наращивания новых мощностей с участием крупных западных компаний, в результате чего, по прогнозам СтеклоСоюза, стекольная отрасль должна существенно увеличить объем экспорта листового стекла в самое ближайшее время.

Повышенный интерес к размещению стекольных производств на территории Российской Федерации у западных компаний вызван сохраняющимися низкими ставками цен на энергоносители и близостью к сырьевой базе, обеспечивающей снижение затрат на транспортировку сырья, поскольку значительную часть сырья для производства как листового, так и стекол другого назначения, европейские заводы продолжают приобретать в России. Для сравнения в таблице 1 приведены цены на сырье и энергоносители в России и Западной Европе, подтверждающие экономическую целесообразность наращивания объемов стекольного производства в нашей стране.

Таблица 1

Расходы и цены на сырье и энергоносители по данным [1]

Виды потребляемых энергоносителей, сырья и материалов	Расход энергоносителей, сырья и материалов на 1 т стекла	Стоимость, долл. США	
		Россия	Западная Европа
Газ (куб. м)	205	11	51,3–55,4
Электроэнергия (кВт/ч)	588	11,8	29–35,4
Кварцевый песок (кг)	700	14–28	18–21
Кальцинированная сода (кг)	210	53–63	46–56
Доломит (кг)	170	0,5–1,2	0,3–1,2
Полевой шпат (кг)	60	13–14	23–25
Сульфат натрия (кг)	20	2,5	1,8–2,8
Олово (кг)	0,1	8	8
Итого:		114–140	177–205

Для сохранения позиций на мировом рынке листового стекла, отечественным производителям необходимо улучшать качество продукции, сокращать энергозатраты и издержки, наращивать производительность и увеличивать срок службы технологических линий стекольных заводов. Однако главным фактором, существенно ограничивающим общий эксплуатационный ресурс технологических линий стекольного производства, является высокотемпературная коррозия огнеупорных материалов, интенсивно разрушающая стены варочного бассейна стекловаренных печей в процессе эксплуатации.

В настоящей работе представлены результаты многовариантных расчетов, выполненных с использованием ранее разработанных нами двухфакторных математических моделей процесса высокотемпературной коррозии бадделеито-корундовых огнеупоров [2, 3], необходимые для обоснования путей продления эксплуатационного ресурса стекловаренных печей. На рис. 1 для примера представ-

лены графики зависимостей прогнозного срока службы огнеупорных материалов марки БК-33 в стенах варочного бассейна в зависимости от скорости обдува и толщины обкладочных плиток.

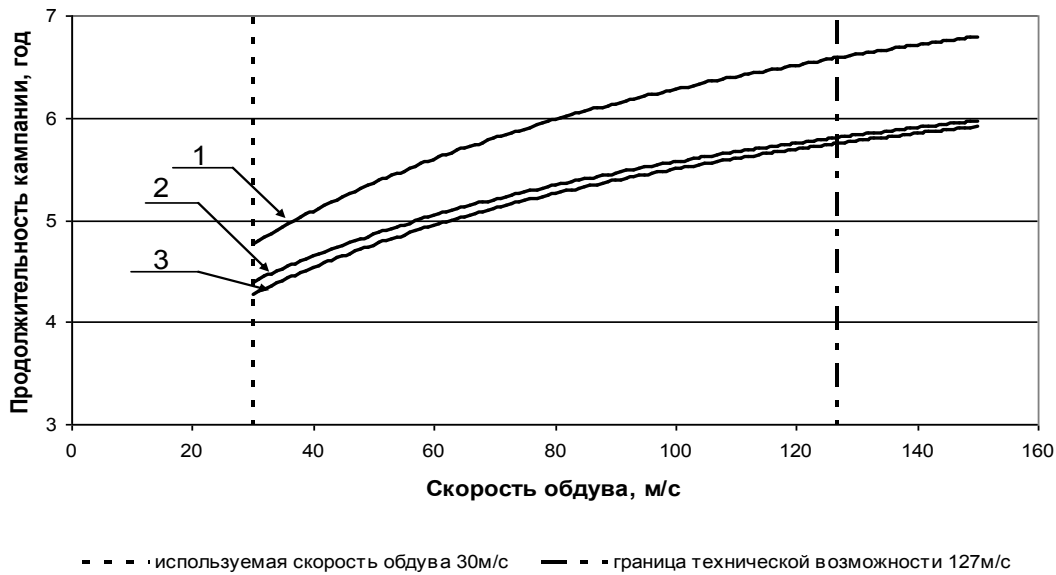


Рис. 1. Прогнозная продолжительность кампании варочного бассейна стекловаренной печи при использовании огнеупоров марки БК-33:
1 – обкладка плиткой 75 мм; 2 – обкладка плиткой 100 мм; 3 – обкладка плиткой 120 мм

Три восходящие кривые, показанные на этом графике, характеризуют расчетную продолжительность эксплуатации в зависимости от скорости наружного обдува и толщины бадделеитокорундовой огнеупорной плитки, дополнительно устанавливаемой в процессе эксплуатации печей для наращивания толщины корродирующих огнеупорных стен варочного бассейна после достижения ими критического остаточного значения (30 мм). Стандартно производятся плитки толщиной 75 мм и 100 мм, но на ОАО «Саратовстройтекло» традиционно использовались и плитки толщиной 120 мм, изготавливаемые на заказ.

На рис. 2 показана динамика процесса коррозии огнеупора в процессе эксплуатации варочного бассейна, выложенного из БК-33, с использованием для наращивания дополнительных огнеупорных плиток той же марки, но разной толщины, при применяемой на предприятиях данной отрасли скорости обдува 30 м/с.

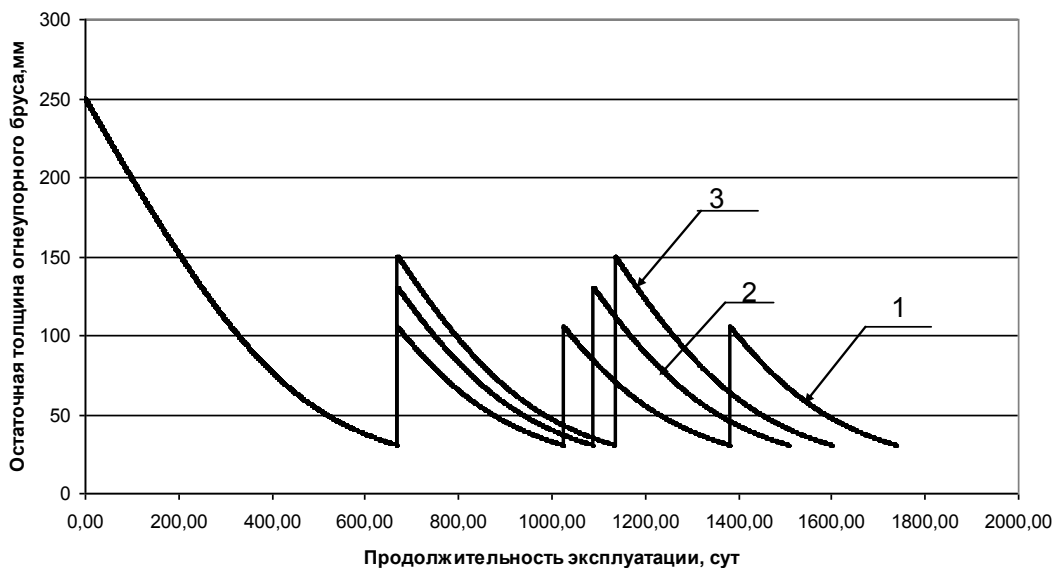


Рис. 2. Динамика процесса коррозии огнеупора марки БК-33 при скорости обдува 30 м/с:
1 – обкладка плиткой 75 мм; 2 – обкладка плиткой 100 мм; 3 – обкладка плиткой 120 мм

Анализируя графики на рис. 1 и 2, можно сделать вывод, что использование более толстых плиток не приносит желаемого результата. Как видно из рис. 2, увеличение срока эксплуатации стекловаренных печей может быть достигнуто при многократном последовательном наращивании корродирующих стен дополнительными бакоровыми плитками наименьшей стандартной толщины 75 мм. Последнее подтверждает тот факт, что эффективность воздействия системы наружного обдува на интенсивность коррозионных процессов значительно возрастает по мере уменьшения остаточной толщины огнеупорного материала.

Вместе с тем на большинстве стекловаренных заводов наружный обдув начинают с первого дня эксплуатации ванной печи, что влечет за собой увеличенное потребление электроэнергии. Суточная норма потребления электроэнергии системой обдува стекловаренной печи производительностью 700 т в сутки, при использовании скорости обдувающего воздуха 30 м/с составляет около 3000 кВт*ч. Расчеты показывают, что при увеличении скорости обдува эта цифра может значительно возрастать. Так, при использовании обдува с максимальной (технически возможной) скоростью 127 м/с эксплуатационные издержки на оплату потребленной электроэнергии могут достигать 25% от прибыли, которая может быть получена предприятием от продления эксплуатационного ресурса стекловаренной печи за счет увеличения скорости обдува.

Зависимость эксплуатационных издержек на оплату электроэнергии, рассчитанных в долях от приращения прибыли, которая может быть получена предприятием при продлении эксплуатационного ресурса стекловаренной печи за счет обдува с увеличенной скоростью, представлена на рис. 3.

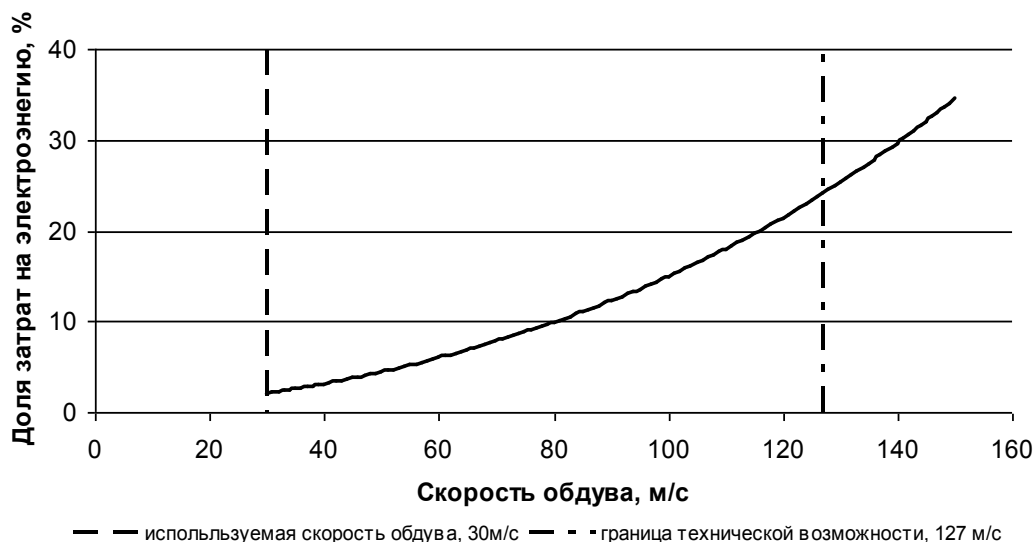


Рис. 3. Изменение доли эксплуатационных издержек на электроэнергию, потребляемую системой обдува, при увеличении скорости

Расчет кривой графика рис. 3 выполнен на основе тарифов 2012 года. Однако в связи прогнозируемым увеличением тарифных ставок на электроэнергию можно с высокой степенью вероятности предположить еще более значительное увеличение доли оплаты за электроэнергию, используемую в системах обдува ограждающих конструкций стекловаренных печей.

Для экономии средств некоторые производители листового стекла включают систему обдува при достижении остаточной толщины бруса в диапазоне от 180 до 100 мм. При первоначальном значении толщины в 250 мм. Такой подход приводит к сокращению финансовых затрат на производство листового стекла и энергосбережению. Однако в этом случае возрастает риск возникновения трещин и пороков в бадделеито-корундовых огнеупорах из-за внезапного стремительного нарастания внутренних термических напряжений в толще материала в момент включения системы обдува, причем отечественные огнеупорные материалы характеризуются повышенной склонностью к данному виду пороков, поскольку в отличие от аналогичных зарубежных огнеупоров в них присутствует большее количество механических дефектов и их стекловидная фаза более пористая. Исходя из всего вышеизложенного, наиболее рациональным представляется режим многоступенчатого увеличения скорости обдува с нарастанием мощности по мере снижения остаточной толщины огнеупора. При этом снижается вероятность механического разрушения огнеупорной кладки, увеличивается срок эксплуатации

и достигается экономия электроэнергии. Однако оборудование стекловаренных печей такими системами обдува потребует дополнительных затрат на высоконапорные вентиляторы, обеспечивающие возможность частотного регулирования.

Поэтому для предварительной оценки сравнительной эффективности наружного обдува с переменными скоростями в рамках настоящей работы было выполнено математическое моделирование нескольких эксплуатационных режимов с варьированием двух управляющих параметров: скорости обдува в зависимости от остаточной толщины огнеупорного материала и толщины бакоровых брусьев, дополнительно устанавливаемых в процессе эксплуатации. Данные о значениях управляющих параметров в каждом режиме представлены в табл. 2. Полученные результаты представлены в табл. 3. В качестве откликов в этой таблице даны прогнозные значения продолжительности кампании и затраты электроэнергии в системе обдува при каждом выбранном для сравнения режиме.

Таблица 2
Продолжительность использования скоростей системы обдува

Параметр	Интервал остаточных толщин огнеупорной кладки, мм				
	250-200	200-150	150-100	100-50	До конца эксплуатации
Вариант 1	250-200	200-150	150-100	100-50	До конца эксплуатации
Скорость обдува, м/с	30	45	60	75	90
Продолжительность, сут.	98,2	107	128,4	218	1675,4
Кампания печи, сут.	2227				
Вариант 2	Интервал остаточных толщин огнеупорной кладки, мм				
	250-200	200-150	150-100	100-50	До конца эксплуатации
Скорость обдува, м/с	30	50	70	90	110
Продолжительность, сут.	98,2	107,4	129,2	224	1765
Кампания печи, сут.	2323,8				
Вариант 3	Интервал остаточных толщин огнеупорной кладки, мм				
	250-200	200-150	150-100	100-50	До конца эксплуатации
Скорость обдува, м/с	30	60	90	120	127
Продолжительность, сут.	98,2	107,8	130,8	232,4	1898,2
Кампания печи, сут.	2467,4				
Вариант 4	Интервал остаточных толщин огнеупорной кладки, мм				
	250-150	150-100	100-50	До конца эксплуатации	
Скорость обдува, м/с	30	60	90	120	
Продолжительность, сут.	204,2	128,2	224	1803,2	
Кампания печи, сут.	2359,6				
Вариант 5	Интервал остаточных толщин огнеупорной кладки, мм				
	250-100	100-50		До конца эксплуатации	
Скорость обдува, м/с	30	60		90	
Продолжительность, сут.	327	210,4		1675,4	
Кампания печи, сут.	2213,2				

На основе анализа данных табл. 2 был сделан вывод о том, что скорость обдува огнеупорных конструкций варочного бассейна стекловаренных печей при толщинах бадделеито-корундового бруса в диапазоне 250-100 не является фактором, существенно влияющим на скорость высокотемпературной коррозии огнеупорного материала. Поэтому при остаточной толщине бруса, большей 100 мм, не целесообразно использовать высокую скорость обдува. Это позволит существенно сократить электропотребление. Использование же скоростей в высоком диапазоне значений уместно начинать в тот момент, когда остаточная толщина огнеупоров варочного бассейна стекловаренных печей становится меньшей 100 мм и начинает приближаться к критическому значению в 30 мм.

Попарное сопоставление расчетного электропотребления в системах обдува с переменной скоростью (согласно вариантам, представленным в табл. 2) и ответной постоянной скоростью, обеспечивающей такую же продолжительность кампании стекловаренной печи, дало возможность количественно оценить экономию электропотребления, как в процентном, так и в денежном выражении.

Расчетные данные об ответных постоянных скоростях обдува, обеспечивающих одинаковую продолжительность кампании в сравнении с каждым из предлагаемых вариантов переменного обдува, полученные методом итерационного подбора по математической модели [4], представлены в табл. 3.

Продолжительность кампании стекловаренной печи

№ пар альтернативных вариантов, i	Варианты эксплуатации системы обдува	Максимальная скорость, U_{\max} , м/с	Установленная мощность нагнетателей, $N_{\text{уст}}$, кВт	Продолжительность кампании печи, сут
1	Вариант переменного обдува №1	90	1110,1	2227
	Постоянный обдув со скоростью 88 м/с	88	1061,3	2227
2	Вариант переменного обдува №2	110	1658,3	2323,8
	Постоянный обдув со скоростью 107 м/с	107	1569,03	2322
3	Вариант переменного обдува №3	127	2210,4	2396,8
	Постоянный обдув со скоростью 125 м/с	125	2141,3	2395,8
4	Вариант переменного обдува №4	120	1973,5	2359,6
	Постоянный обдув со скоростью 115 м/с	115	1812,4	2356,8
5	Вариант переменного обдува №5	90	1110,1	2213,2
	Постоянный обдув со скоростью 85 м/с	85	990,2	2210,4

Как видно из табл. 3, все варианты, выбранные для попарного сравнения, приведены к сопоставимым условиям по продолжительности эксплуатационного ресурса. В то же время, обдув с меньшими скоростями на начальном этапе может обеспечивать существенную экономию электроэнергии за весь период эксплуатации.

Для получения представленных в табл. 3 количественных значений установленной мощности нагнетателей, требуемой для обеспечения заданных скоростей обдувающего воздуха по каждому варианту, использовалась зависимость [4], имеющая вид:

$$N_{\text{уст}} = k \cdot \frac{(1 + \xi_{\text{np}}) \cdot U^2 \cdot \rho \cdot L}{2 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{п}}} \quad (1)$$

где U – требуемая скорость обдува, м/с; ρ – плотность воздуха при заданной температуре, кг/м³; ξ_{np} – коэффициент местного сопротивления системы обдува, приведенный к скорости воздуха в соплах и рассчитываемый в каждом конкретном случае с учетом аэродинамических характеристик всех элементов воздухораспределительной сети; L – удельный расход воздуха на 1 погонный метр длины обдуваемой поверхности, м³/(с·пм); $\eta_{\text{в}}$, $\eta_{\text{эд}}$, $\eta_{\text{п}}$ – коэффициенты полезного действия вентилятора, электродвигателя и передачи (принятые в примере ориентировочные значения равны соответственно 0,8; 0,97 и 0,95); k – коэффициент запаса установленной мощности электродвигателя (принятое ориентировочное значение 1,25).

В практике проектирования и эксплуатации систем наружного обдува ограждений стекловаренных печей достаточными считается удельный расход воздуха на каждый погонный метр длины обдуваемой поверхности $L=1,2$ м³/(с·пм) [5]. С учетом этого значения по выражению (1) были рассчитаны требуемые установленные мощности нагнетателей, представленные в табл. 3 при соответствующих скоростях обдува.

В процессе эксплуатационного регулирования скорости обдува удельный расход воздуха, истекающего из плоского сопла, имеющего постоянную удельную площадь живого сечения $f_{\text{уд}} = \text{const}$, м²/пм, будет изменяться пропорционально скорости обдува в соответствии со следующим соотношением:

$$L = f_{\text{уд}} \cdot U, \quad (2)$$

При этом, согласно [6], расходы нагнетаемого воздуха L (а значит и скорости обдува U) должны изменяться пропорционально изменению частоты вращения вала рабочего колеса нагнетателя $n = \text{var}$, об/мин, а требуемая мощность на валу N , кВт, – пропорционально изменению числа оборотов в кубе, то есть

$$\frac{U}{U_{\max}} = \frac{n}{n_{\max}}; \quad \frac{N}{N_{\text{уст}}} = \left(\frac{n}{n_{\max}} \right)^3. \quad (3)$$

С учетом всего вышеизложенного, зависимость потребляемой электрической мощности в i -м режиме N_i , кВт, от скорости обдува v_i , м/с, в случае многоступенчатого регулирования скорости путем изменения числа оборотов вала нагнетателя должна иметь следующий вид:

$$N_i = N_{уст} \left(\frac{v_i}{v_{max}} \right)^3 \quad (4)$$

Количество потребленной электроэнергии \mathcal{E}_1 , кВт*ч, за всю кампанию стекловаренной печи при изменении скорости обдувающего воздуха определяется выражением

$$\mathcal{E}_1 = \sum_{i=1}^n N_i \cdot 24 \cdot \tau_i; \quad (5)$$

где N_i – потребляемая мощность нагнетательной установки при i -й скорости обдува, кВт; τ_i – время работы нагнетателя в i -м режиме работы системы обдува, сут.

Изменение общего количества потребленной электроэнергии

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1; \quad (6)$$

где \mathcal{E}_2 – количество потребленной электрической энергии за кампанию печи при обдуве с постоянной скоростью, кВт*ч; \mathcal{E}_1 – количество потребленной электрической энергии за кампанию печи с переменной скоростью обдува, кВт*ч.

Для оценки доли сокращения затрат электрической энергии было использовано следующее соотношение:

$$\Delta \mathcal{E}_{\%} = \left(\frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} \right) \cdot 100\%; \quad (7)$$

Экономия денежных средств за счет сокращения потребления электрической энергии при переменном режиме обдува:

$$\Delta = \Delta \mathcal{E} \cdot C_{\mathcal{E}/\mathcal{E}}; \quad (8)$$

где $C_{\mathcal{E}/\mathcal{E}}$ – тарифная ставка за потребление электрической энергии, по данным ОАО «Саратовстрой-стекло», 2,79 руб./кВт*ч.

Результаты прогнозного сокращения электропотребления при использовании обдува с переменными скоростями по пяти конкурирующим вариантам приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета экономии потребляемой электроэнергии

Номер сравнения	Сравниваемые варианты	$\mathcal{E}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	$\Delta \mathcal{E}_{\%}, \%$	$\Delta \mathcal{E}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	$C_{\mathcal{E}/\mathcal{E}}, \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	$\Delta, \text{млн.руб}$
1	Вариант 1	49464650	12,79	7259712,5	2,79	20,25
	Постоянный обдув со скоростью 88 м/с	56723119				
2	Вариант 2	76934246	12,01	10504658	2,79	29,3
	Постоянный обдув со скоростью 107 м/с	87438825				
3	Вариант 3	114240323	7,21	8884361,4	2,79	24,78
	Постоянный обдув со скоростью 125 м/с	123124685				
4	Вариант 4	90792792	11,43	11722352	2,79	32,7
	Постоянный обдув со скоростью 115 м/с	102516307				
5	Вариант 5	46620648	11,24	5909066,2	2,79	16,48
	Постоянный обдув со скоростью 85 м/с	52527081				

Выводы

1. В результате выполненного математического моделирования установлено, что на продление эксплуатационного ресурса стекловаренных печей, определяющегося интенсивностью коррозионных процессов в огнеупорной кладке стен варочного бассейна, влияют два основных фактора: скорость наружного обдува и толщина огнеупорных элементов (брусьев), дополнительно устанавливаемых в процессе эксплуатации.

2. При начальной толщине огнеупорного бруса 250-100 мм влияние скорости обдува на снижение интенсивности высокотемпературной коррозии проявляется менее значительно, чем при меньших остаточных толщинах, поэтому значимость скорости обдува, как фактора продления эксплуатационного ресурса стекловаренных печей, резко возрастает по мере уменьшения остаточной толщины.

3. Для снижения электропотребления в начальный период эксплуатации скорость обдува должна устанавливаться минимальной (по условию обеспечения допустимого уровня температурных напряжений в огнеупорной кладке).

4. На примере огнеупоров марки БК-33 установлено, что использование в процессе эксплуатационного наращивания стен варочного бассейна дополнительных брусьев минимальной толщины 75 мм может обеспечить продление эксплуатационного ресурса стекловаренной печи на 11,68% по сравнению с вариантом использования для тех же целей брусьев толщиной 100 мм и на 8,59% по сравнению с использованием брусьев толщиной 120 мм.

5. Наилучшие прогнозируемые показатели могут быть достигнуты в случае реализации четвертого варианта: продление эксплуатационного ресурса печи – до 2359,6 сут. при наибольшей экономии эксплуатационных издержек за потребленную электроэнергию – порядка 32 млн. руб. (за счет ступенчатого регулирования мощности нагнетателя).

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-портал «Стройпрофиль» – путь доступа <http://stroyprofile.-com/archive/2533>.
2. Семенов Б.А. Двухфакторная математическая модель процесса высокотемпературной коррозии бадделеито-корундовых огнеупоров в условиях контакта с расплавом стекломассы / Б.А. Семенов, Н.А. Озеров // Известия вузов. Проблемы энергетики. Казань, 2012. №7-8. С. 87-96.
3. Озеров Н.А. Двухфакторная математическая модель процесса высокотемпературной коррозии огнеупоров фирмы «Монофра» в условиях контакта с расплавом стекломассы натрийсиликатного стекла / Н.А. Озеров // Проблемы энерго- и ресурсосбережения: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 2012. С. 53-65.
4. Семенов Б.А. Методика и результаты оптимизации параметров системы обдува ограждений варочного бассейна стекловаренных печей / Б.А. Семенов, Н.А. Озеров // Вестник СГТУ, 2011. №4 (59). Вып. 1. С. 210-217.
5. Дзюзер В.Я. Эффективное применение электроплавильных бадделеитокорундовых огнеупоров в высокотемпературных стекловаренных печах / В.Я. Дзюзер // Огнеупоры и техническая керамика. 2004. №6. С. 45-49.
6. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы / М.П. Калинушкин. М.: Высш. шк., 1987. 176 с.

Озеров Никита Алексеевич – ассистент кафедры «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Nikita A. Ozerov – Assistant
Department of Industrial Heating Engineer
Gagarin Saratov State Technical University

Семенов Борис Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Boris A. Semyonov – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Industrial Heating Engineer
Gagarin Saratov State Technical University

А.П. Усачев, А.В. Рулев

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ КИПЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОТОЧНЫХ РЕГАЗИФИКАТОРАХ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА ИЗ СМЕСЕЙ ПРОПАНА И БУТАНА

Приведен сравнительный анализ условий кипения для основных методов проточной регазификации сжиженного углеводородного газа, состоящего из смесей пропана и бутана. Современные системы искусственной проточной регазификации выполняются в зависимости от схемы движения с кипением сжиженного углеводородного газа в большом объеме и с кипением в трубах. Результаты анализа показывают, что наиболее низкие температуры кипения пропан – бутановых смесей наблюдаются для метода проточной регазификации внутри труб, что обеспечивает для этого случая максимальный температурный напор в системе «теплоноситель – сжиженный углеводородный газ».

Проточные регазификаторы, сжиженный углеводородный газ, смеси пропана и бутана, методы регазификации, кипение в большом объеме, кипение в трубах, сравнительный анализ, жидкая и паровая фаза

A.P. Usachev, A.V. Rulev

COMPARATIVE ANALYSIS OF BOILING CONDITIONS IN INDUSTRIAL EVAPORATORS FLOWING FROM LIQUEFIED PETROLEUM GAS PROPANE AND BUTANE MIXTURE

Gives a comparative analysis boiling to the basic methods of running evaporation liquefied petroleum gas, consisting a mixture propane and butane. Modern systems of artificial flow evaporation performed depending on the traffic patterns with boiling liquefied petroleum gas in bulk and with boiling in tubes. The results show that the lowest boiling point of propane – butane mixture are observed for the method flow inside the tubes evaporation, which provides for this case, the maximum temperature difference in the «coolant – liquefied petroleum gas».

Flow evaporators, liquefied petroleum gas, propane and butane mixture, methods evaporation, evaporating in a large volume, boiling in pipes, comparative analysis, liquid and vapor phase

В настоящее время на территории Российской Федерации все большую актуальность приобретают вопросы снабжения потребителей сжиженным углеводородным газом (СУГ) с высоким содержанием бутановых фракций (БФ). В значительной степени этому способствуют, образовавшиеся на внутреннем рынке, излишки товарных марок СУГ с повышенным содержанием бутанов.

Ускоренное вовлечение товарных марок СУГ с высоким (до 60 мол. %) содержанием БФ требует разработки эффективных конструкций проточных регазификаторов БФ, а также достоверных методов их расчета, в том числе определения температурных и гидродинамических границ для основных методов проточного испарения

Современные системы искусственной проточной регазификации выполняются в зависимости от схемы течения жидкой и паровой фаз: с кипением СУГ в большом объеме; с кипением СУГ в трубах.

В инженерной практике отличить методы проточной регазификации при кипении СУГ в большом объеме и трубах достаточно сложно, учитывая невозможность визуального наблюдения за процессом испарения, а также взаимным расположением границ раздела жидкой и паровой фаз.

Целью данной работы является определение температурных и гидродинамических границ для основных методов проточной регазификации пропан-бутановых смесей СУГ и их последующий сравнительный анализ.

Процесс испарения пропан-бутановой смеси для метода проточной регазификации с кипением СУГ в большом объеме (рис. 1) характеризуется четкой границей раздела паровой и жидкой фаз, поддерживаемой на постоянном уровне с помощью автоматического регулятора. Для этой цели в процессе отбора паровой фазы в сосуд постоянно или периодически подается жидкая фаза состава Ψ_1^* .

Насыщенная жидкость с мольным содержанием пропана Ψ_1^* и температурой $t_{r,6.1}$, поступающая в большеобъемный испаритель (рис. 1), растворяется в массе кипящей жидкости состава Ψ_2^* , которая находится в равновесии с отбираемыми парами СУГ состава Ψ_3^n . Указанный процесс растворения происходит по линии 1-2. При этом поступающая жидкость нагревается от температуры $t_1 = t_{r,6.1}$ до температуры $t_2 = t_{r,6}$ при постоянном давлении $P = \text{const}$ в большеобъемном испарителе.

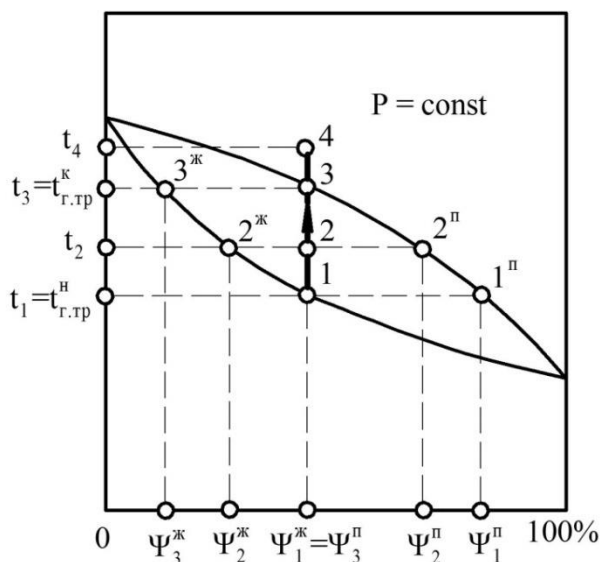


Рис. 1. Метод проточной регазификации пропан-бутановой смеси с кипением СУГ в большом объеме

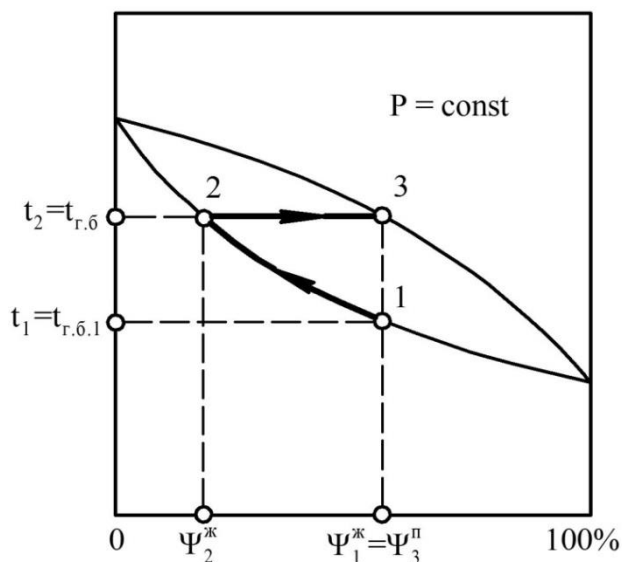


Рис. 2. Метод проточной регазификации пропан-бутановой смеси с кипением СУГ внутри труб

Процесс испарения жидкой фазы происходит по линии 1-2-3, а температура кипения имеет постоянное значение, равное $t_{r,6} = \text{const}$.

Процесс испарения пропан-бутановой смеси для метода проточной регазификации с кипением жидкой фазы СУГ внутри труб происходит при неизменном составе с непрерывным изменением границы раздела жидкой и паровой фаз, движущейся парожидкостной смеси.

Процесс испарения смеси «пропан-бутан» в диаграмме «температура – состав» при постоянном давлении $P = \text{const}$ изображается вертикальным отрезком так, как это показано на рис. 2 [1].

Точки 1-4 характеризуют следующие состояния системы: насыщенная жидкость, влажный пар, насыщенный пар, перегретый пар. Каждому состоянию смеси в процессе кипения соответствуют равновесные концентрации пропана в жидкой и паровой фазах.

При этом температура смеси повышается от $t_1 = t_{r,1}^h$ (температура насыщенной жидкости) до $t_3 = t_{r,3}^k$ (температура насыщенного пара), а при наличии перегрева паров до t_4 .

Температурные условия кипения t_r^h и t_r^k определяются согласно диаграмме «температура-состав», составленной на основе закона Дальтона-Рауля [2], обеспечивающего необходимую точность при давлениях до 1,6 МПа [3]. Здесь для подсчета давлений насыщенных паров индивидуальных компонентов, то есть пропана и н-бутана используется формула Антуана [4,5].

В результате исследований также установлено, что гидродинамические границы существования методов проточной регазификации с кипением СУГ в большом объеме и внутри труб приблизительно можно определить по значению критерия Фруда $Fr = \omega^2 / (d \cdot g)$, где ω – скорость течения парожидкостной смеси СУГ, м/с; d – внутренний диаметр испарительного канала проточного регазификатора, м.

Для определения численных значений критерия Fr , соответствующих гидродинамическим границам существования методов кипения пропан-бутановых смесей СУГ в большом объеме и трубах, были проведены опыты на проточном регазификаторе постоянного диаметра.

В регазификаторе осуществляли полное испарение жидкой фазы за счет теплопритока при ее движении снизу вверх. Опыты проводили при изменении критерия Фруда в диапазоне от $2,7 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^3$.

Было установлено, что поддержание $Fr > 5,9 \cdot 10^{-3}$ при движении паров испаренного СУГ внутри вертикального канала обеспечивает температурные условия, свойственные методу регазификации внутри труб, а метод испарения в большом объеме имеет место при значении критерия Фруда – $Fr < 5,9 \cdot 10^{-3}$ (рис. 3). При этом методы проточной регазификации внутри трубы и в большом объеме могут плавно переходить один в другой при изменении критерия Фруда.

Для точного определения температурных границ методов испарения в большом объеме и внутри труб рекомендуются зависимости (1)-(3), приведенные в составе алгоритма (рис. 3). На рисунке используются следующие обозначения: $P_{см}$ – абсолютное общее давление смеси, Па 10^5 ;

$A_{пр}$, $B_{пр}$, $C_{пр}$, A_B , B_B , C_B – коэффициенты, характерные для пропана и н-бутана в определенных пределах температуры.

На основании наиболее точных экспериментальных данных по давлению насыщенных паров пропана и н-бутана, полученных различными исследователями, Тиличев М.Д. [6] подобрал коэффициенты $A_{пр}$, $B_{пр}$, $C_{пр}$, A_B , B_B , C_B в уравнениях (1)-(3).

Сравнительный анализ методов испарения показывает, что наиболее низкие температуры кипения наблюдаются для случая проточной регазификации внутри труб:

$$t_{г.тр} = \overline{\text{var}(t_{г.тр}^H, t_{г.тр}^K)} < t_{г.б} = t_{г.б}^K \quad (4)$$

Это, в свою очередь, обуславливает максимальный температурный напор в системе «теплоноситель (т) – СУГ», то есть:

$$t_{т} - \overline{\text{var}(t_{г.тр}^H, t_{г.тр}^K)} = \max. \quad (5)$$

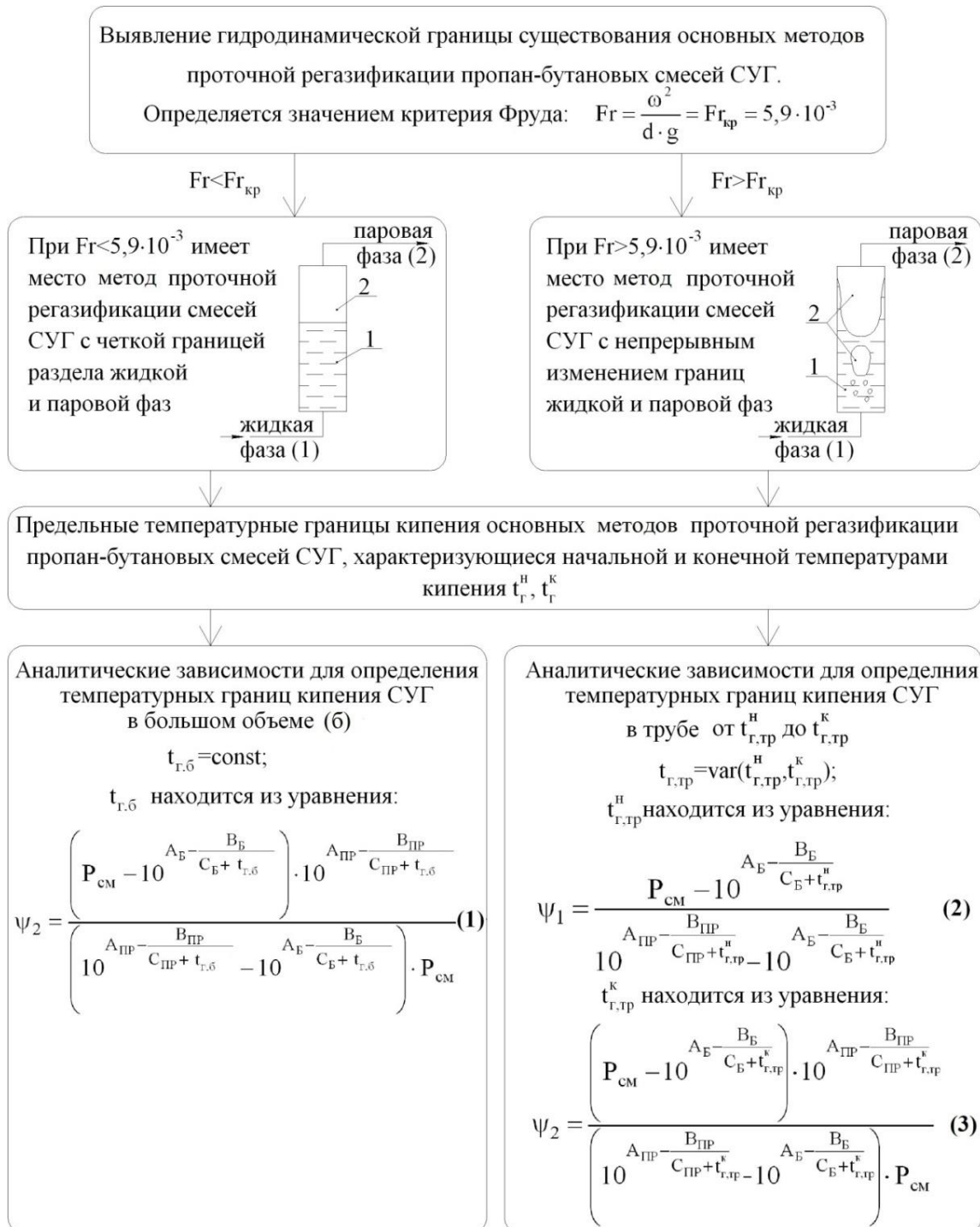


Рис. 3. Зависимости по определению гидродинамических и температурных границ существования методов проточной регазификации пропан-бутановых смесей СУГ

Таким образом, по результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Варианты метода проточной регазификации внутри труб и в большом объеме взаимно превращаемы и могут плавно переходить один в другой при изменении критерия Фруда. Поддержание $Fr > 5,9 \cdot 10^{-3}$ для паровой фазы обеспечивает температурные условия, свойственные методу регазификации внутри труб, а метод испарения в большом объеме имеет место при значении критерия Фруда $Fr < 5,9 \cdot 10^{-3}$.
2. Результаты сравнительного анализа показывают, что наиболее низкие температуры кипения пропан-бутановых смесей наблюдаются для метода проточной регазификации внутри труб, что обеспечивает для этого случая максимальный температурный напор в системе «теплоноситель – СУГ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Усачев А.П. Исследование температурных условий при кипении и конденсации сжиженных углеводородных газов в проточных системах / А.П. Усачев, Б.Н. Курицын, В.П. Богданов // Использование газа в народном хозяйстве: сб. статей ин-та Гипронегаз. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1974. С. 304-310.
2. Organick B.I. Prediction of hydrocarbon vapor-liquid equilibria / B.I. Organick, G.G. Brown // Chemical Engineering Progress. Symposium, 1952. Ser. 48/2. 97. P. 117-122.
3. Nysewander C.H. Phase Equilibria in hydrocarbon systems / C.H. Nysewander, B.H. Sage, W.N. Lelsey // Industrial and Engineering Chemistry, 1940. Vol. 32, № 1. P. 118-123.
4. Thomson G.W. The Antoine equation for vapor-pressure data / G.W. Thomson // Chemical Reviews, 1946. Vol. 38. №1. P. 128-143.
5. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика / М.Х. Карапетьянц. М.: Химия, 1975. 583 с.
6. Тиличев М. Д. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов / М. Д. Тиличев. М.; Л.: Гостоптехиздат. Вып. 2-4. 1947. 690 с.

Усачев Александр Прокофьевич – доктор технических наук, профессор, кафедры «Теплогасоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander P. Usachev – Dr. Sc., Professor
Department of Heat, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics,
Gagarin Saratov State Technical University

Рулев Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогасоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander V. Rulev – Ph. D., Associate Professor
Department of Heat, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.11.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.6.036

А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ГРУНТА В СИСТЕМАХ РЕЗЕРВУАРНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ С ИСКУССТВЕННЫМ ИСПАРЕНИЕМ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА

Предложены способ экономии электрической энергии на нужды регазификации сжиженного углеводородного газа путем испарения части жидкой фазы в подземном резервуаре за счет теплоты окружающего грунта. Разработаны аналитические зависимости по определению величины сэкономленной энергии. Результаты расчетов, согласно предложенным зависимостям показывают, что среднегодовая величина экономии электрической энергии за счет использования теплоты грунта, применительно к резервуару объемом $10,0 \text{ м}^3$, оснащенного проточным регазификатором расчетной паропроизводительностью $G_p = 32 \text{ кг/ч}$, составляют 39,0%.

Резервуары-испарители, сжиженный углеводородный газ, смеси пропана и бутана, методы регазификации, энергосбережение, клапан-отсекатель, электрический регазификатор

A.P. Usachev, A.L. Shurayts, A.V. Rulev

USING THE SOIL HEAT FOR THE TANK SYSTEMS OF GAS SUPPLY WITH ARTIFICIAL EVAPORATION OF THE LIQUEFIED HYDROCARBONIC GAS

The article describes a new method of saving electric power used for regasification of the liquefied hydrocarbonic gas by evaporating part of the liquid phase in the underground tank due to the heat of the surrounding soil. Analytical dependences have been developed to determine the amount of the saved energy. According to the provided dependences, calculations show that the average power saving rate makes 39,0 %. This is the result of the soil heat utilization applied for the 10,0 m³ volume tank equipped with the flowing evaporator having the productivity at $G_p = 32$ kg/h.

Tank evaporators, liquefied hydrocarbonic gas, propane and butane mixes, evaporation method, energy saving, the valve-cutting off, electric evaporator

В настоящее время в системах резервуарного газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ), оснащенных электрическими промышленными регазификаторами, актуальной задачей является экономия энергии на нужды испарения СУГ, состоящего из пропан-бутановой смеси.

В существующих конструкциях резервуарного газоснабжения жидкая фаза из подземного резервуара поступает в электрический регазификатор, где испаряется за счет теплоты, подводимой от трубчатых электрических нагревателей (ТЭН) [1, 2, 3]. Для повышения интенсивности теплообмена и безопасности, тепловая энергия на нужды испарения передается от ТЭНов к жидкой фазе СУГ через слой твердотельного промежуточного теплоносителя из алюминиевой заливки [4, 5, 6].

С целью экономии электрической энергии на нужды регазификации СУГ в системах резервуарного газоснабжения с искусственным испарением предлагается частично использовать теплоту грунта, окружающего подземный резервуар.

Для реализации этой цели предлагается использовать клапан-переключатель паровой и жидкой фаз [7]. Ранее указанный клапан-переключатель применялся для периодического сброса из подземного резервуара паровой фазы таким образом, чтобы из него в распределительный газопровод подавалась жидкая фаза среднего давления [8].

Применение клапана переключателя паровой и жидкой фаз по новому назначению, с целью частичного использования теплоты грунта на нужды регазификации в системах с искусственным испарением СУГ, осуществляется следующим образом.

В начальный период эксплуатации паровая фаза из подземного резервуара 1 (рис. 1) по паровому стояку 2 через клапан переключения подачи паровой и жидкой фаз 3 подается в испарительный змеевик 9, перегревается в нем, а затем через выходной трубопровод 4 и регулятор низкого давления 6 поступает потребителю. При снижении давления и температуры насыщенной паровой фазы в резервуаре 1 до расчетного значения клапан 3 закрывает подачу паровой фазы через стояк 2 и открывает подачу жидкой фазы через трубопровод 7. Образующийся перепад давлений, между резервуаром 1 и регазификатором 5, обеспечивает подъем жидкой фазы по подводящему трубопроводу 7 через клапан 3 в испарительный змеевик 9, где она испаряется за счет теплоты, передаваемой от ТЭНов 10, через слой алюминиевой заливки 11.

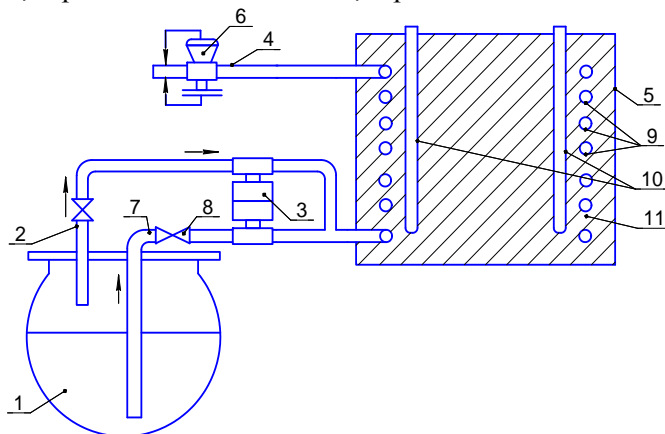


Рис. 1. Энергосберегающая схема резервуарного газоснабжения с электрическим промышленным регазификатором СУГ

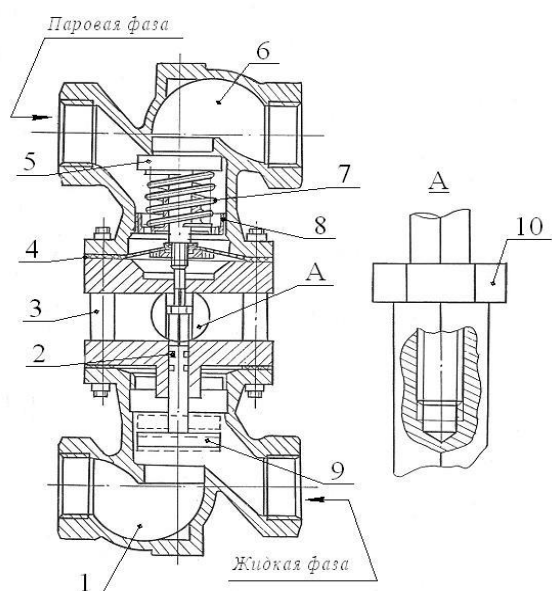


Рис. 2. Конструктивное устройство клапана-переключателя подачи паровой и жидкой фаз: 1 – камера жидкой фазы; 2 – уплотнительные кольца; 3 – втулка; 4 – мембрана; 5 – клапан паровой фазы; 6 – камера паровой фазы; 7 – пружина; 8 – регулировочная гайка; 9 – клапан жидкой фазы; 10 – регулировочная гайка

Вследствие теплопритока со стороны грунта давление паров в резервуаре 1 повышается, клапан 3 снова открывается. Газоснабжение потребителей вновь осуществляется за счет подачи паровой фазы из резервуара 1. Цикл повторяется.

Конструкция клапана – переключателя паровой и жидкой фаз приведена на рис. 2. Здесь, подача жидкой фазы в камеру 1 осуществляется в направлении сверху вниз «на клапан», а подача паровой фазы в камеру 6 – в направлении снизу вверх «под клапан».

Экономия электрической энергии на испарение СУГ определяется как отношение количества теплоты, полученной за счет естественной испарительной способности подземного резервуара, к общему количеству теплоты:

$$\Delta Q = 100 Q_{\text{ест}} / (Q_{\text{иск}} + Q_{\text{ест}}), \quad (1)$$

где $Q_{\text{ест}}$ – количество теплоты, полученной от подземного резервуара за счет естественного подвода теплоты от грунта, в период между двумя соседними заправками, Вт; $Q_{\text{иск}}$ – количество электрической энергии, подведенной к регазификатору на нужды испарения жидкой и перегрева паровой фазы СУГ, Вт.

Количество электрической энергии в формуле (1), подведенной к регазификатору на нужды испарения жидкой и перегрева паровой фаз СУГ,

определяется по формуле:

$$Q_{\text{иск}} = [(\xi_{\text{Н}}^{\Gamma} - \xi_{\text{О}}^{\Gamma}) - (G_{\text{Р}} \tau_{\text{ОХЛ}} + \xi_{\text{П}})] [r + C_{\text{Ж}}^{\Gamma} (t_{\text{К}}^{\Gamma} - t_{\text{Н}}^{\Gamma}) + C_{\text{П}}^{\Gamma} (t_{\text{ПЕР}}^{\Gamma} - t_{\text{К}}^{\Gamma})] + C_{\text{П}}^{\Gamma} \left\{ [G_{\text{Р}} \tau_{\text{ОХЛ}} (t_{\text{ПЕР}}^{\Gamma} - \frac{t_{\text{Н.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Н}}) + t_{\text{К.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Р}})}{2})] + \xi_{\text{П}} (t_{\text{ПЕР}}^{\Gamma} - t_{\text{К}}^{\Gamma}) \right\}, \quad (2)$$

где: $\xi_{\text{Н}}^{\Gamma}$ – масса жидкой фазы (кг) в начале периода охлаждения СУГ в момент, когда давление и соответствующая ему температура насыщенных паров имеют значения $P_{\text{Н}}$ и $t_{\text{Н.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Н}})$; $\xi_{\text{О}}^{\Gamma}$ – количество жидкой фазы в подземном резервуаре перед очередной заправкой, кг; $G_{\text{Р}}$ – расчетная паропроизводительность электрического регазификатора, численно равная расчетному расходу газа, кг/ч; $\tau_{\text{ОХЛ}}$ – продолжительность периода охлаждения СУГ в подземном резервуаре до момента, когда давление и соответствующая ему температура насыщенных паров достигнут значений $P_{\text{Р}}$ и $t_{\text{К.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Р}})$; $\xi_{\text{П}}$ – масса жидкой фазы, испаренная подземным резервуаром за период попеременного отбора паров СУГ из резервуара и электрического регазификатора, кг; r – скрытая теплота испарения жидкой фазы СУГ, кДж/кг; $C_{\text{Ж}}^{\Gamma}, C_{\text{П}}^{\Gamma}$ – осредненные удельные теплоемкости жидкой и паровой фаз СУГ, кДж/кг·К; $t_{\text{Н.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Н}})$ – температура жидкой фазы СУГ в начале периода охлаждения СУГ, когда давление насыщенных паров составит $P_{\text{Н}}$, °С; $t_{\text{К.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Р}})$ – температура жидкой фазы СУГ в конце периода охлаждения СУГ, когда давление насыщенных паров составит $P_{\text{Р}}$, °С; $t_{\text{Н}}^{\Gamma}, t_{\text{К}}^{\Gamma}$ – температура жидкой фазы СУГ в начале и конце кипения в проточном регазификаторе, °С; $t_{\text{ПЕР}}^{\Gamma}$ – температура перегрева паровой фазы СУГ в проточном регазификаторе, °С.

Предложенная формула (2), в отличие от существующих зависимостей [1, 9], учитывает необходимость затрат энергии:

- 1) на нагрев жидкой фазы в интервале температур полного выкипания смеси пропан – бутан в проточном регазификаторе от $t_{\text{Н}}^{\Gamma}$ до $t_{\text{К}}^{\Gamma}$;
- 2) на нагрев паровой фазы, поступающей из резервуара в течение периода охлаждения от осредненной температуры $[t_{\text{Н.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Н}}) + t_{\text{К.ОХЛ}}^{\Gamma} (P_{\text{Р}})]/2$ до температуры перегрева $t_{\text{ПЕР}}^{\Gamma}$;
- 3) на перегрев паровой фазы, поступающей из резервуара в течение попеременного отбора жидкой и паровой фаз от температуры $t_{\text{К}}^{\Gamma}$ до расчетной температуры перегрева $t_{\text{ПЕР}}^{\Gamma}$.

Количество теплоты в формуле (1), полученной от подземного резервуара за счет естественного подвода теплоты от грунта $Q_{\text{ест}}$, в период между двумя соседними заправками определяется согласно результатам исследований, приведенных в работах [1, 9].

С целью количественной оценки экономии электрической энергии за счет использования теплоты грунта были проведены соответствующие расчеты, при следующих исходных данных.

1. Климатический район – умеренно-холодный.
2. Геометрический объем резервуара – $10,0 \text{ м}^3$.
3. Расчетное давление СУГ в резервуаре $P_p=0,15 \text{ МПа}$.
4. Содержание пропана в поставляемом газе – 50 мол. %.
5. Остаточный уровень газа в резервуаре – 25%.
6. Расчетная паропроизводительность электрического регазификатора, численно равная расчетному расходу газа $G_p = 32 \text{ кг/ч}$.

Проведенные расчеты показали, что среднегодовая величина экономии электрической энергии за счет использования теплоты окружающего резервуар грунта при расходе газа $G_p = 32 \text{ кг/ч}$ составляют 39,0%.

Выводы

1. Предложены способ экономии электрической энергии на нужды регазификации СУГ с высоким содержанием бутановых фракций путем испарения части жидкой фазы в подземном резервуаре за счет теплоты окружающего грунта и аналитические зависимости (1) и (2) по определению величины сэкономленной энергии.
2. Среднегодовая величина экономии электрической энергии за счет использования теплоты грунта, применительно к резервуару объемом $10,0 \text{ м}^3$, оснащенного проточным регазификатором расчетной паропроизводительностью $G_p = 32 \text{ кг/ч}$, составляет 39,0%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курицын Б.Н. Системы снабжения сжиженным газом / Б.Н. Курицын. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1988. 196 с.
2. Преображенский Н.И. Сжиженные газы / Н.И. Преображенский. Л.: Недра, 1975. 227 с.
3. Стаскевич Н.Л. Справочник по сжиженным углеводородным газам / Н.Л. Стаскевич, Д.Я. Видгорчик. Л.: Недра, 1986. 543 с.
4. Системные исследования по повышению интенсивности теплообмена регазификаторов сжиженного углеводородного газа: монография / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев и др. Саратов: СГТУ, 2010. 246 с.
5. Рулев А.В. К выбору типа промежуточного теплоносителя для электрических испарителей централизованных систем газоснабжения / А.П. Усачев, А.В. Рулев, А.Ю. Фролов // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2006. С. 115-124.
6. Усачев А.П. Технико-экономическое обоснование применения электрического испарителя сжиженного углеводородного газа с твердотельным промежуточным теплоносителем / А.П. Усачев, А.В. Рулев // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2006. С. 150-161.
7. Шурайц А.Л. Технология снабжения пропаном бутаном с использованием жидкой фазы / А.Л. Шурайц // Повышение технического уровня и качества продукции на основе достижений научно-технического прогресса газовой промышленности: тез. докл. отраслевого семинара. М.: ВНИИЭгазпром, 1989. С. 57-58.
8. Шурайц А.Л. Особенности эксплуатации систем снабжения сжиженными газами с подачей жидкой фазы / А.Л. Шурайц, С.В. Рубинштейн, Н.Н. Морозова // Газовая промышленность. Сер. Переходной производственный и научно-технический опыт, рекомендуемый для внедрения в газовой промышленности: информ. сб. М.: ВНИИЭгазпром, 1989. Вып. 5. С. 78-81.
9. Курицын Б.Н. Резервуарные установки сжиженного газа с комбинированным отбором жидкой и паровой фаз / Б.Н. Курицын, А.П. Усачев, В.П. Богданов // Жилищное и коммунальное хозяйство. 1976. № 9. С. 21-22.

Усачев Александр Прокофьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.
Шурайц Александр Лазаревич –

Alexander P. Usachev – Dr. Sc., Professor
Department of Heat, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics,
Gagarin Saratov State Technical University

доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогаснабжение, вентиляция,
водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Рулев Александр Владимирович –
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогаснабжение, вентиляция,
водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander L. Shurayts –
Dr. Sc., Professor
Department of Heat, Ventilation, Water Supply
and Applied Fluid Dynamics,
Gagarin Saratov State Technical University

Alexander V. Rulev –
Ph. D., Associate Professor
Department of Heat, Ventilation, Water Supply
and Applied Fluid Dynamics,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 22.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.383; 550.384; 550.382; 550.389

Г.М. Проскуряков, А.С. Буров

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЕЙ И ПОГРЕШНОСТЕЙ АЛГОРИТМОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ НАВИГАЦИИ

Предложен новый метод дифференциальной геомагнитной навигации по наблюдениям за нормальной составляющей геомагнитного поля, разработаны алгоритмы обработки магнитометрической информации с использованием аппарата функций чувствительностей и дана оценка ожидаемых максимальных погрешностей решения задачи дифференциальной геомагнитной навигации.

Магнитное поле Земли, полигармонический ряд Гаусса, функции чувствительностей, дифференциальная геомагнитная навигация

G.M. Proskuryakov, A.S. Burov

A RESEARCH INTO THE SENSITIVITY FUNCTION AND ERROR ALGORITHMS OF THE DIFFERENTIAL GEOMAGNETIC NAVIGATION

A new method for differential geomagnetic navigation through the observations of the normal component in the geomagnetic field, and the algorithms are developed for processing the magnetometer data using a set of sensitivity functions. Estimation is made for the maximum expected errors in the solution of the differential geomagnetic navigation problem.

The earth magnetic field, the Gaussian polyharmonic, sensitivity functions, differential geomagnetic navigation

Создание в конце XX века бесплатформенных инерциальных систем ориентации и навигации (БИСОН) и спутниковых навигационных систем (СНС), а также их практическое внедрение в XX – XXI веках ознаменовало яркие и значительные достижения научно – технического прогресса в передовых странах мира, в том числе и в России.

Разработка в конце XX века интегрированных систем ориентации и навигации (комплексов БИСОН+СНС) не сняла полностью в XXI веке проблемы поиска альтернативных методов решения задач навигации и разработки новых навигационных систем, более совершенных, чем интегрированные комплексы БИСОН+СНС. Идея комплексирования способов и технических средств навигации не является новой и известна давно (комплексирование радиотехнических, астрономических, инерциальных, магнитометрических и других способов и средств навигации). Для обеспечения относительной простоты решения задачи комплексирования методов и средств навигации заслуживает особого внимания способ комплексирования с использованием информации о магнитном поле Земли (МПЗ) [1].

Сравнительный анализ информационных свойств геофизических полей показывает, что МПЗ является более информативным, чем другие геофизические поля [2]. В соответствии с современным представлением об описании геомагнетизма МПЗ обычно представляют состоящим из постоянной составляющей (нормального \bar{T}_g^H , аномального \bar{T}_g^a МПЗ) и переменной (вариативной) составляющей (вариации $\delta\bar{T}_g$ геомагнитного поля):

$$\bar{T}_g = \bar{T}_g^H + \bar{T}_g^a + \delta\bar{T}_g. \quad (1)$$

Вариативная составляющая $\delta\bar{T}_g$ в основном носит случайный характер и может быть принята за методическую погрешность магнитометрических средств, причем анализ данных геофизических наблюдений показывает, что $\delta T_g^{max} \leq 1 \div 10$ нТл (вековые вариации, магнитные бури и пр.), следовательно $(\delta T_g^{max} / T_g^H) \leq 10^{-2} \div 10^{-3}\%$ [3].

В настоящее время в геомагнитной навигации находят ограниченное применение так называемые корреляционно – экстремальные навигационные системы (КЭНС), использующие информацию об аномальном МПЗ (\bar{T}_g^a) на основе применения цифровых магнитных карт местности (аномалий). Однако они сравнительно сложны, дороги, локальны и ненадежны, поэтому находят ограниченное применение на практике [2].

В геофизике достаточно давно и успешно используется модель нормального МПЗ по составляющей \bar{T}_g^H в виде модели Международного аналитического описания IGRF (International Geomagnetic Reference Field), основанного на разложении геомагнитного потенциала в бесконечный сферический ряд Гаусса и представлении проекций вектора напряженности $\bar{T}_g^H = [T_{xg}^H \ T_{yg}^H \ T_{zg}^H]^T$ на оси нормальной земной системы координат $X_g Y_g Z_g$ (ГОСТ 20058-80) в виде суммы гармонических функций:

$$\begin{aligned} T_{xg}^H &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \cdot \nabla P_n^m, \\ T_{yg}^H &= \sum_{n=1}^{\infty} (n+1) \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \cdot P_n^m(\sin \varphi), \\ T_{zg}^H &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n m \cdot (g_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) \cdot \frac{P_n^m(\sin \varphi)}{\cos \varphi} \end{aligned} \quad (2)$$

где R – средний радиус Земли, m ; r – модуль радиуса – вектора $\bar{r}(\varphi; \lambda; r)$ текущей точки месторасположения в пространстве; T_{xg}^H ; T_{yg}^H ; T_{zg}^H – проекции вектора напряженности нормального МПЗ (\bar{T}_g^H) на оси нормальной земной системы координат $X_g Y_g Z_g$ (ГОСТ 20058-80); φ ; λ – сферические координаты точки (географическая широта и долгота); $P_n^m(\sin \varphi)$ – присоединенные функции Лежандра n – ой степени порядка m ; ∇P_n^m – широтный градиент первого порядка присоединенной функции Лежандра n -й степени порядка m ; g_n^m ; h_n^m – коэффициенты гармонического сферического ряда разложения (коэффициенты Гаусса – Шмидта).

Численные значения коэффициентов Гаусса – Шмидта обновляются каждые 5 лет и представляются Международной геофизической службой глобальных наблюдений за МПЗ на каждый пятилетний период (эпоху). В частности, на эпоху 2010 – 2015 годов действует модель WMM-2010, информация о которой представлена на сайте сети Internet (<http://www.ngdc.noaa.gov.com>). И в частности модель WMM-2010 может быть приспособлена к решению задач геомагнитной навигации (а не к решению задач геофизики), если воспользоваться дифференциальным подходом, основанным на методе линеаризации или методе Ньютона:

$$\bar{T}_g = \bar{T}_{g0} + \Delta \bar{T}_g = \bar{T}_{g0} + D \cdot [\Delta \varphi \ \Delta \lambda \ \Delta r]^T \quad (3)$$

$$\Delta \bar{r} = [\Delta \varphi \ \Delta \lambda \ \Delta r]^T = D^{-1} \cdot (\bar{T}_g - \bar{T}_{g0}) = F \cdot \Delta \bar{T}_g \quad (4)$$

Компоненты вектора \bar{T}_g вычисляются путем пересчета показаний блока магнитометров $\bar{T} = [T_x \ T_y \ T_z]^T$ из связанных осей XYZ в оси нормальной земной системы координат $X_g Y_g Z_g$ на основании информации об углах ориентации основания (ψ, ϑ, γ), получаемой по алгоритмам аналитического гиро-горизонт-широт-компасирования, в соответствии с выражением

$$\bar{T}_g = A_\gamma \cdot A_\vartheta \cdot A_\psi [T_x \ T_y \ T_z]^T \quad (5)$$

Определение вектора $\Delta \bar{r}$ в соответствии с выражениями (2) – (5) (алгоритмами дифференциальной геомагнитной навигации) относится к области решения обратных задач бортовой магнитометрии. Элементы матрицы линеаризации D находятся как производные от функций (2) по соответствующим вариациям навигационных параметров ($\Delta \varphi$; $\Delta \lambda$; Δr). Функции чувствительностей F_{ij} ($i, j = \overline{1,3}$) находятся как элементы матрицы F путем обращения матрицы D ($F = D^{-1}$). Используя пакет прикладных программ MatchCad v.14.0 проведены аналитические преобразования по формулам частных производных, вычисления элементов обратных матриц и получены конкретные формулы для функций чувствительности в численном виде с использованием укороченной модели WMM-2010 ($n = \overline{1,6}$; $m = \overline{0,n}$). Из-за громозкости этих формул они не приводятся в настоящей работе. Вместе с тем эти формулы и семейства графиков функций чувствительностей F_{ij} для $\varphi \in (20^\circ \div 85^\circ)$ с.ш. и $\lambda \in (0^\circ \div 180^\circ)$ в.д. приведены в полной версии настоящей статьи, текст которой размещен на сайте в сети Internet (<http://www.sstu.ru>).

Используя вычисленный вектор $\Delta\bar{r}$ вариаций сферических координат ($\Delta\varphi; \Delta\lambda; \Delta r$) можно определить вектор $\bar{r}(\varphi; \lambda; r)$, характеризующий положение произвольной текущей точки на маршруте:

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + \Delta\bar{r} \quad (6)$$

с учетом задания сферических координат $\bar{r}_0(\varphi_0; \lambda_0; r_0)$, известных для базовой точки $A_0(\varphi_0; \lambda_0; r_0)$.

Численный анализ по разработанным алгоритмам дифференциальной геомагнитной навигации с использованием укороченной модели WMM-2010 ($n = \overline{1,6}; m = \overline{0,n}$) с учетом достижимой точности работы бортовых средств измерений ($\Delta T_u \leq 50 \text{ нТл}$) и с использованием функций чувствительностей F_{ij} показывает, что предельно возможные значения погрешностей позиционирования не превышают следующих величин (для территории Саратовской области с координатами 50° с.ш., 45° в.д.):

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{max} &\leq \pm 0,25''; \\ \Delta\lambda_{max} &\leq \pm 0,1''; \\ \Delta r_{max} &\leq \pm 170 \text{ м.} \end{aligned}$$

Дальнейшее повышение точности решения задачи определения координат φ, λ, r способом дифференциальной геомагнитной навигации связано как с повышением точности описания МПЗ (путем повышения размерности модели (степени n и порядка m), а также путем учета табулированных аномалий \bar{T}_g^a и вековых вариаций $\delta\bar{T}_g^{ек}$), так и с повышением точности работы средств магнитометрии путем снижения их инструментальных погрешностей.

Сравнение разработанного метода дифференциальной геомагнитной навигации с методами инерциальной и спутниковой навигации показывает, что предлагаемый метод в сравнении с методом СНС является полностью автономным, обеспечивающим лучшие условия помехозащищенности и более простым (так как не предусматривает устройств внешней инфраструктуры – полной космической группировки навигационных спутников со средствами доставки их в космос (космического сегмента), наземного сегмента корректирующих станций и радиотехнических систем связи), а в сравнении с методом работы БИСОН является позиционным (безынтегральным), не склонным к накоплению во времени погрешностей решения задачи навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серкерев С.А. Теория гравитационного и магнитного потенциалов: учебник для вузов / С.А. Серкерев. М.: Недра, 1990. 304 с.
2. Белоглазов И.И. Основы навигации по геофизическим полям / И.И. Белоглазов, Г.И. Джанжгава, Г.П. Чигин. М.: Наука, 1985. 328 с.
3. Магниторазведка: справочник геофизика. 2-е изд. М.: Недра, 1990. 470 с.

Проскуряков Герман Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

German M. Proskuryakov – Ph. D., Associate Professor
Department of Instrumentation
Gagarin Saratov State Technical University

Буров Александр Сергеевич – магистрант кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksandr S. Burov – Postgraduate
Department of Instrumentation
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 577.345; 681.785.453

Е.В. Наумова, Г.В. Мельников

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОТОКСИКАНТОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Предложен люминесцентный сенсор на основе молекул сывороточного альбумина человека для определения ионов тяжелых металлов в различных биологиче-

ских объектах. Исследованы фотофизические свойства люминесцентного сенсора с помощью разработанного портативного импульсного фосфориметра.

Люминесцентный сенсор, фосфориметр, сывороточный альбумин человека (САЧ), красители

E.V. Naumova, G.V. Melnikov

LUMINESCENT SENSOR FOR DETERMINING ECOTOXICANTS IN BIOLOGICAL ENVIRONMENTS

The article deals with the proposed luminescent sensor molecules based on human serum albumin to determine heavy metal ions in various biological systems. Photo-physical properties of the luminescent sensor are investigated by means of the developed portable pulse phosphorimeter.

Luminescent sensor, phosphorimeter, human serum albumin (HSA), dyes

Техногенная деятельность человека оказывает негативное влияние на состояние объектов окружающей среды. Основными источниками поступления экотоксикантов, в том числе и ионов тяжелых металлов являются промышленные предприятия и предприятия теплоэнергетики, а в крупных городах также сжигаемое топливо в автомобилях. В связи с этим необходим своевременный мониторинг состояния окружающей среды на содержание экотоксикантов.

Нами разработан люминесцентный биосенсор на основе молекул полярного красителя ксантенового ряда эозина, нековалентно связанного с сывороточным альбумином человека. Выбор этого красителя в качестве зонда обусловлен его значительным квантовым выходом люминесценции, а также способностью эффективно связываться с белками. Нами изучено влияние присутствующих в исследуемом растворе солей тяжелых металлов таллия и свинца на люминесцентно-кинетические характеристики эозина.

Для регистрации временной зависимости интенсивности фосфоресценции люминесцентного сенсора нами был разработан портативный импульсный фосфориметр. Регистрация и обработка временной зависимости интенсивности фосфоресценции осуществлялась посредством электрической схемы (рис. 1) на основе микроконтроллера. Параметры усилительного каскада схемы подобраны для регистрации длительных послесвечений с учетом минимального влияния переходных процессов схемы на качество регистрации выходного сигнала. Под действием возбуждающих импульсов светодиода VD1 оптической ячейки молекулы люминесцентного зонда-эозина переходят в возбужденное состояние с заселением триплетного состояния. При излучательном переходе из этого состояния происходит испускание кванта фосфоресценции, который регистрируется с помощью фотодиода VD2 оптической ячейки, при этом кювета с раствором расположена под острым углом к оптической оси, проходящей через источник света, а фотодетектор расположен с обеспечением минимального влияния засветки от импульсного источника возбуждающего света и отраженного от стенок кюветы света на регистрируемое излучение (Патент РФ № 118755, опубл. 27.07.2012, бюл. № 21).

Чтобы минимизировать влияние переходных процессов в усилительном каскаде схемы на полезный сигнал при обеспечении максимального усиления фосфоресценции люминесцентного сенсора, осуществлялось моделирование импульсного сигнала светодиода без исследуемого образца (рис. 2, а – вид сигнала, поступающего на вход усилительного каскада схемы, б – вид сигнала на выходе усилительного каскада схемы) и производился подбор параметров R2/R3 усилительного каскада фотодиода.

Светодиод VD1 марки LB-P200G3C-H5 оптической ячейки работает в импульсном режиме с частотой 250 Гц на длине волны 515-530 нм и величиной светового потока 120-130 Lm, что эквивалентно напряжению 0,8 В (рис. 2 а) на выходе фотодиода SD 5421-002, длительность импульса составляла 10^{-6} с (рис. 2 б).

Из рис. 2б видно, что время переходного процесса при регистрации импульса светодиода длительностью 10^{-6} с. составляет около 20 мкс. В эксперименте получены зависимости величины выходного напряжения от времени, незначительно отличающиеся от результатов моделирования. Поскольку время жизни фосфоресценции порядка 3 мс, то схема регистрации вполне приемлема для изучения кинетики затухания фосфоресценции зонда. Если регистрацию фосфоресценции

осуществлять после 20-50 мкс, когда закончатся переходные процессы, результаты не будут искажены переходными процессами в цепи.

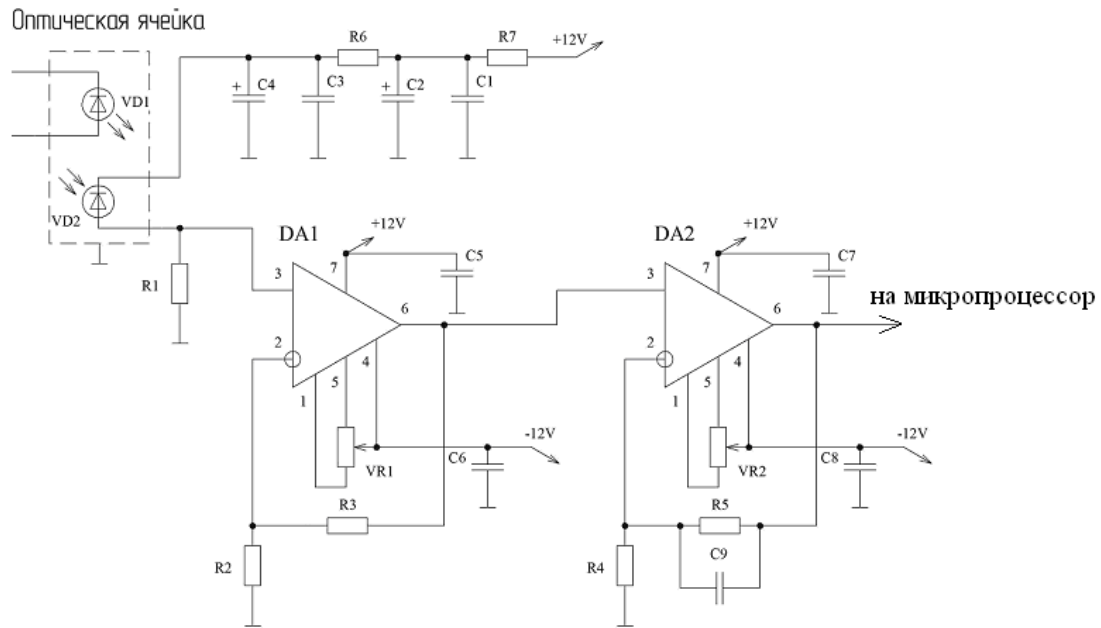


Рис. 1. Электрическая схема усилительного каскада электрической схемы портативного импульсного фосфориметра

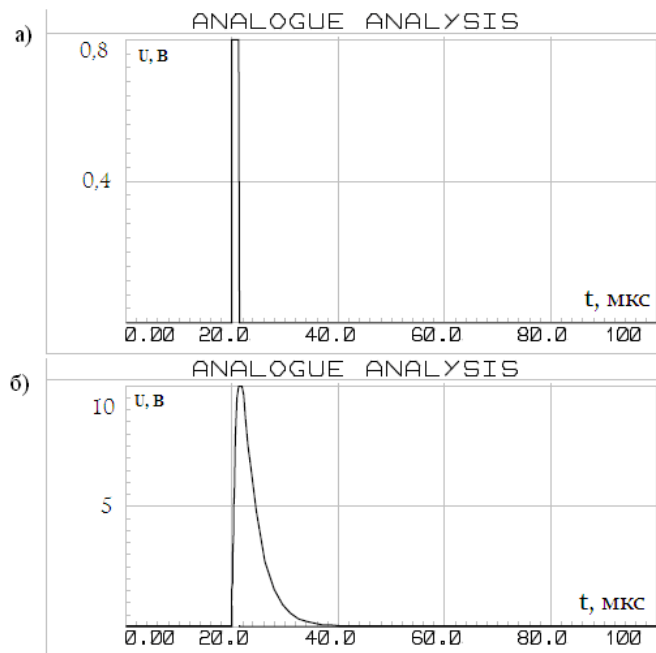


Рис. 2. Результаты моделирования сигнала светодиода без образца, зависимость величины выходного напряжения схемы от времени а – вид сигнала, поступающего на вход усилительного каскада схемы, б – вид сигнала на выходе усилительного каскада схемы

Нами составлены уравнения, описывающие процессы дезактивации триплетных состояний люминесцентного зонда, находящегося в водной фазе и в глобуле белка. Системы дифференциальных уравнений составлены на основании формализма химической кинетики с учетом неоднородного распределения люминесцентных зондов в микрогетерогенной белковой среде.

Уравнения дезактивации люминесцентного зонда – эозина в растворе сывороточного альбумина человека без тяжелых металлов в глобулярной микрофазе:

$$d(\text{MA}^T)/dt = -k_-[\text{MA}^T] + k_+[\text{A}^T][\text{M}] - k_{\text{мон}}[\text{MA}^T] \quad (1)$$

и водной макрофазе:

$$d(\text{A}^T)/dt = -k_+[\text{A}^T][\text{M}] + k_-[\text{MA}^T] - k_{\text{дез}}^B[\text{A}^T] \quad (2)$$

где $[MA^T]$ концентрация молекул зонда – эозина в триплетном состоянии в глобуле белка (10 мкМ), $[A^T]$ – в водной макрофазе (0.1 мкМ), k_- , k_+ константа скорости выхода (400 c^{-1}) и входа ($6,9 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$) молекул зонда в глобулу белка соответственно, $[M]$ – концентрация глобул белка (3.8 мкМ), $k_{\text{мон}}$ – константа мономолекулярных процессов дезактивации энергии электронного возбуждения акцептора – эозина в триплетном состоянии в глобулярной микрофазе, $k_{\text{дез}}^B$ – константа дезактивации триплетных состояний в воде (1300 c^{-1}).

Интенсивность флуоресценции зонда пропорциональна концентрации триплетных состояний молекул зонда, поэтому решение кинетических уравнений позволяет получить в итоге временную зависимость интенсивности флуоресценции зондов. Моделирование кинетики затухания флуоресценции люминесцентного сенсора осуществлялось в среде Matlab. Анализ временных зависимостей интенсивности флуоресценции эозина (рис. 3) позволил установить, что на характер дезактивации наибольшее влияние оказывают увеличение концентрации эозина в глобуле белка $[MA^T]$ и уменьшение концентрации эозина в водной макрофазе $[A^T]$. Изменяя константу скорости мономолекулярных процессов $k_{\text{мон}}$ в интервале ($200 - 320$) c^{-1} , получено семейство зависимостей, по форме близких к экспоненциальным.

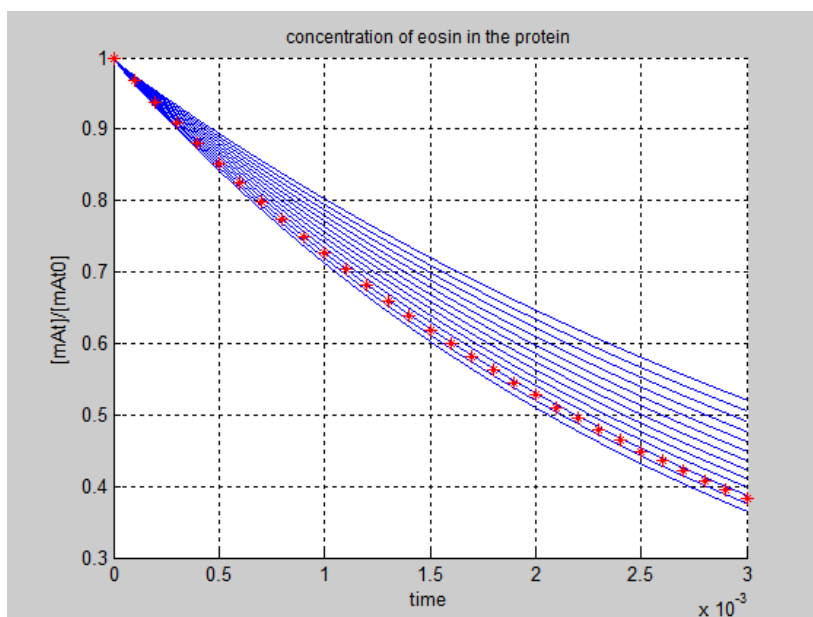


Рис. 3. Моделирование кинетики затухания флуоресценции молекул зондов, находящихся в глобулярной фазе

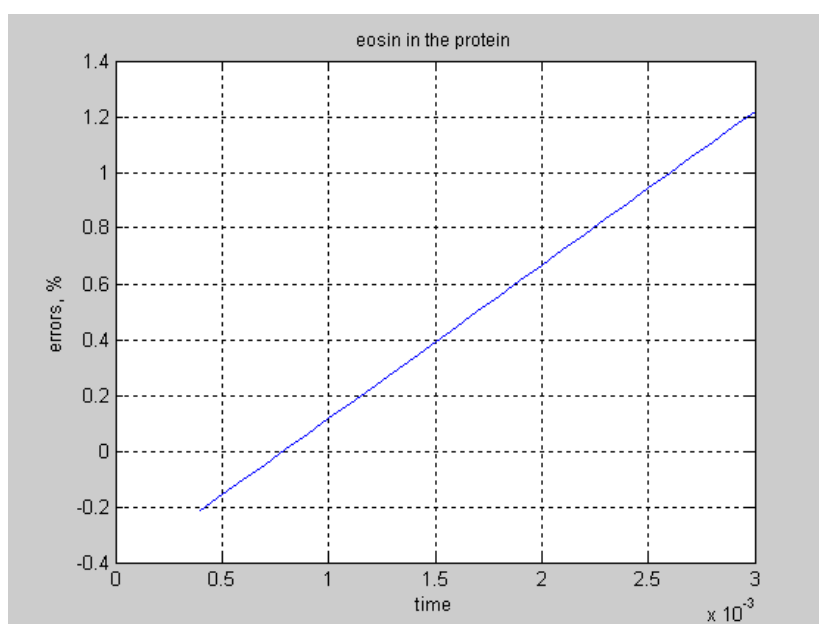


Рис. 4. Погрешность определения константы скорости мономолекулярных процессов

Экспериментально полученные временные зависимости интенсивности фосфоресценции водных растворов биосенсора на основе САЧ + эозин (на рис. 3 выделено «*») максимально приближены (с наибольшей погрешностью 1,2% рис. 4) к результатам моделирования при $k_{\text{МОН}} = 300 \text{ с}^{-1}$. Следовательно, принимаем значение константы скорости дезактивации триплетных состояний равной 300 с^{-1} .

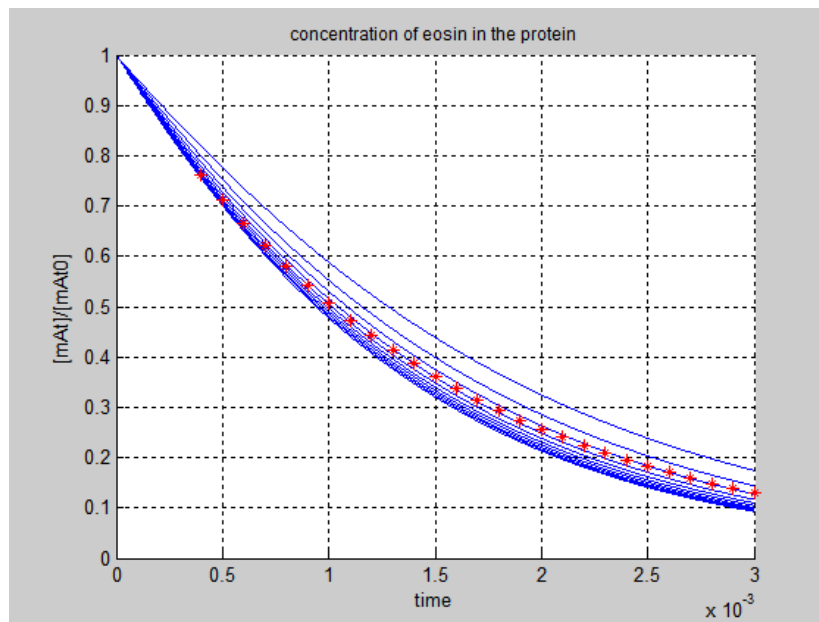


Рис. 5. Моделирование кинетики затухания фосфоресценции молекул зондов, находящихся в глобулярной фазе, в присутствии ионов тяжелых металлов

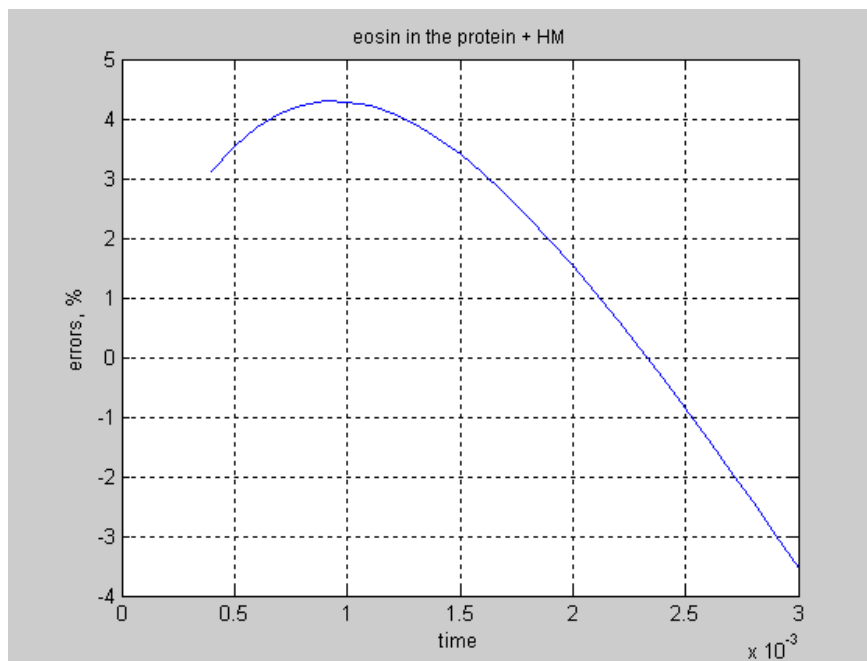


Рис. 6. Погрешность определения константы скорости тушения тяжелыми металлами триплетных состояний эозина в глобулах белка

Нами исследованы процессы тушения триплетных состояний зондов в белках в присутствии ионов тяжелых металлов. Скорость затухания фосфоресценции молекул зондов, находящихся в глобулярной и водной фазах, в присутствии ионов тяжелых металлов, а также процесс входа тяжелых металлов в глобулу белка и выхода из глобулы можно представить следующими уравнениями:

$$-d(mA^T)/dt = k_-[mA^T] - k_+[A^T][M] + k_{\text{МОН}}[mA^T] + k_{\text{ТМ}}[mA^T][MTI^+] + k_{\text{QM}}[mA^T][Q] \quad (3)$$

$$-d[A^T]/dt = k_+[A^T][M] - k_-[mA^T] + k_{\text{ТВ}}[A^T][TI^+] + k_{\text{QB}}[A^T][Q] \quad (4)$$

$$([d(mTI^+)/dt] = k_{\text{ВХ}}[M][TI^+] - k_{\text{ВЫХ}}[mTI^+]) \quad (5)$$

где $[MA^T]$ концентрация молекул зонда – озина в триплетном состоянии в глобуле белка (10 мкМ), $[A^T]$ – в водной макрофазе (0.1 мкМ), $[MT^+]$ – концентрация молекул тушителя в глобуле белка (0,01 М), k_-, k_+ – константа скорости выхода (400 с^{-1}) и входа ($6,9 \cdot 10^9 \text{ М}^{-1} \text{ с}^{-1}$) молекул зонда в глобулу белка соответственно, $[M]$ – концентрация глобул белка (3.8 мкМ), k_{TM} – константы скорости тушения триплетных состояний молекул зонда таллием ($6 \cdot 10^3 \text{ М}^{-1} \text{ с}^{-1}$), k_{TV} – константа скорости тушения триплетных состояний озина в водной среде, $k_Q^M[Q]$ – псевдомономолекулярная константа скорости тушения примесями, преимущественно это концентрация остаточного кислорода в белковой микрофазе, $k_Q^B[Q]$ – псевдомономолекулярная константа скорости тушения примесями в водной микрофазе, $[Q]$ – концентрация кислорода, $[T^+]$ – концентрация молекул тушителя в водной среде 0,01 М, $k_{вх}, k_{вых}$ – константа входа ($\sim 10^9 \text{ М}^{-1} \text{ с}^{-1}$) ионов таллия в глобулярную микрофазу и выхода ($\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$) в водную макрофазу.

Используя скорректированное ранее значение $k_{мон} = 300 \text{ с}^{-1}$, а также изменяя константу скорости тушения триплетных состояний озина в k_{TI}^B получено семейство зависимостей, по форме близких к экспоненциальным. Экспериментальные данные для водных растворов САЧ + озин + ТМ (на рис. 5 выделено «*») максимально приближены к результатам моделирования при $k_{TI}^B = 3,2 \cdot 10^6 \text{ М}^{-1} \text{ с}^{-1}$ с наибольшей погрешностью 4,3% рис. 6.

Скорректированное таким образом значение константы скорости тушения триплетных состояний озина k_{TI}^B позволяет получить более достоверное значение концентрации тяжелых металлов в исследуемых растворах при учете неоднородности распределения молекул тушителя в исследуемом растворе САЧ.

Погрешность при определении наличия ионов тяжелых металлов с помощью предложенного люминесцентного сенсора складывалась из суммы неисключенных остатков систематической и случайной погрешностей. Неисключенная систематическая погрешность обуславливается: погрешностью приготовления растворов (взятие навески, ее растворение, разбавление растворов) погрешностью определения констант скорости затухания фосфоресценции методами математического моделирования, погрешностью прибора – импульсного фосфориметра; погрешностью построения градуировочных графиков, погрешностью измерения. Случайная погрешность обуславливается погрешностями, случайно изменяющимися при повторных измерениях одной и той же величины. Таким образом, результирующая погрешность не превышает $\pm 25 \%$, что соответствует требованиям ГОСТ 17.1.3.07-82.

Наумова Екатерина Викторовна – аспирант кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ekaterina V. Naumova – Postgraduate Department of Instrument Making Gagarin Saratov State Technical University

Мельников Геннадий Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Прикладная физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennadii V. Melnikov – Dr. Sc., Professor Department of Applied Physics Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила 17.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.923

Д.В. Козлов, М.В. Виноградов, В.А. Добряков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ВАЛОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЯМ

Приводятся результаты экспериментальных исследований с целью определения оптимального периода правки шлифовального круга по автокорреляционным функциям виброакустических колебаний.

Шлифовальный круг, виброизмерительный прибор, динамическая система, правка шлифовального круга

D.V. Kozlov, M.V. Vinogradov, V.A. Dobryakov

**EXPERIMENTAL RESEARCH INTO THE GRINDING PROCESS OF SHAFTS
FOR IDENTIFICATION OF THE DYNAMIC SYSTEM OF A MACHINE
BY THE VIBROACOUSTIC FLUCTUATIONS**

The article presents the experimental data in order to identify the optimal frequency of a wheel dressing using the autocorrelation functions of vibroacoustic fluctuations.

Grinding wheel, vibro-measurement device, dynamic system, wheel dressing

Целью эксперимента являлось определение запаса устойчивости динамической системы круглошлифовального станка Weiss WKG-05 для повышения производительности шлифования путем оптимизации периода правки шлифовального круга [1]. В соответствии с выводами М.М. Аршанского, наилучшее качество обработки достигается при большем запасе устойчивости динамической системы станка (ДС). В данном случае предлагается оценка запаса устойчивости по показателю колебательности M_{\max} , определяемому из амплитудно-частотной характеристики ДС (для детерминированных систем $M_{\max} = 1.1 \dots 1.5$) [2, 3].

Для измерений использовались комплект виброизмерительной аппаратуры ВШВ-003М3 с датчиком ДН-3, фиксирующим виброускорение в диапазоне 1...4000 Гц, компьютер типа Notebook. Вибродатчик устанавливался с помощью магнитных опор вблизи зоны резания, т.к. именно в зоне резания вибрации имеют наиболее информативный характер (рис. 1).

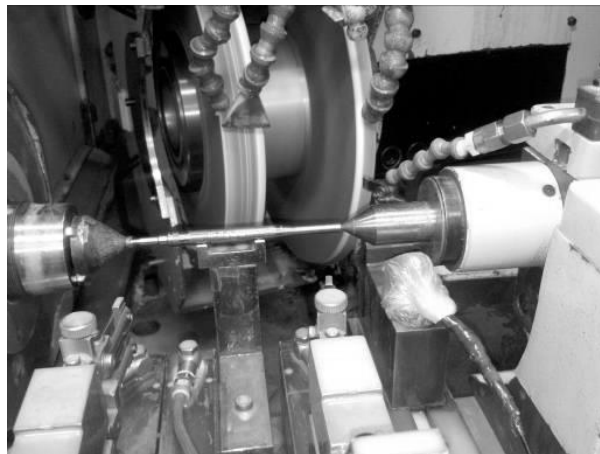


Рис. 1. Вибродатчик ДН-3, установленный вблизи зоны резания

Также обработанные валы измерялись на автоматизированном вихретоковом приборе ПВК-К2М, позволяющем выявлять неоднородность структуры поверхностного слоя (прижоги и ряд других дефектов) валов [4]. Для определения микрогеометрических характеристик использовались кругломер Talysong 131 и профилограф Homel tester T1000. Результаты измерений показаны в табл. 1 [1].

Измерения виброакустических колебаний выполнялись при постоянных значениях режима резания: скорость вращения шпинделя детали 600 об/мин, скорость вращения шпинделя шлифовального круга 2000 об/мин, припуск на шлифование 0,1 мм, подача круга при окончательном шлифовании – 0,2 мм/мин.

До эксперимента правка шлифовального круга выполнялась через каждые 30 обработанных валов. Таким образом, необходимо было определить целесообразность периодичности правки с точки зрения запаса устойчивости. На рис. 3 показаны автокорреляционные функции (АКФ), полученные по вибрационным характеристикам шлифовального станка Weiss WKG-005 с помощью программы Matlab.

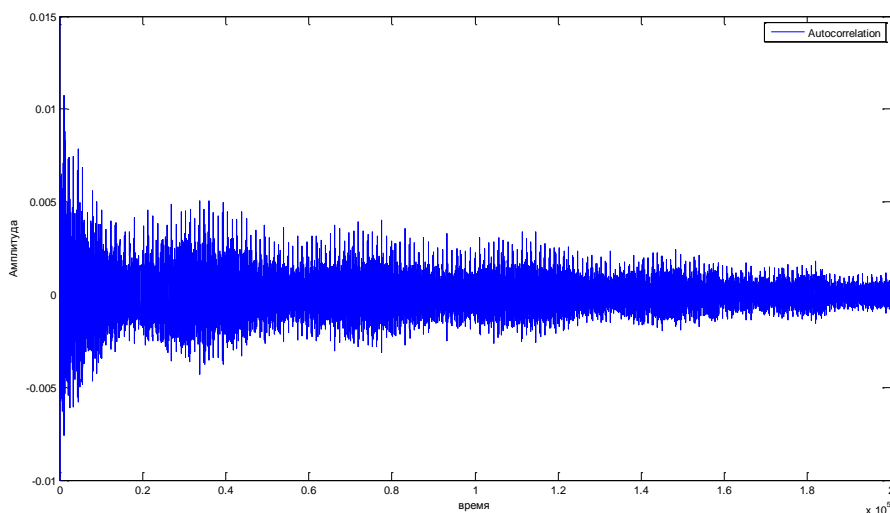
Для аппроксимации АКФ используется формула [5]

$$K(\tau) = A \cdot e^{-\alpha\tau} (1 + m \cos \Omega\tau) \cos \omega_0\tau \quad (1)$$

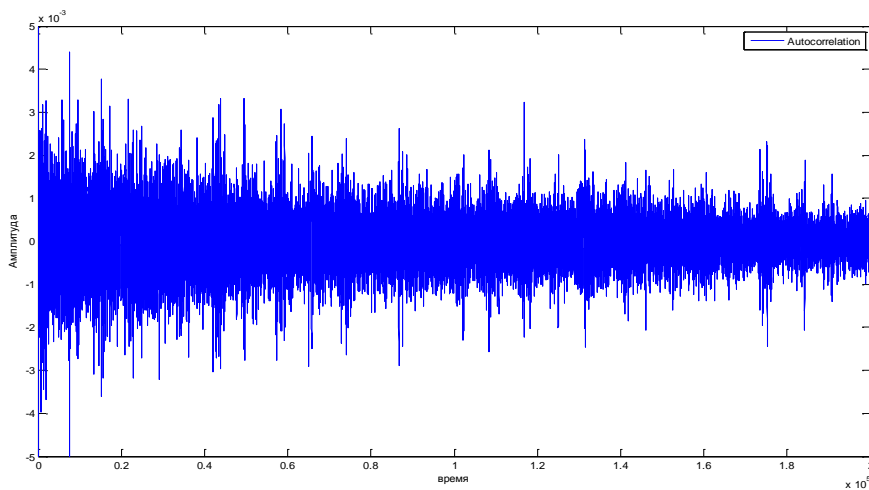
где A – постоянный коэффициент, α – коэффициент затухания, Ω – частота огибающей АКФ, ω_0 – основная частота АКФ, m – коэффициент модуляции, τ – время.

Результаты измерений микрогеометрических характеристик валов

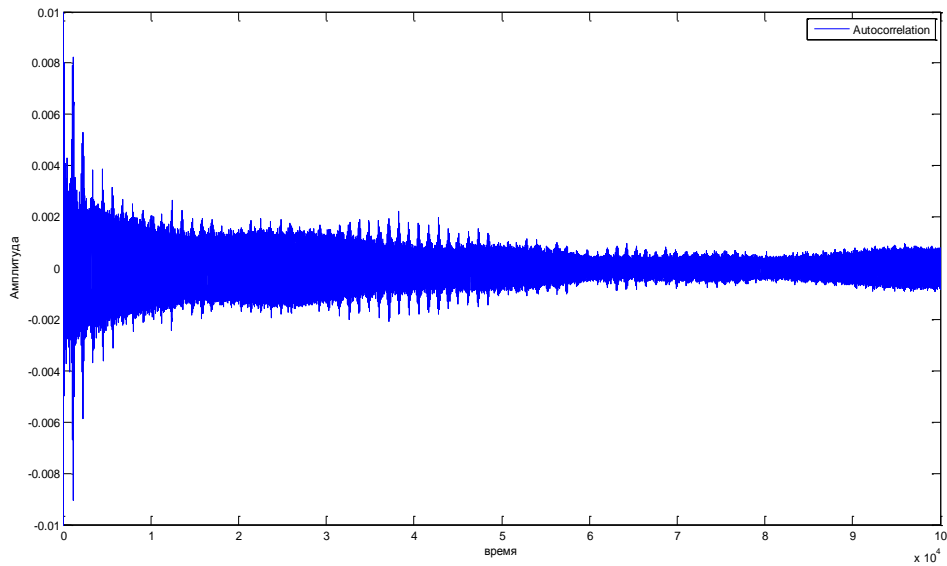
№ обработанного вала	Допуск по некруглости, мкм	Фактический результат по некруглости, мкм	Допуск по шероховатости, Rz, мкм	Фактический результат по шероховатости Rz, мкм
1	5	1,07	4,5	1,53
2	5	1,09	4,5	1,59
3	5	1,08	4,5	1,65
17	5	1,21	4,5	1,72
18	5	1,2	4,5	1,74
19	5	1,24	4,5	1,79
35	5	1,15	4,5	1,85
36	5	1,23	4,5	1,87
37	5	1,22	4,5	1,88
50	5	2,71	4,5	3,42
51	5	2,79	4,5	3,46
52	5	2,87	4,5	3,5
76	5	2,95	4,5	3,71
77	5	3,11	4,5	3,84
78	5	3,16	4,5	3,97
85	5	3,32	4,5	4,51
86	5	3,52	4,5	4,64
87	5	3,65	4,5	4,77



а



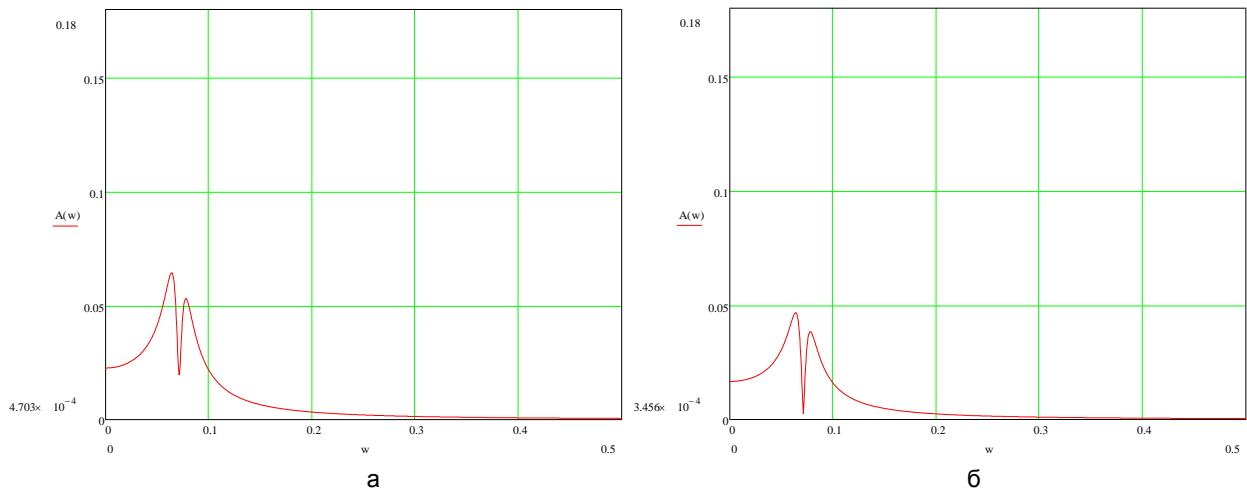
б



В

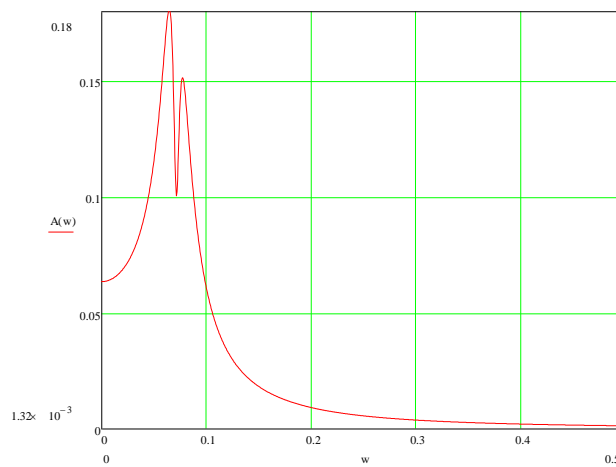
Рис. 2. Автокорреляционные функции обработанных валов: а – вал №30, б – вал №62, в – вал № 76

Из АКФ рассчитываются соответствующие передаточные функции ДС для различных деталей. Затем из передаточных функций вычисляются амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). На рис. 4 представлены АЧХ, полученные на основе АКФ:



а

б



в

Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики ДС при шлифовании валов: а – вал №30, б – вал №62, в – вал № 76

Далее вычисляется показатель колебательности M_{\max} , характеризующий запас устойчивости ДС при шлифовании. Для вала №30 показатель колебательности составляет 2,6, для вала №62 – 2,5, для вала №76 – 3. Таким образом, видна тенденция к увеличению показателя колебательности с каждым последующим обработанным валом. На рис. 4 представлен алгоритм обработки информации для определения периодичности правки шлифовального круга.

После определения оптимальной периодичности правки данные, параллельно с корректировкой программы станка, поступают в систему мониторинга технологического процесса (СМТП).

Анализ полученных результатов показал, что имеется тенденция к неустойчивому состоянию системы, начиная с вала, обработанного 76-м по счету после первичной правки шлифовального круга.

По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод, что с точки зрения запаса устойчивости нет смысла делать правку шлифовального круга через каждые 30 обработанных валов (как это заложено в существующем техпроцессе). Исходя из полученных значений показателей колебательности, рациональнее осуществлять правку через каждые 76 обработанных валов, основываясь также на результатах измерений микрогеометрических параметров и состояния поверхностного слоя валов, экономя таким образом дорогостоящий алмазный инструмент и увеличивая производительность за счет сокращения временных затрат на правку шлифовального круга.

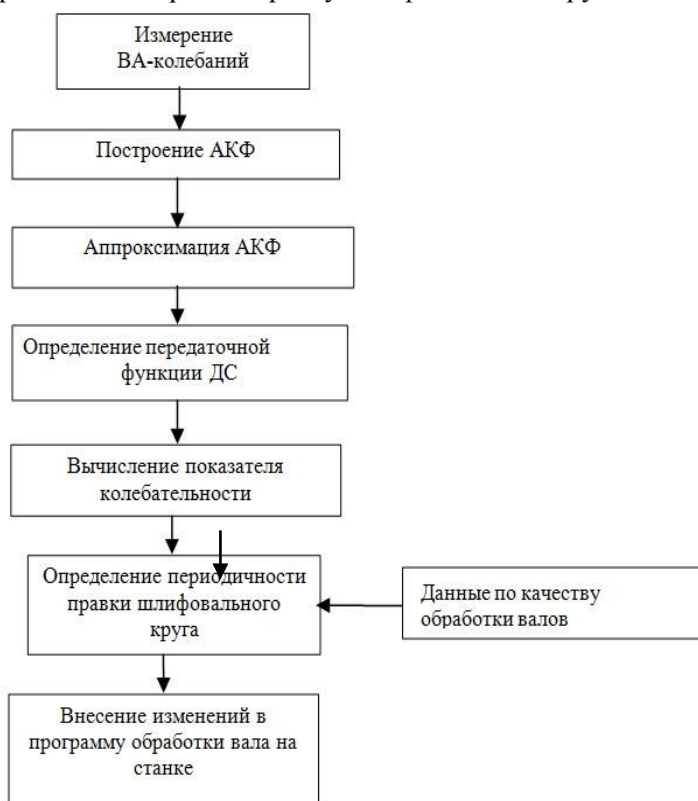


Рис. 4. Алгоритм обработки информации для определения периодичности правки шлифовального круга

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Д.В. Экспериментальное исследование частоты правки шлифовального круга / Д.В. Козлов, А.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. 2011. №2 (56). С. 80-84.
2. Аршанский М.М. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках / М.М. Аршанский, В.П. Щербаков. М.: Машиностроение, 1988. 136 с.
3. Каракозова В.А. Выбор подачи круга для обеспечения качества обработки колец подшипников на основе идентификации динамической системы шлифовального станка / В.А. Каракозова // Вестник СГТУ. 2011. №2(56). С. 69-73.
4. Козлов Д.В. Экспериментальное исследование шлифованных валов вихретоковым методом / Д.В. Козлов, А.А. Игнатъев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. №3 (58). С. 65-67.
5. Игнатъев А.А. Экспериментально-аналитическое определение передаточной функции динамической системы токарного станка при резании / А.А. Игнатъев, В.В. Коновалов, Т.В. Соколова // Вестник СГТУ. 2011. №2 (58). С. 53-57.

Козлов Дмитрий Викторович – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Dmitry V. Kozlov – Postgraduate
Department of Automation and Technological Processes Management,
Gagarin Saratov State Technical University

Виноградов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Michael V. Vinogradov – Ph.D., Associate Professor
Department of Automation and Technological Processes Management,
Gagarin Saratov State Technical University

Добряков Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir A. Dobryakov – Ph.D., Associate Professor
Department of Automation and Technological Processes Management,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 04.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 681.5

И.А. Рожков, С.А. Игнатъев, В.А. Иващенко

ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ

Рассматривается задача выбора архитектуры искусственной нейронной сети для распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников. Разработан алгоритм выбора архитектуры сети, позволяющий уменьшить ошибку распознавания.

Дефекты поверхностного слоя деталей подшипников, распознавание дефектов, искусственные нейронные сети

I.A. Rozhkov, A.A. Ignatiev, V.A. Ivaschenko

SELECTING THE ARCHITECTURE OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DIAGNOSE THE DEFECTS IN THE BEARINGS BLANKETS

The article considers the issue related with the selection of the artificial neural network architecture used to diagnose the defects in the bearing blankets. A new algorithm has been developed to select the architecture of a network which reduces the recognition error.

Defects of a blanket of the bearing details, recognition of defects, an artificial neural network

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются универсальным инструментом в задачах кластеризации, распознавания, прогнозирования и управления [1]. Одной из областей их эффективного использования является распознавание дефектов, в том числе поверхностного слоя деталей подшипников на основе анализа сигнала, получаемого путём сканирования вихретоковым датчиком поверх-

ности детали после финишных стадий обработки, которые, как правило, осуществляются с помощью шлифования [2].

Факторы, влияющие на качество поверхностного слоя деталей подшипников, носят сложный характер [2]. Поэтому построение адекватной математической модели процесса шлифования деталей, позволяющей с достаточной точностью предсказать появление и идентифицировать тип дефекта, затруднено. Это обусловлено условиями производства – технологией обработки деталей, характеристиками используемого оборудования и рядом других факторов [3].

Именно в таких случаях оправдано использование систем искусственного интеллекта, в том числе ИНС [4], позволяющих с наибольшей достоверностью обнаружить дефекты в обработанных деталях и идентифицировать их тип. Однако эффективность распознавания дефектов в деталях при этом достигается при надлежащем выборе архитектуры ИНС и процесса ее обучения.

В статье предложен алгоритм выбора архитектуры ИНС для распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников, обеспечивающий эффективное решение поставленной задачи (рис. 1). Данный алгоритм основан на определении архитектуры ИНС – количества скрытых слоёв и узлов в них, позволяющей повысить качество распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников.

На первом этапе работы алгоритма задаётся ИНС минимальной архитектуры (рис. 2), включающей один входной, один внутренний и один выходной слой. Количество узлов во входном и выходном слоях соответственно равно числу признаков, используемых для распознавания дефектов, и числу распознаваемых дефектов.

На втором этапе работы алгоритма присваиваются начальные значения весовым коэффициентам синаптических связей ИНС, после чего происходит ее обучение.

Для обучения ИНС используется комбинированный алгоритм, объединяющий метод обратного распространения ошибки [1] с одним из статистических методов, в качестве которого используется метод Коши [6]. Такое объединение обеспечивает достаточно быстрое обучение сети и исключает попадание ошибки обучения в локальные минимумы.

Коррекция весовых коэффициентов в комбинированном алгоритме включает: направленную компоненту, вычисляемую на основе алгоритма обратного распространения ошибки, и случайную компоненту, определяемую с помощью распределения Коши [6]. Коррекция коэффициентов выполняется по соотношению

$$w_{ij}^{(n)}(t) = w_{ij}^{(n)}(t-1) + \alpha \Delta w_{ij}^{(n)}(t) + (1-\alpha) x_c^{(n)}(t),$$

где $w_{ij}^{(n)}(t)$ – весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей i -й нейрон слоя $n-1$ с j -м нейроном слоя n на шаге t ; $w_{ij}^{(n)}(t-1)$ – весовой коэффициент на предыдущем $t-1$ -м шаге; $\Delta w_{ij}^{(n)}(t)$ – коррекция весового коэффициента, вычисленная по методу обратного распространения ошибки; α – коэффициент скорости обучения сети, $0 < \alpha < 1$; $x_c^{(n)}(t)$ – коррекция весового коэффициента, осуществляемая по методу Коши.

Поведение нейронной сети зависит как от значений весовых коэффициентов, так и от вида функции активации, которая является передаточной функцией [1], преобразующей входной сигнал нейрона в выходной. В качестве активационной принята сигмоидальная функция.

Для обучения ИНС использована обучающая выборка по 5 типам дефектов, общее количество дефектов в выборке 45 (таблица). Тестирование обученной ИНС производится на тестовом наборе данных из 84 дефектов.

В качестве показателя, определяющего качество работы ИНС, принята ошибка распознавания дефектов. На ошибку распознавания, при прочих равных условиях (архитектура ИНС, алгоритм обучения, обучающая выборка и тестовая выборка), большое влияние оказывают начальные значения весовых коэффициентов. Для уменьшения этого влияния проводится большое количество экспериментов (в данном случае 100 экспериментов) с различными начальными значениями весовых коэффициентов. После завершения экспериментов вычисляется значение средней ошибки распознавания по ним.

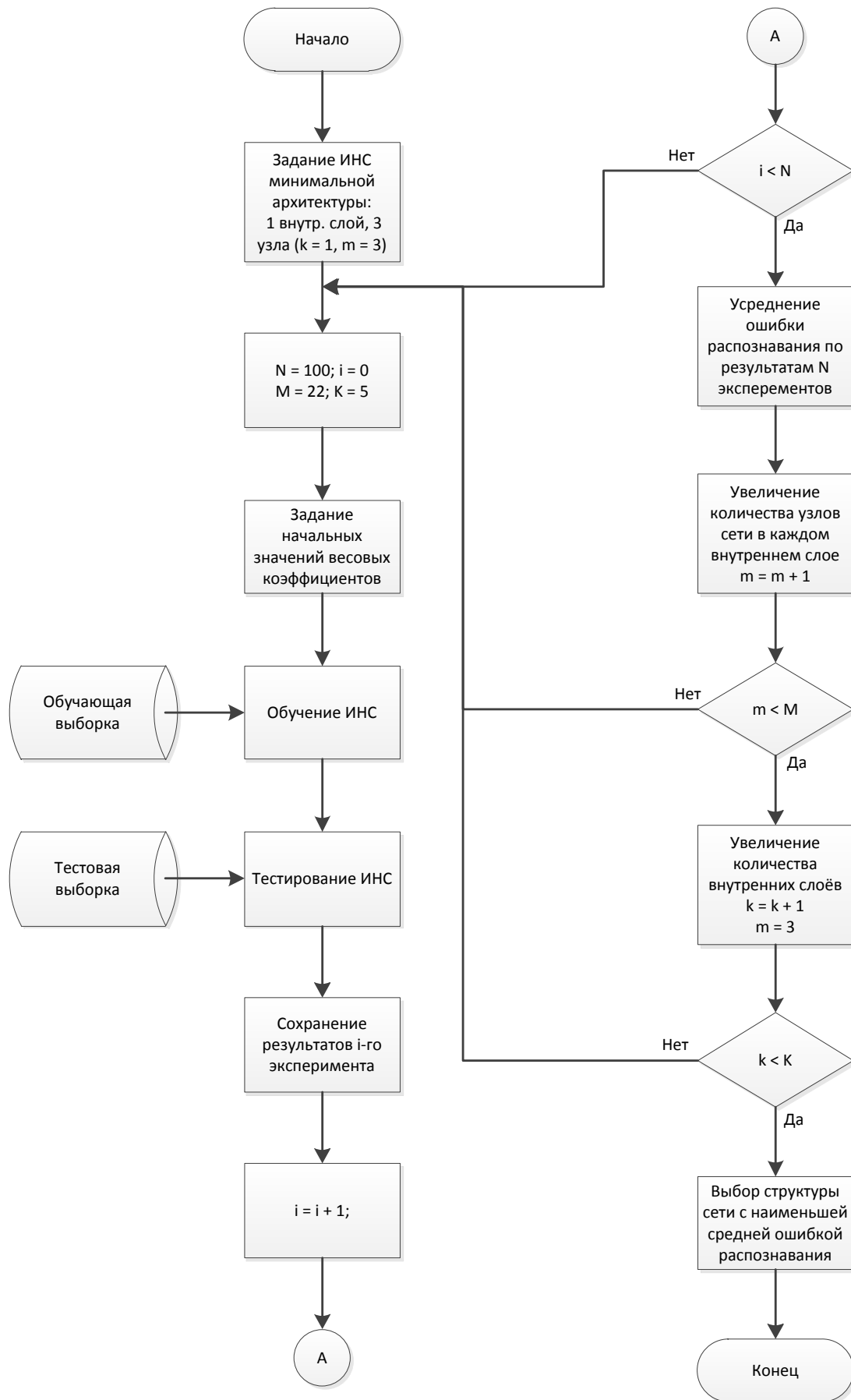


Рис. 1. Выбор архитектуры искусственной нейронной сети для распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников

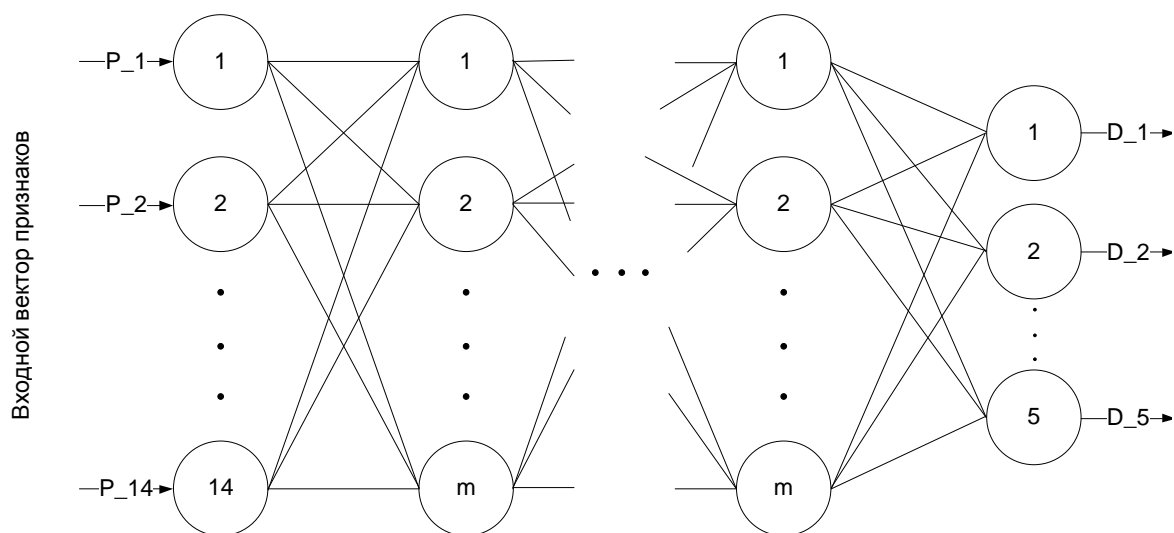


Рис. 2. Базовая архитектура искусственной нейронной сети:
 P_1, \dots, P_{15} – входные признаки распознавания; D_1, \dots, D_5 – распознаваемые дефекты

Распределение количества дефектов по типам

Тип дефекта	Количество дефектов в обучающей выборке	Количество дефектов в тестовом наборе
1. Забоина	9	17
2. Трещина закалочная	10	16
3. Метальная трещина	13	22
4. Шлифовальная трещина	8	16
5. Пятнистый прижог	7	13

Далее задается новая архитектура ИНС путём увеличения количества узлов в скрытых слоях и количества самих скрытых слоёв. Количество узлов во внутренних слоях варьируется в пределах от 3 до 21, а число самих скрытых слоёв – от 1 до 4.

По завершении перебора указанных выше слоёв и узлов в пределах заданных диапазонов вычисляются оценки средних ошибок распознавания по всем исследованным архитектурам ИНС (рис. 3).

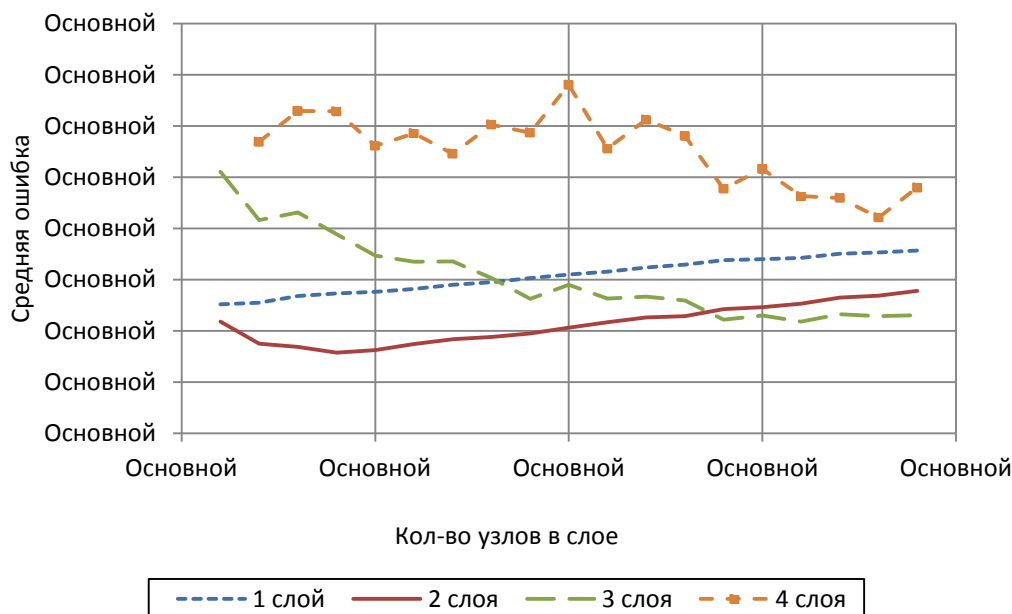


Рис. 3. График средней ошибки распознавания дефектов

Из анализа результатов исследования, представленных на рис. 3, видно, что наименьшая ошибка распознавания соответствует ИНС, содержащей 2 скрытых слоя и 6 узлов в каждом из них. При количестве скрытых слоёв более 4 ошибка распознавания увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2004. 344 с.
2. Рожков И.А. Совершенствование процесса распознавания дефектов шлифованных поверхностей колец подшипников / И.А. Рожков, А.А. Игнатьев, В.А. Иващенко // Вестник СГТУ. 2011. №2 (56). С. 257-264.
3. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Суслов. М.: Машиностроение, 1987. 207 с.
4. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатьев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов, В.А. Добряков, С.А. Игнатьев. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.
5. Рожков И.А. Идентификация дефектов поверхностного слоя деталей подшипников с помощью искусственной нейронной сети / И.А. Рожков, В.А. Иващенко // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Саратов, 2010. Т. 1. С. 72-74.
6. Руденко О.Г. Исследование методов обучения многослойного перцептрона / О.Г. Руденко, А.А. Шамраев, К.А. Лавренченко // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. Харьков, 2002. С. 4-9.

Рожков Игорь Александрович – аспирант кафедры «Автоматизация технологических процессов в производстве» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor A. Rozhkov – Postgraduate
Department of Automation and Technological Processes Management, Gagarin Saratov State Technical University

Иващенко Владимир Андреевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем точной механики и управления, г. Саратов

Vladimir A. Ivaschenko – Dr. Sc., Leading Researcher:
Institute of Precision Mechanics and Control of Russian Academy of Sciences, Saratov

Игнатьев Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов в производстве» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Stanislav A. Ignatyev – Dr. Sc., Professor
Department of Automation and Technological Processes Management, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 17.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 658.012.011.56:658.512

Г.М. Чуркин, А.М. Великанов, Е.А. Тырин

ФОРМИРОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧЕ ВЫБОРА КОНФИГУРАЦИИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АСУ ТП

Рассматривается построение конечного множества конфигураций в задаче выбора конфигурации иерархической структуры технических средств АСУ ТП. Приводится постановка задачи построения конечного множества конфигураций. Описывается методика формирования конфигураций структур иерархического вида.

Структура системы управления, задачи выбора

G.M. Churkin, A.M. Velikanov, E.A. Tyrin

DEVELOPING ALTERNATIVES FOR THE HIERARCHICAL STRUCTURE OF A HARDWARE CONFIGURATION IN THE AUTOMATIC PROCESS CONTROL SYSTEM

The article deals with the construction of a finite set of configurations when selecting the configuration hierarchy in the automatic process control systems. The chal-

lenging issue is related with the construction of the finite set of configurations. A method for the formation of structures with a hierarchical configuration is presented.

The structure of the control system, the problem of choosing

Ведение. Определение структуры технических средств реализуется на этапе «Формирование техники и технологии управления» разработки административной системы управления технологическим процессом (ТП) [5]. В документах по проектированию административно-управленческой системы ТП отражены все функции административного персонала по преобразованию информации при формировании управления ТП. Технические средства автоматизации этих функций могут быть персональными или общего пользования (в рамках какой-либо системы). Далее будем рассматривать случай общего пользования.

Для определения элементов структур в качестве главных функций будем рассматривать оценку состояния ТП (*контроль*) и формирование управляющих воздействий (*управление*) информационным путём. В *управлении* при формировании альтернатив в качестве подфункции будем рассматривать *координацию*.

Конкретное содержание функции раскрывается совокупностью составляющих ее задач контроля и управления, которые являются структурообразующим элементом для состава организационных элементов системы управления [6].

Эти задачи реализуют информационным способом работами по преобразованию информации:

- получения информации;
- преобразование формы;
- передачи;
- получение новой информации (обработка);
- хранения;
- преобразование информации в действие.

Приведём техническую реализацию перечисленных информационных работ для их автоматизации [7]:

- получение информации – датчики различной природы;
- преобразование формы – нормирующие преобразователи и средства отображения информации;
- передачи – устройства приёма и передачи, коммутации, каналы связи;
- получение новой информации (обработка) – контроллеры, ЭВМ;
- хранения – базы данных, серверы;
- преобразование информации в действие – исполнительные устройства различной природы.

Среди разнообразных по виду структур технических средств рассмотрим иерархические структуры. Элементы какого-либо уровня этой иерархической структуры выполняют какую-либо информационную работу главных функций системы управления. Конфигураций иерархической структуры может быть конечное число, из которых можно выделить по каким – либо требованиям конкретные конфигурации, участвующие в задаче выбора.

Задача выбора является частным случаем задачи принятия решения [1]. Одним из основных элементов задач выбора является исходное конечное множество альтернатив [2,3]. В нашем случае альтернативами являются иерархические конфигурации структуры системы (топология физическая). Элементами конфигурации будут элементы структуры, взаимодействия (связи) и отношения между ними.

В качестве средств описания структур используются графические, матричные и аналитические модели графа [4]. В дальнейшем под моделью обобщенных структур будем использовать графическую модель графа.

В работах по структурному синтезу в качестве альтернатив рассматривают физические элементы системы [2, 3]. Связи между элементами не рассматриваются. Виды конфигураций структур либо не заданы [2] и это означает, что свойства структуры (системы), получаемые от организации взаимодействий элементов, не учитываются, либо конечное множество конфигураций задано [3], а вопрос полноты этого множества остаётся открытым.

Рассмотрим формирование альтернатив в задаче выбора конфигурации иерархической структуры технических средств АСУ ТП

Постановка задачи

Пусть S_k альтернатива, как k -я модель структуры системы управления ТП, описывается ориентированным графом

$$G_k = (X_k, R_k), \quad (1)$$

где множество вершин X_k разбито на совокупность непересекающихся *подмножеств* $X_k^0 \cup X_k^1 \dots \cup X_k^i \dots \cup X_k^N$, а из существования дуги $r_k = (x_{\beta k}^i, x_{\mu k}^{i-1})$ следует, что инцидентные дуге вершины принадле-

жат разным подмножествам, т.е. $x_{\beta k}^i \in X_k^i$; $x_{\mu k}^{i-1} \in X_k^{i-1}$; $X_k^i, X_k^{i-1} \subseteq X_k$ и $X_k^i \neq X_k^{i-1}$. Подмножества вида X_k^i принято называть уровнями (долями) графах [4, 8]. Из определения следует, что все уровни являются независимыми множествами вершин.

Вершины X^i иерархического графа (1) являются технической реализацией различных функций или подфункций, реализуемых проектируемым объектом.

Заданы вершины нулевого уровня X^0_k . Это измерительные устройства (датчики) и исполнительные механизмы, которые преобразуют информацию в действие. Одновременно задан элемент (корень) верхнего уровня X^N_k , выполняющий функции оценки состояния объекта управления и функции стратегии и оперативного управления. На выбор элементов промежуточных уровней дополнительных условий (принуждение, необходимость, бинарный запрет на сочетание, двойное принуждение) на данном этапе разработки структуры не накладывают. Основное требование при выборе – выполнении подфункции, выполняемой на рассматриваемом уровне.

Дуги графа описывают взаимодействия между вершинами: структурные, управляющие, информационные и другие связи. В данном случае рассматриваем информационные связи контроля и управления. Допускается наличие кратных дуг: две вершины могут соединяться несколькими дугами.

Бинарное отношение взаимодействия R вершин i -го уровня с вершиной $i-1$ -го уровня или обратное ему бинарное отношение взаимодействия $(R)^{-1}$ вершин $i-1$ -го уровня в вершину i -го уровня при этом определяется как

$$x_{\mu k}^{i-1} R x_{\beta k}^i$$

где $x_{\beta k}^i \in X^i$, $x_{\mu k}^{i-1} \in X^{i-1}$ – вершины i -го и $i-1$ -го уровня соответственно; X_k^i, X_k^{i-1} – множества вершин i -го и $i-1$ -го уровня соответственно.

Отношения взаимодействия R^i между вершинами i -го уровня (рис. 1) определяются как

$$x_{\mu k}^i R^i x_{\beta k}^i$$

Связи классифицируются по тому, что они связывают:

$$R = R_1 \cup R_2; R_1 = \{x_{\mu k}^{i-1} R x_{\beta k}^i\}; R_2 = \{x_{\mu k}^i R^i x_{\beta k}^i\}; i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где $R_1 = \{x_{\mu k}^{i-1} R x_{\beta k}^i\}$ – множество вертикальных отношений (связей); $R_2 = \{x_{\mu k}^i R^i x_{\beta k}^i\}$ – множество горизонтальных отношений (связей);

Ориентация дуг в графе взаимодействий введена, чтобы определить смысловые роли в отношениях из множества $R_1 \cup R_2$. Например, в отношении «наследование между классами» дуги ориентированы в направлении от вершины-источника к вершине-приёмнику.

Далее каждая из R_i , $i = 1, 2$ можно разбить на типы в зависимости от способов взаимодействий инцидентных вершин:

$$R_1 = \bigcup_{k1=1}^{K1} R_{k1}^1, R_2 = \bigcup_{k2=1}^{K2} R_{k2}^2 \quad (3)$$

где $K1, K2$ – количество групп в группировках.

Например, из R_1 можно привести отношения типа «процедура-параметр», «функция-результат», «переменная-тип». К группам второго вида можно отнести отношения между вершинами: «предыдущее состояние – следующее состояние» или «включение» (информация (файл вершины) подставляется в файл другой вершины одного уровня).

Требуется определить конечное множество конфигураций (альтернатив) $S = \{S_1, \dots, S_k, \dots, S_n\}$ вида (1), как возможных вариантов базовых организационных структур. Модели базовых организационных структур должны различаться количеством уровней, количеством отношений взаимодействия между элементами двух соседних уровней и количеством отношений взаимодействия между элементами одного уровня (2), кроме нулевого и верхнего.

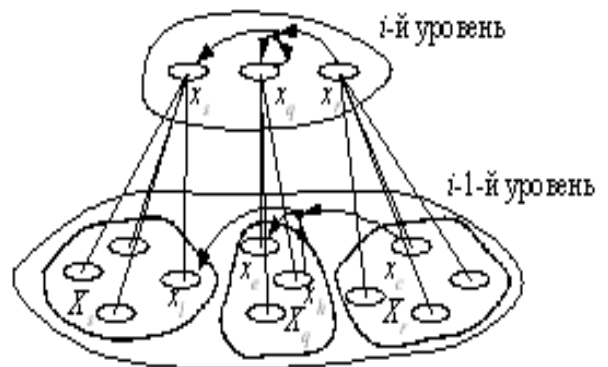


Рис. 1. Связи между вершинами одного уровня

Решение

Предлагается формирование альтернатив осуществить в два этапа. Первый этап – формирование обобщённого направленного графа как модели обобщённой структуры [8]. На втором этапе путём трансформации обобщённого графа по определённым правилам формируются различные виды альтернатив.

Подходы к формированию обобщённого графа

При формировании административно-управленческих структур используется согласованное формирование «сверху» и «снизу» [5]. В результате получаем иерархию производственных подразделений и деятельности персонала подразделений, необходимых для эксплуатации ТП. Это значит, что мы имеем иерархию функций, а значит и иерархию задач и работ. Аналогично для организационной структуры ТС АСУ ТП процесс формирования может происходить «сверху» и «снизу».

При структуризации «сверху» будем использовать признак принадлежности функции (как вида деятельности персонала) к элементам оборудования ТП. Иерархия элементов оборудования ТП представлена на рис. 2. Здесь оборудование рассматривается как элемент стадий ТП (операции), а каналы – как технические средства, необходимые для формирования информации и управляющих воздействий в ТП. Заметим, что оборудование может реализовывать несколько операций.

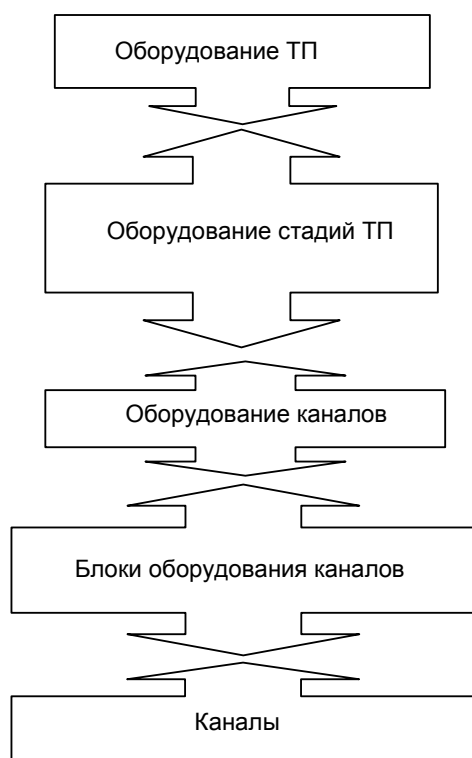


Рис. 2. Архитектура оборудования технологического процесса

определяется количеством стадий ТП. Если стадия одна, то необходимость в вершинах (технических средств) отпадает и уровень стадий совпадает с уровнем ТП.

Далее реализуется декомпозиция задач и информационных работ на уровне стадий для оборудования этих стадий. Для вершин предыдущего уровня оставляют задачи координации, управления (планирования), хранения информации. Количество вершин уровня оборудования определяется количеством оборудования (установок). Если оборудование для реализации стадии одно, то вершины стадии и оборудования можно объединить в одну вершину.

Аналогично реализуется декомпозиция задач и информационных работ на уровне оборудования стадий для блоков оборудования. Для вершин предыдущего уровня оставляют задачи координации, управления (оперативное), хранения информации. Вершины этого уровня реализуют:

- преобразование формы представления информации по каждому каналу;
- получение новой информации (обработка) по каждому каналу.

Максимальное количество вершин уровня блоков каналов оборудования определяется числом каналов и это число задано $i = \overline{1, \delta}$.

Поставим в соответствие подфункциям уровни обобщённого графа. При этом положим, что функции имеют единственное разделение на подфункции. Технические реализации подфункций представим в виде вершин. Пару вершин свяжем дугой тогда и только тогда, когда не существует запретов на реализацию взаимодействий в составе одного технического объекта или процесса. Дадим характеристику информационных работ, реализующих выполнение подфункций на уровнях обобщённого графа.

Технические средства корневой вершины графа (1) при отсутствии других уровней, кроме нижнего, реализуют следующие информационные работы по отношению к ТП:

- преобразование формы – нормирующие преобразователи и средства отображения;
- передачи – устройства приёма и передачи, коммутации, каналы связи;
- получение новой информации (обработка) – контроллеры, ЭВМ;
- хранения – базы данных, серверы;

В результате декомпозиции выделяются задачи и аналогичные информационные работы для стадий ТП. Корневой вершине оставляют задачи координации стадий, управления (планирования), хранения информации. Количество вершин этого уровня

Для реализации задач и информационных работ на уровне каналов оборудования необходимо реализовать следующие информационные работы:

- получение информации (датчики, устройства сигнализации, устройства защиты);
- преобразование информации в управляющие воздействия (исполнительные механизмы и другие преобразователи).

Технические средства для реализации этих информационных работ – вершины 0-го уровня графа. Множество этих вершин конечно и зависит от свойств канала, т.е. $X_k^0 = \{x_{ki}^0\}$, где k – номер альтернативы; $i = \overline{1, \mathcal{D}}$; 0-нулевой уровень.

Заметим, что в формировании обобщённой модели организационной структуры ТС АСУ ТП могут быть дополнительно заданы:

- отношения вершин i -го уровня не только с вершинами $i+1$ уровня, но и дополнительно с вершинами других уровней, исключая $i+1$ уровень;
- отношения между вершинами одного уровня, отношения в общем случае могут быть «один со всеми вершинами этого уровня» (рис. 1).

В результате подхода «сверху» с учётом задания дополнительных отношений получаем базовую модель организационной структуры ТС АСУ ТП.

При подходе «снизу» вершины (а значит и технические средства) 0-го уровня определяются из содержания работ канального уровня. Это средства для:

- получение информации (датчики, устройства сигнализации, устройства защиты);
- преобразование информации в управляющие воздействия (исполнительные механизмы и другие преобразователи).

В соответствии с сущностью подхода «снизу» необходимо наличие бинарных отношений канальных вершин (элементов) 0-уровня с вершиной 1-го уровня. Другими словами вводим элемент нового (1-го) уровня, который должен реализовывать в общем случае следующие информационные работы по отношению к каналу (композиция):

- преобразование формы – нормирующие преобразователи и средства отображения информации;
- передачи – устройства приёма и передачи, коммутации, каналы связи;
- получение новой информации (обработка) – контроллеры, ЭВМ;
- хранения – базы данных, серверы (необязательно).

В результате получаем конечное множество вершин блоков канального (1-го) уровня.

Вершины уровней оборудования, стадий, ТП формируются из необходимости реализации работ по координации работ вершин предыдущих уровней соответственно.

В результате подхода «снизу» с учётом задания дополнительных отношений, которые мы рассматривали при подходе «сверху», получаем базовую обобщённую модель организационной структуры ТС АСУ ТП.

Объединяя вершины уровней обобщённой модели, кроме 0-го и корневого, по определённым признакам (количеству, назначению и т.д.) и вводя или запрещая связи между вершинами различных уровней, получаем различные виды конфигураций организационных структур.

Методика формирования иерархических структур технических средств АСУ ТП

1. Провести анализ процессов формирования информации по оценке состояния, управления и защиты ТП.

2. Сформировать обобщённый граф.

Сверху

2.1в. Сформировать уровни обобщённого графа в соответствии с элементами оборудования ТП (рис. 2).

2.2в. Определить максимально возможное количество вершин каждого уровня. Каждая вершина каждого уровня – техническая реализация каких-либо подфункций. Максимальное количество вершин уровней ТП, стадий ТП, оборудования стадий, каналов (нулевой уровень) определяется содержанием ТП и задано. Максимальное количество вершин уровня блоков оборудования каналов равно количеству вершин нулевого уровня.

2.3в. Ввести отношения взаимодействия между вершинами разных уровней, учитывая отношения принадлежности (включения) между элементами.

2.4в. Ввести отношения взаимодействия между вершинами каждого уровня по правилу «один со всеми вершинами этого уровня», кроме вершин нулевого и верхнего уровней.

Снизу

2.1н. Выделить в процессах формирования информации по оценке состояния, управления и защиты ТП элементы, реализующие:

- получение информации (датчики, устройства сигнализации, устройства защиты);
- преобразование информации в управляющие воздействия (исполнительные механизмы и другие преобразователи). Эти элементы будут вершинами нулевого уровня обобщённого иерархического графа

2.2н. Сформировать уровень вершин уровня блоков оборудования каналов, соответствующих вершинами нулевого уровня. Используя отношения принадлежности и необходимость координации, установить отношения взаимодействия этих вершинами с вершинами нулевого уровня

2.3н. Сформировать последовательно максимальное количество вершин уровней оборудования, оборудования стадий, оборудования ТП. Используя отношения принадлежности и необходимость координации, установить отношения взаимодействия между вершинами соседних уровней.

2.4н. Ввести отношения взаимодействия между вершинами каждого уровня по правилу «*один со всеми вершинами этого уровня*», кроме вершин нулевого и верхнего уровней.

3. Реализовать трансформацию обобщённого графа, полученного в п.2.1в-2.4в или 2.1н-2.4н, путём объединения вершины и уровней, кроме 0-го и корневого, по определённым признакам (количеству, назначению и т.д.) и введения или запрета связей между вершинами одного и различных уровней.

Заключение. При формировании организационной структуры технических средств АСУ ТП для структуризации функций предлагается использовать признак *различных видов информационных работ в управлении технологическим процессом*.

Формирование элементов базовой обобщённой конфигурации организационной структуры технических средств определяется структуризацией работ информационных процессов.

Предлагается формирование альтернатив осуществить в два этапа. На первом этапе формируется обобщённый направленный граф. При структуризации «сверху» и «снизу» предлагается использовать признак *принадлежности функции (как вида деятельности) к элементам ТП*. Структуризацию «снизу» предлагается базировать на необходимости введения элементов вышележащих уровней, которые с элементами нижележащих уровней реализуют работы для выполнения главной функции от уровня к уровню. К этим работам рекомендуется относить различные работы по преобразованию информации (в том числе и получение управленческой информации) и работы по координации.

На втором этапе формирование множества конфигураций реализуется трансформация обобщённого графа путём объединения вершины уровней, кроме 0-го и корневого, по определённым признакам (количеству, назначению и т.д.) и введения или запрета связей между вершинами одного и различных уровней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. М.: Наука, 1982, 328 с.
2. Левин М.Ш. Проектирование и перепроектирование конфигурации оборудования коммуникационной сети / М.Ш. Левин, А.В. Сафонов // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006, № 4. С. 63-73.
3. Сафронов В.В. Методы оптимизации структур сложных систем / В.В. Сафронов. Саратов: СВВКИУ РВ, 1993, 94 с.
4. Зыков А.А. Основы теории графов / А. А. Зыков. М.: Наука, 1987. 384 с.
5. Структура управления организацией и факторы, её определяющие [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?dir=2&tutindex=3&index=51&layer=2
6. Созинов В.А. Исследование систем управления. Сайт цифровых учебно-методических материалов ВГУЭС // abc.vvsu.ru, [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://abc.vvsu.ru/Books/issled_sist_upr/default.asp
7. Краткий каталог продукции. Прософт 8.0. М.: ProSoft, 2002, -271 с.
8. Божко А.Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью / А.Н. Божко, А.Ч. Толпаров. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.techno.edu.ru:16001/db/msg/13845.html>

Великанов Андрей Михайлович – студент Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Andrey M. Velikanov – Undergraduate Gagarin Saratov State Technical University

Тырин Евгений Александрович – студент Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Evgeny A. Tyrin – Undergraduate Gagarin Saratov State Technical University

Чуркин Геннадий Максимович – доцент кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennady M. Churkin – Associate Professor Department of Technical Cybernetics and Informatics, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.09.13, принята к опубликованию 20.02.13

И.А. Щербатов

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫМИ СИСТЕМАМИ

Рассматривается разработка классификационных признаков деления видов неопределенности, которые присущи сложным слабоформализуемым системам на двух этапах жизненного цикла – проектирование и функционирование. Приведена графическая структура разработанного классификационного разделения видов неопределенности. Показано место каждого из видов неопределенности в задачах анализа, моделирования и управления выделенным классом сложных систем.

Неопределенность, сложная слабоформализуемая система, классификация, анализ, моделирование, управление, жизненный цикл системы

I.A. Shcherbatov

CLASSIFICATION OF UNCERTAINTIES FOR THE ANALYSIS AND CONTROL OF COMPLEX PUREFORMALIZABLE SYSTEMS

The article describes the development of classification principles referring the uncertainty types inherent in the complex and hardly formalizable systems during the two lifecycle stages including the design and functioning. The graphic structure of the developed classification division of uncertainty types is given. The place of each type of uncertainty in the analysis procedure, simulation and control of the selected class of complex systems is shown.

Uncertainty, complex pure formalizable system, classification, analysis, simulation, control, system lifecycle

Введение

Принципиальная возможность учета неопределенности совместно с выбранной методикой, а также принятие допущений о не рассмотрении конкретного вида неопределенности могут существенным образом сказаться на конечном результате, например на адекватности модели или качестве синтезированного закона управления.

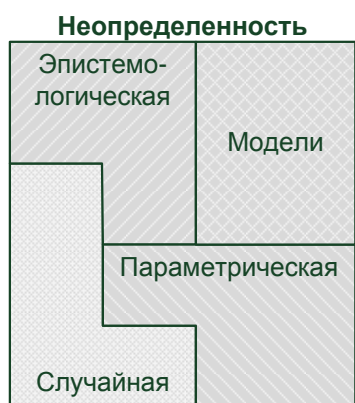
Существуют различные определения понятия «неопределенность», например, в [1] неопределенность – ошибки между моделью и реальной системой, а в [2] выделяется структурная (известна функция изменения неопределенности, но не известны параметры этой функции) и не структурированная неопределенность (функция изменения не известна, но величина неопределенности ограничена).

Неопределенность является важнейшим элементом проблемы построения математической модели системы [3] и синтеза законов управления, что следует учитывать на всех этапах анализа и синтеза сложных систем. Учет неопределенностей представляет не только принципиальные, но и большие практические трудности. Однако зачастую часть компонент [4] можно вывести из-под влияния неопределенности с применением различных методов ее расчета и компенсации, тем самым ограничив число компонент, функционирующих в условиях неопределенности.

Еще одним важным аспектом является то, что при рассмотрении сложной системы зачастую приходится преднамеренно вводить в математическую модель системы различные виды неопределенности, поскольку они служат стимулирующим фактором для адаптации и самоорганизации сложных систем и как следствие к повышению качества и надежности их функционирования. Этот аспект обуславливает возникновение принципа управления неопределенностями при рассмотрении сложных систем, являющийся наиболее существенным. В соответствии с этим целью работы является разработка классификационных признаков деления видов неопределенности сложных слабоформализуемых систем.

Классификация видов неопределенности

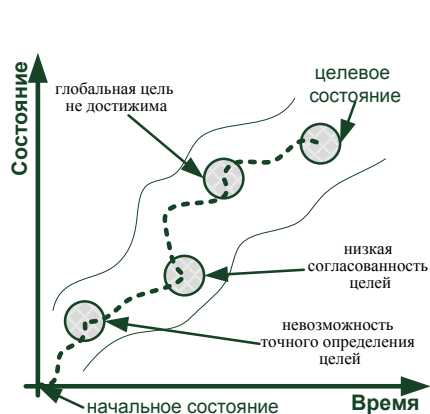
Рассмотрим основные виды неопределенности, описанные в литературных источниках [5-12] (рисунок). В работе выделены многокомпонентные слабоформализуемые технические системы (МС). МС – сложная иерархическая система, функционирующая в условиях неопределенности исходных данных, рассогласованности локальных целей и нарушении внутренней организации из-за вновь возникающих свойств, в процессе достижения глобальной цели [13].



а – общая классификация неопределенностей



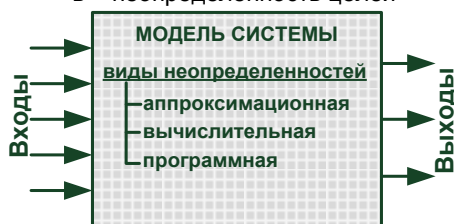
б – неопределенности этапов жизненного цикла



в – неопределенность целей



г – неопределенность параметрическая



д – неопределенности модели



е – неопределенность эпистемологическая

Классификация типов неопределенностей МС

На рисунке а представлена общая классификация неопределенностей, которая включает в себя 4 вида, описанных в табл. 1.

Таблица 1

Общая классификация неопределенностей МС

Вид неопределенности	Определение/Условия возникновения
Эпистемологическая	Полное или частичное отсутствие знаний о системе
Моделей	Невозможность получения истинной модели реальной МС
Параметрическая	Полное или частичное отсутствие знаний об истинном значении параметров МС
Случайная	Вероятностный характер поведения МС, внешних воздействий, а также изменения параметров

Существует также классификационное деление неопределенностей, которые присущи двум ключевым этапам жизненного цикла МС (рис. 1б) – проектирование и функционирование (табл. 2). Необходимость выделения именно этих этапов обусловлена рядом существенных аспектов, которые подробно приведены в [14].

Таблица 2

Классификация неопределенностей этапов жизненного цикла МС

Этап	Тип	Определение/Условия возникновения
Проектирование	Эпистемологическая	Полное или частичное отсутствие знаний о системе на этапе анализа и синтеза
	Неоднозначная	Неточности в терминах, определениях, лингвистическая неточность, невозможность количественного описания связей и параметров
	Случайная	Вероятностный характер внешних воздействий и изменения параметров МС
	Взаимодействия	Появление новых свойств (синергетический эффект) в результате взаимодействия компонент
Функционирование	Модели	Неопределенности модели, лежащей в основе системы управления
	Случайная	Вероятностный характер внешних воздействий
	Взаимодействия	Появление новых свойств (синергетический эффект) в результате взаимодействия компонент

Например, в исследовании операций применительно к задачам принятия решений принято различать три типа неопределенностей: неопределенность целей; неопределенность наших знаний об окружающей обстановке и действующих в данном явлении факторах (неопределенность природы); неопределенность действий активного или пассивного партнера или противника [15].

В приведенной выше классификации тип неопределенностей рассматривается с позиций того или иного элемента математической модели. Данная классификация является весьма условной.

Неопределенность целей отражается при постановке задачи на выборе отдельных критериев (максимизация прибыли, минимизация вредных выбросов в окружающую среду), либо комплексного критерия полезности (рис. 1-в).

Неопределенность первого вида может быть обусловлена рядом факторов, оказывающих существенное влияние на построение математической модели, реализации системы управления и обеспечения целенаправленного поведения МС (табл. 3).

Таблица 3

Классификация неопределенности целей в МС

Тип неопределенности	Определение/Условия возникновения
Невозможность точного определения целей	Невозможность точного определения локальных целей компонент МС, в том числе задания их с помощью выбранного математического аппарата
Низкая согласованность целей	Наличие ошибок, допущенных при проектировании устройств управления каждой из подсистем или компонент. В этом случае достижение цели одной из компонент существенным образом влияет на достижение глобальной цели
Глобальная цель недостижима	Глобальная цель, например, в виде комплексного критерия полезности не достижима ввиду отсутствия для этого необходимых инструментов, математического аппарата или средств измерения

Два других типа неопределенностей влияют в основном на составление системы ограничений (например, ограничения в виде равенств или неравенств) и метода принятия решения.

В процессе решения задач управления и моделирования МС возникновение второго типа неопределенности может быть объяснено невозможностью фиксации параметров процессов и компонент (рис. 1г) [16]. Основные типы параметрической неопределенности показаны в табл. 4.

Таблица 4

Классификация параметрической неопределенности

Тип неопределенности	Определение/Условия возникновения
Отсутствие средств измерения	Невозможность применения методов и средств измерения для ряда технологических параметров, ввиду их отсутствия. Например, группа технологических параметров в пищевой и рыбообрабатывающей промышленности подвергается органолептическому или визуальному контролю для определения запаха, цвета, вкуса, внешнего вида готовой продукции, состава и качества исходного сырья
Инерционность средств измерения	Высокая инерционность существующих методов контроля или средств измерения обуславливает то, что актуальность задач управления теряет свой смысл. Сюда могут быть отнесены способы измерения состава газов с использованием газоанализаторов или лабораторных методов
Низкая точность	Неадекватность функционирования первичных преобразователей в агрессивной среде технологического процесса, а также сложность объекта измерения. Например, количество свилей в листовом стекле, количество обрывов элементарных нитей в производстве стекловолокна и т.д.

Под третьим фактором понимается не только принципиальное незнание или отсутствие описания протекания ряда физико-химических и иных процессов в компонентах МС объясняемое их сложностью или малоизученностью, но и возникающий внутри МС синергетический эффект, наличие которого приводит к появлению ранее не известных новых связей и свойств внутри МС. Данный фактор объясняется следующими причинно-следственными закономерностями:

- сложность накладывает существенные ограничения на построение статистических или детерминированных моделей ввиду их отсутствия;
- малая изученность приводит к тому, что строгое математическое описание объекта получено быть не может, а значит, принципиально отсутствует возможность построить аналитическую модель подсистемы и всей МС в целом;
- возникновение новых, ранее не существовавших свойств и характеристик МС в результате синергетического эффекта приводит к нарушению организации системы или переходу ее в не спрогнозированное на этапе проектирования состояние.

Существует также неопределенность математической модели системы (рис. 1-д) [6], фактически это означает, что присутствует неполнота знаний о сложной системе, которая обуславливает различия между результатами, полученными по модели, и истинными результатами в реальной системе, причем различия могут быть описаны некоторой функцией распределения. Неопределенность модели представлена в табл. 5.

Таблица 5

Классификация неопределенностей модельного представления МС

Тип неопределенности	Определение/Условия возникновения
Аппроксимационная	Ошибки приближенных расчетов, аппроксимация функций
Вычислительная	Порядок округления величин, точность проведения расчетов, т.е. определяется фактически имеющимся в распоряжении исследователя программным и аппаратным обеспечением
Программная	Ошибки, допущенные при создании программы, избыточность и не оптимальность программного кода

И, наконец, один из существенных типов неопределенности – эпистемологическая (рис. 1е). Классификационное деление данного типа неопределенности представлено в табл. 6.

Таблица 6

Классификация типов эпистемологической неопределенности

Тип неопределенности	Определение/Условия возникновения
Феноменологическая	Отсутствие при проектировании учета функционирования МС в ряде режимов, особенно часто возникает при проектировании новых МС
Поведенческая	Неопределенность в поведении людей (ЛПР, оператор ТП и пр.), так называемый «человеческий фактор» в управлении МС

Кроме того, существует еще три категории неопределенностей – стохастическая (вероятностная) неопределенность, не стохастическая неопределенность и реальная неопределенность.

В случае, когда имеет место стохастическая неопределенность, неизвестные факторы имеют известную статистическую зависимость своего возникновения и поэтому представляют собой обычные объекты теории вероятностей – случайные величины (или случайные функции, события и т.д.). Здесь стоит сделать замечание о том, что на этапе постановки задачи должны быть известны или определены все необходимые статистические характеристики (законы распределения и их параметры). Неопределенность не стохастического вида характеризуется тем, что никаких предположений о стохастической устойчивости не существует.

Реальная неопределенность - решение принимается на основании каких-либо гипотез о законах распределения случайных величин. При этом лицо принимающее решение (ЛПР) должен иметь в виду опасность несовпадения его результатов с реальными условиями. Эта опасность несовпадения формализуется с помощью коэффициентов риска.

Результаты и выводы

1. Приведено классификационное разделение различных видов неопределенностей, которые имеют место на этапах проектирования и функционирования сложных слабоформализуемых систем.
2. Выделены классификационные признаки неопределенности целей рассматриваемого класса сложных систем, параметрической неопределенности, а также неопределенностей их математического описания.

3. Рассмотрено влияние различных видов неопределенности применительно к задачам математического моделирования и управления сложными слабоформализуемыми системами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhou K. Model Uncertainty, Robust and Optimal Control / K. Zhou, J. Doyle, K. Glover. Prentice Hall, Upper Saddle River, NY, 1996. P. 213-214.
2. Franklin G. Stability Robustness, Feedback Control of Dynamical Systems / G. Franklin, J. Powell, A. Emami-Naeini, 3rd ed. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, MA, 1994. P. 427.
3. Oberkampf W. Mathematic Representation of Uncertainty / W. Oberkampf, J. Helton, K. Sentz // AIAA Paper 2001-1645, April 2001.
4. Щербатов И.А. Понятие компоненты слабоформализуемой многокомпонентной технической системы / И.А. Щербатов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: сб. тр. XXV Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 8. Секция 12 / под общ. ред. А.А. Большакова. Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012. С 207-209.
5. Thunnissen D. Uncertainty classification for the design and development of complex systems. / D. Thunnissen // Proceedings of the 3rd Annual Predictive Methods Conference, Veros Software, Santa Ana, CA, June, 2003.
6. De Laurentis D. Uncertainty Modeling and Management in Multidisciplinary Analysis and Synthesis / D. De Laurentis, D. Mavris // Paper AIAA 2000-0422, 38th AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, NV, 10-13 January 2000, P. 2-4.
7. Trosset M. W. Managing Uncertainty in Robust Design Optimization / Michael W. Trosset // Transparencies from a talk at the Workshop on Optimization Under Uncertainty, Sandia National Laboratories, January 2004.
8. Parry G. W. The Characterization of Uncertainty in Probabilistic Risk Assessments of Complex Systems / Gareth W Parry // Reliability Engineering and System Safety, Vol. 54, Issue 2, November 1996. P. 119-126.
9. Kari S. Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory / Sentz Kari // Sandia Technical Report, SAND 2002-0835, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, April 2002.
10. Challenge Problems – Uncertainty in System Response Given Uncertain Parameters / W.L. Oberkampf, J.C. Helton, C.A. Joslyn, S. F. Wojtkiewicz, S. Ferson // Reliability Engineering and System Safety. Vol. 85, Issue 1, July 2004, P. 11-19.
11. Hora S.C. Aleatory and Epistemic Uncertainty in Probability Elicitation with an Example from Hazardous Waste Management / Stephen C Hora // Reliability Engineering and System Safety, Vol. 54, Issue 3, December 1996, P. 217-223.
12. Roy C. J. A Complete Framework for Verification, Validation, and Uncertainty Quantification in Scientific Computing (Invited) / C. J. Roy and W. L. Oberkampf // Paper AIAA 2010-124, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4-7 January 2010, Orlando, Florida, P. 1-15.
13. Shcherbatov I.A. Classification of pure formalized complex multicomponent technical systems under conditions of uncertainty / I.A. Shcherbatov // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. Астрахань, 2012. №2. С. 9-13.
14. Островский Г.М. Технические системы в условиях неопределенности: анализ гибкости и оптимизация / Г.М. Островский, Ю.М. Волин. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 319 с.
15. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. М.: Наука, 1988.
16. Проталинский О.М. Математическое описание процессов в условиях нестатистической неопределенности / О.М. Проталинский // Методы кибернетики в химии и химической технологии: Тез. докл. 2 Всесоюз. совещания-семинара молодых ученых. Грозный, 1984. С. 101.

Щербатов Иван Анатольевич –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Вычислительная техника и электроника»
Астраханского государственного
технического университета

Ivan A. Shcherbatov –
Ph. D., Associate Professor
Department of ADP Equipment and Electronics
Astrakhan State Technical University

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.89

Д.Е. Крупейников, В.С. Дрогайцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. I

Рассматриваются методические и интеллектуальные средства оценивания технического состояния функциональных устройств систем управления, обнаружения и технического диагностирования отказов в их поведении.

Функциональные устройств, временные ряды, техническое диагностирование, пространственно-временные модели, обучающие выборки

D.E. Krupeynikov, V.S. Drogaytsev

METHODS AND SMART TOOLS FOR DETECTING AND DIAGNOSING FAILURES WITH THE FUNCTIONAL DEVICES OF ON-BOARD AIRCRAFT. I CONTROL SYSTEMS

The article considers the methods and smart tools for estimating mechanical conditions of functional units installed for control systems, detect and diagnose the failures in their behavior.

Functional units, time series, technical diagnostics, space-time model, training sets

Практика проектирования и производства бортовых систем управления подтверждает, что подтвержденная работоспособность составных функциональных устройств (ФУ) в процессе их автономных испытаний не всегда гарантирует заданную работоспособность систем управления (СУ). Возможны такие варианты, когда отказы соответствующих ФУ не обнаруживаются в процессе испытания систем управления.

Предметная область технического диагностирования отказов ФУ в процессе их испытания в составе СУ включает решение двух проблемных задач: первая задача связана с оцениванием технических характеристик отказов в их поведении; в объеме второй задачи обеспечивается техническое диагностирование отказов ФУ.

В рассматриваемой постановке СУ представляют класс бортовых навигационных и класс систем управления силовыми установками летательных аппаратов.

В принятой постановке для описания ФУ и систем управления заданных классов принята модель вида логического направленного графа, имеющая двухуровневую архитектуру, в которой второй, низший уровень представлен моделями информационно и функционально значимых ФУ соответствующей СУ, отражающих структурную организацию модели системы, информационные пути и вход – выходные информационные параметры.

В работе как вариант принцип обоснования состава информационно-значимых ФУ системы реализуется эвристическим способом на основе глубокого знания экспертом характерных свойств ФУ.

ФУ в структуре модели системы вступают между собой в различные взаимосвязи, что предопределяет усложнение процесса выявления причинных связей между переменными описания ФУ и отказами в их поведении. Обуславливает также пересечение информационных путей, правда эта ситуация повышает разрешающие возможности диагностирования отказов ФУ по совокупности выходных параметров.

В рассматриваемой постановке механизм диагностирования отказов исходит из предположения, что отказы в ФУ обнаруживаются в результате регистрации показателей нечетких дискретных временных рядов (НДВР) в процессе испытания устройств в составе систем управления, при этом в процессе развития отказов числовые значения показателей временных рядов изменяются от номинальных значений до превышающих допустимые ограничения.

Целесообразность использования интеллектуальных средств в процессах компьютерного решения данной предметной области обусловлено сложностью моделирования процессов диагностики, дефицитом пригодных для практики теоретических положений и программных продуктов, существенной неопределенностью описаний технических состояний ФУ в условиях наличия отказов в их поведении и воздействия последовательности факторов внешней среды.

В этой связи перспективным и эффективным подходом к анализу НДВР и к реализации методов обнаружения и диагностирования отказов ФУ является применение интеллектуальных систем и нейронных сетей, позволяющих наиболее полно использовать экспертные знания в процессах синтеза механизмов вывода и правил принятия решений в результате погружения НДВР в многомерное параметрическое пространство (рис. 1, 2), отражающим их структурную организацию, информационные пути и вход – выходные информационные параметры.

Пространственно-временные модели (рис. 1, 2), построенные на основе показателей НДВР заданных видов, отражают в предыстории признаки времени, определяемые: последовательностью управляющих воздействий, подаваемых на входы ФУ и СУ; динамикой реакций ФУ на управляющие воздействия, последовательностью факторов внешней среды и перечнем штатных циклов испытания.

Анализ пространственно-временных моделей (рис. 1, 2) в процессе выявления причинно-следственных связей между переменными описания отказов в поведении ФУ и агрегировании информационно значимых НДВР базируется на способе проецирования многомерного пространства в пространство с ограниченной размерностью с выявлением значимых координат на базовых шкалах пространственно-временного представления.

Метод оценивания степени соответствия технических характеристик ФУ заданным требованиям и обнаружения отказов в их поведении определяются решением задач: построение НДВР характеризующих техническое состояние ФУ; минимизация числа видов и состава НДВР; определение разделительных свойств НДВР применительно к заданному перечню отказов; построение и обучение интеллектуальной системы поддержки данного метода.

На рис. 3 приведена структурная организация средств обнаружения отказов ФУ СУ, отражающая двухуровневую архитектуру модели описания ФУ, технологию их испытания и способ регистрации и анализа НДВР, где $M1-M3$ – функциональные устройства; $\{U_i^3\}$ – задающие управляющие сигналы; $\{U_j^y\}$ – управляющие воздействия; $\{Y_i^{Oy}\}$ – выходные параметры модели объекта управления; $\{Y_j^{Mi}\}$ – контролируемые параметры ФУ; $\{Y_j^S\}$ – выходные параметры СУ; $\{W_i\}$ – факторы внешней среды.

В методах и алгоритмах решения сформулированных проблемных задач предметной области ключевым положением является построение и системный анализ НДВР, используемых в качестве источников извлечения и процедур преобразования знаний, составляющих основу стратегии оценивания степени соответствия технических характеристик ФУ требованиям технических условий (ТУ), обнаружения и технического диагностирования отказов в их поведении. При этом следует отметить, что технические состояния ФУ, определяемые отказами, соответственно и числовые значения показателей НДВР характеризуются неопределенностью и нечеткостью, что предопределяет использование в методических средствах аппарата нечетких множеств и целесообразность применения интеллектуальных методов в процессах формирования механизмов вывода и правил принятия решений.

Применительно к методам решения проблемных задач предметной области принят способ построения пяти видов НДВР, базируемый на основе синтеза и анализа моделей пространственно-временного представления переменных (рис. 1, 2), отражающих информационные и процедурные особенности НДВР; причинно-следственные связи между параметрами состояния выхода ФУ, показателями внешней среды и заданным перечнем отказов в поведении устройств, а также разрешающих задачу анализа текущих ситуаций и ситуаций предыстории в поведении ФУ.

Пространственно-временные модели описания технических характеристик ФУ (рис. 1, 2) синтезируются по результатам моделирования состояний физических образцов ФУ в условиях имитации допустимого перечня отказов в их поведении и имитации заданного перечня факторов внешней среды в процессе исполнения штатных циклов испытания систем управления в объеме требований ТУ.

Рассматриваемый способ и сценарии построения НДВР регламентируются критериями и условиями метода оценивания степени соответствия технических характеристик ФУ требованиям ТУ и формализованного метода диагностирования отказов в их поведении.

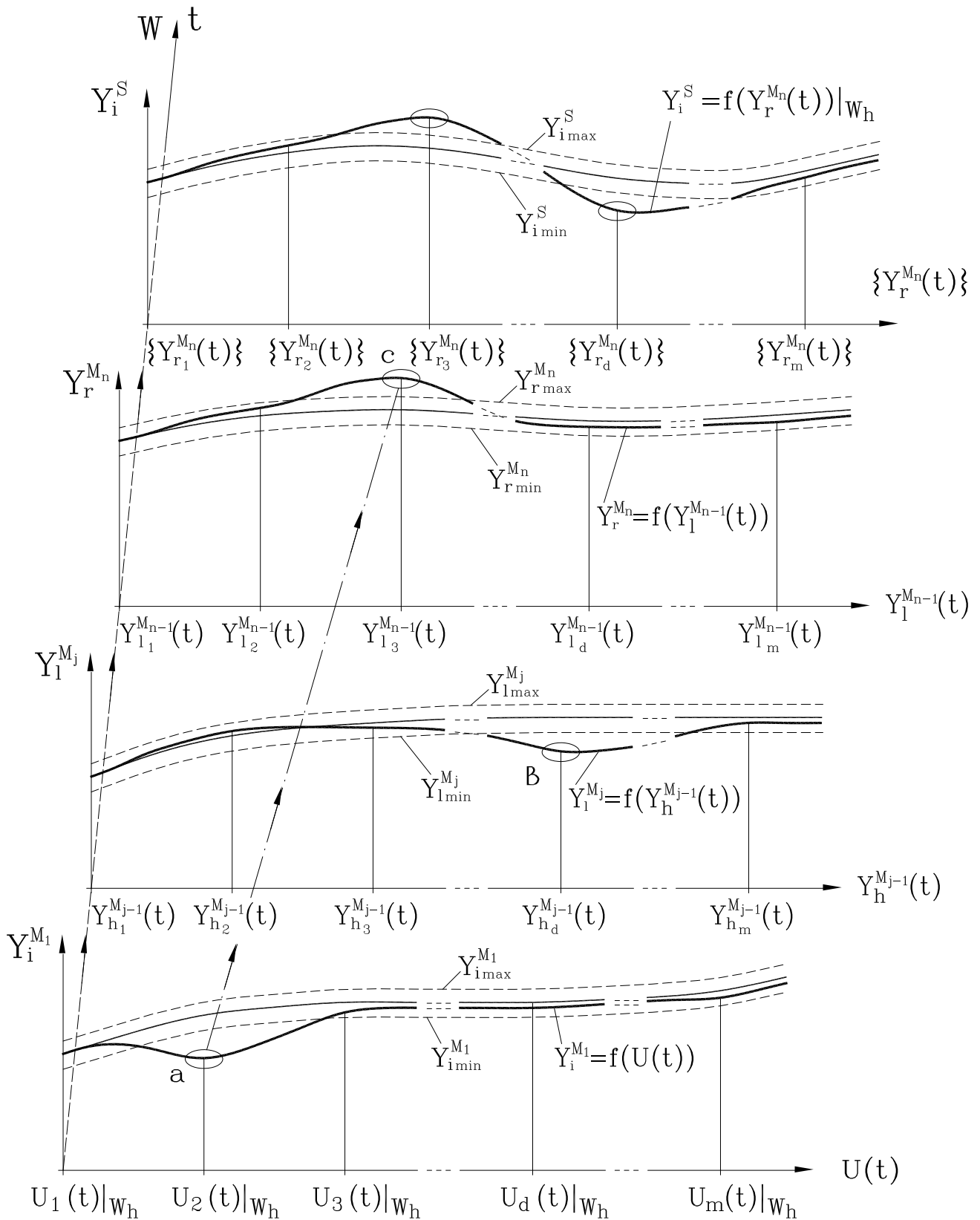


Рис. 1. Модель регистрации и анализа нечетких дискретных временных рядов первого, второго и третьего вида

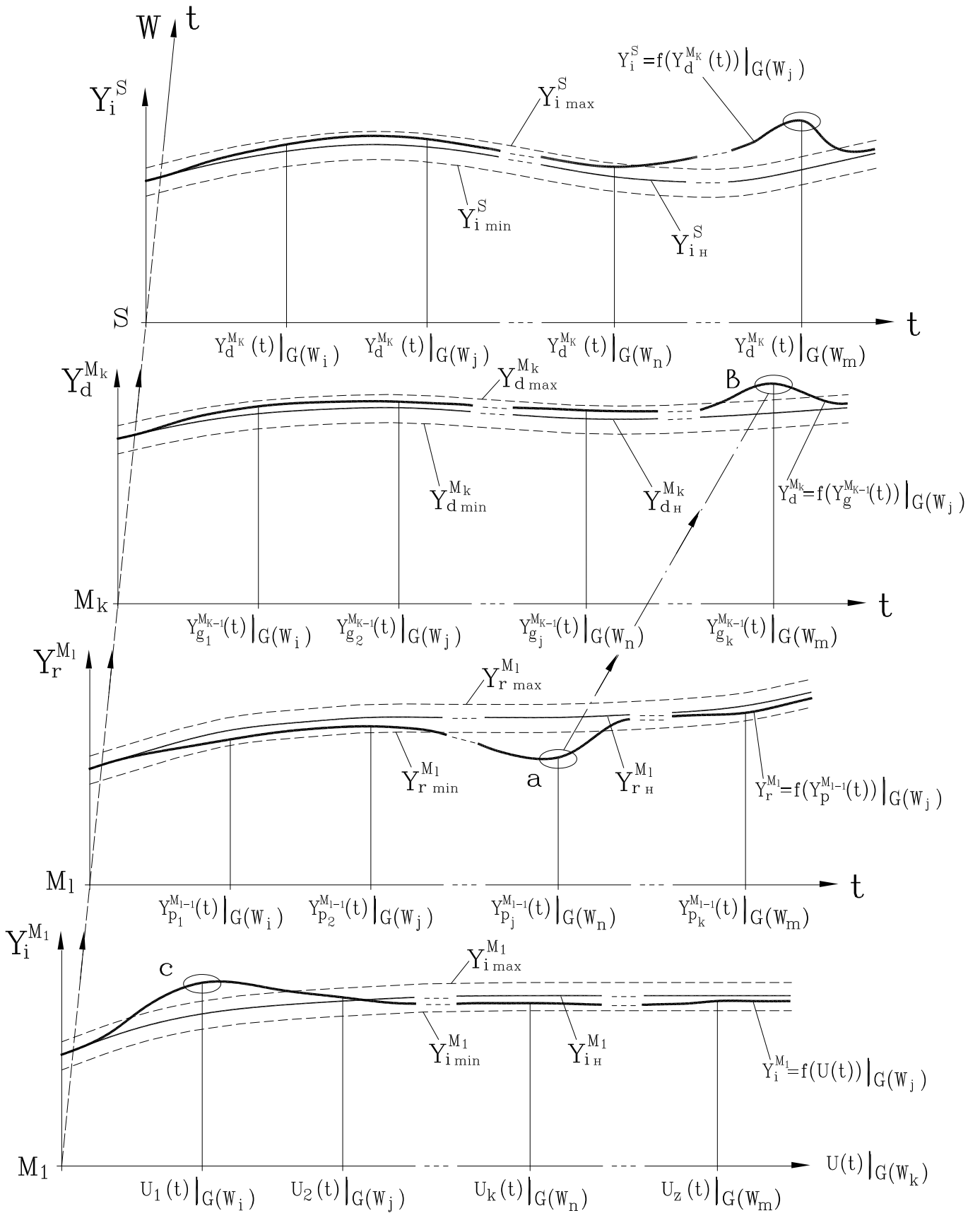


Рис. 2. Модель регистрации и анализа нечетких дискретных временных рядов четвертого и пятого вида

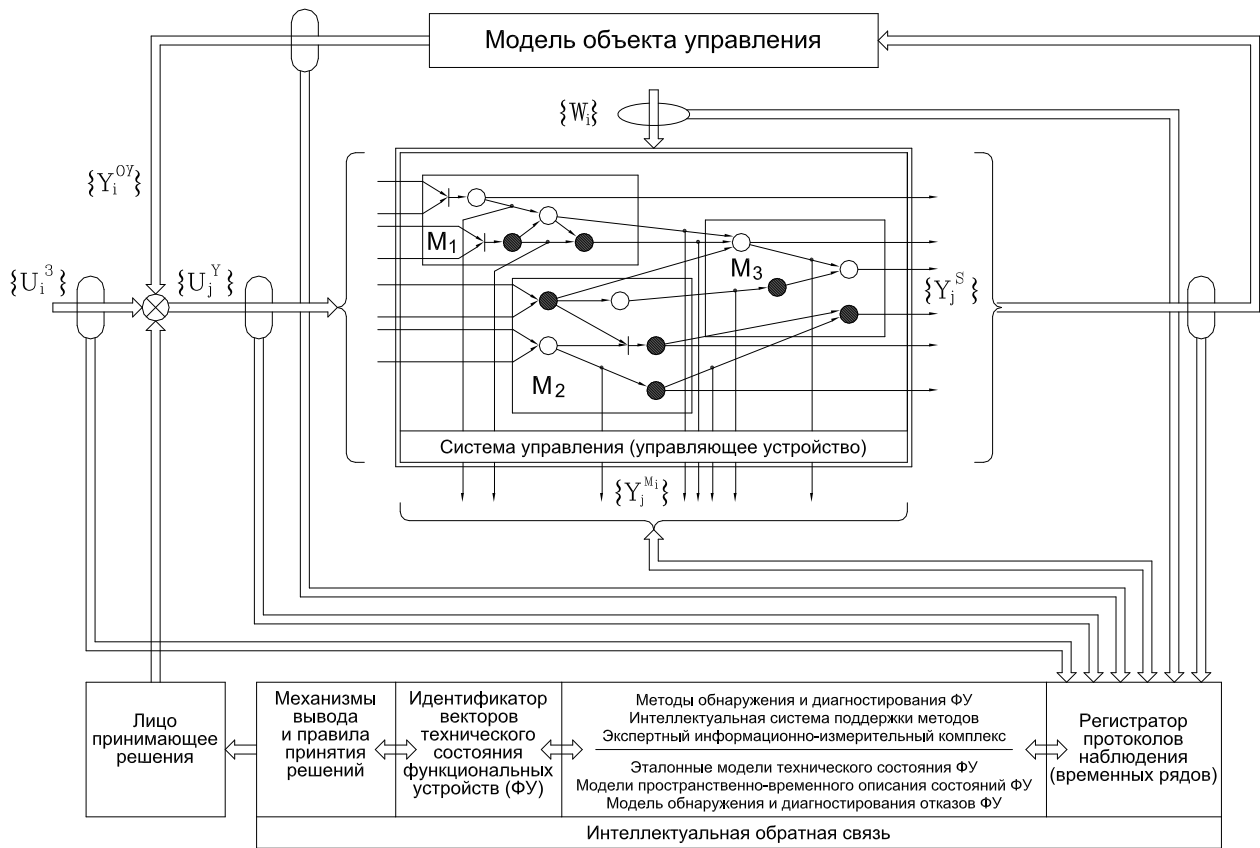


Рис. 3. Организация средств обнаружения и диагностирования отказов функциональных устройств систем управления

Согласно принятым условиям и режимам моделирования состояний ФУ СУ применительно к допустимому перечню отказов в их поведении в результате регистрации числовых значений переменных, представленных пространственно-временной моделью, приведенной на рис. 1, 2, формируются пять видов НДВР, удовлетворяющих условиям и требованиям процессов оценивания технических характеристик и обнаружения отказов ФУ:

1. Первый вид НДВР формируется путем регистрации в заданных контрольных точках структуры модели соответствующего ФУ навигации динамики изменения реакций составных компонентов устройства на входные управляющие воздействия при заданном факторе внешней среды в условиях имитации заданного перечня отказов. При этом процедурные и функциональные особенности содержания НДВР данного вида определяются зависимостью:

$$B_{Y_i^{M_j}} = \{Y_{P_1}^{L,M_j}, f_{P_1}(\{Y_{id}^{M_{j-1}}(t)|W_h(t)\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t)) \cup \dots \cup Y_{P_r}^{L,M_j},$$

$$f_{P_r}(\{Y_{id}^{M_{j-1}}(t)|W_h(t)\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t)) \cup \dots \cup Y_{P_n}^{L,M_j},$$

$$f_{P_n}(\{Y_{id}^{M_{j-1}}(t)|W_h(t)\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t))\} |\{K_i\}, \{D_j\},$$
(1)

где $Y_{P_r}^{L,M_j}$ – l -й параметр j -го ФУ, отражающий числовые значения реакций устройства на входное управляющее воздействие, здесь $P_r | r = \overline{1, n}$ – число составных компонентов устройства, определяющее трассу навигации реакций в структуре модели ФУ; $\{Y_{id}^{M_{j-1}}(t)|W_h(t)\}$ – d -е входное управляющее устройство, сформированное предшествующим ФУ информационного пути структуры модели системы управления, здесь W_h – h -й фактор внешней среды; R^{M_j} – режим функционирования j -го ФУ; Q^{M_j} – перечень отказов j -го ФУ; K – перечень критериев количественной оценки степени соответствия реакций составных компонентов ФУ заданным требованиям; D – допусковые ограничения реакций.

2. Сценарий формирования НДВР второго вида, характеризующих техническое состояние соответствующего ФУ определяется регистрацией параметров НДВР в режиме реализации дискретного изменения числовых значений управляющих воздействий (рис. 1) в условиях имитации допустимого перечня отказов и заданного фактора внешней среды. НДВР данного вида определяются зависимостью:

$$\begin{aligned}
B_{Y_{l(d_i)}^{l,M_j}} = & \left\{ Y_1^{l,M_j}, f_1 \left(\left\{ Y_1^{M_{j-1}}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \cup \dots \cup Y_d^{l,M_j}, \right. \\
& f_d \left(\left\{ Y_d^{M_{j-1}}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \cup \dots \cup Y_n^{l,M_j}, \\
& \left. f_n \left(\left\{ Y_d^{M_{j-1}}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \right\} | \{K_i\}, \{D_j\},
\end{aligned} \quad (2)$$

где $\{Y_{id}^{M_{j-1}}(t) | d = \overline{1, n}\}$ – последовательность входных управляющих воздействий.

3. НДВР третьего вида формируются в результате выявления на базовых осях многомерной пространственно-временной модели характерных координат траекторий (рис. 1) и локальных подпространств в режиме реализации заданной последовательности входных управляющих воздействий, представляющих динамику изменения и взаимовлияния выходных параметров ФУ в условиях имитации отказов и заданного фактора внешней среды, отражающих факты преодоления параметрами допусковых ограничений на основе анализа текущих ситуаций и ситуаций предыстории. Содержание НДВР определяется зависимостью вида:

$$\begin{aligned}
B_{Y_{i(d_r)}^{l,M_j^S}} = & \left\{ Y_1^{l,M_j}, f_1 \left(\left\{ Y_{i1}^{M_{j-1}}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \cup \dots \cup Y_d^{l,M_j}, \right. \\
& f_d \left(\left\{ Y_d^{M_{j-1}}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \cup \dots \cup Y_n^{l,M_j}, \\
& f_n \left(\left\{ Y_n^{M_{j-1}}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \right\} \cup \{Y_1^{i,S}, \\
& f_1 \left(\left\{ Y_{i1}^{M_r}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^S(t), Q^S(t) \right) \cup \dots \cup Y_d^{i,S}, \\
& f_d \left(\left\{ Y_d^{M_r}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^S(t), Q^S(t) \right) \cup \dots \cup Y_m^{i,S}, \\
& \left. f_m \left(\left\{ Y_m^{M_r}(t) \middle| W_h(t) \right\}, R^S(t), Q^S(t) \right) \right\} | \{K_i\}, \{D_j\},
\end{aligned} \quad (3)$$

где $\{Y_d^{i,S}(t) | d = \overline{1, m}\}$ – i -й выходной параметр СУ, регистрируемый в d -м режиме управляющего воздействия; $R^S(t)$ – режим функционирования СУ; $Q^S(t)$ – перечень отказов СУ.

4. Формальный сценарий построения четвертого вида НДВР состоит в поиске характерных координат на базовых осях структуры пространственно-временной модели отражающих локальные ситуации (рис. 2) и траектории динамики изменения числовых значений выходных параметров ФУ и СУ, характеризующих факты выхода параметров за допусковые ограничения, регламентируемых текущими ситуациями и ситуациями предыстории, регистрируемых в процессе испытания ФУ в условиях имитации перечня отказов в их поведении и имитации заданной последовательности факторов внешней среды. Информационное содержание данного вида НДВР определяется зависимостью:

$$\begin{aligned}
B_{Y_{\{G_i(W_j)\}}^{r,M_l}} = & \left\{ Y_1^{r,M_l}, f_1 \left(\left\{ Y_p^{M_{l-1}}(t) \middle| G_i(W_1) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \cup \dots \cup Y_j^{r,M_l}, \right. \\
& f_j \left(\left\{ Y_p^{M_{l-1}}(t) \middle| G_i(W_j) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \cup \dots \cup Y_n^{r,M_l}, \\
& \left. f_n \left(\left\{ Y_p^{M_{l-1}}(t) \middle| G_i(W_n) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \right\} | \{K_i\}, \{D_j\},
\end{aligned} \quad (4)$$

где $Y_{\{G_i(W_j)\}}^{r,M_l}$ – числовое значение r -го параметра l -го ФУ в режиме реализации i -го штатного цикла испытания СУ в условиях воздействия j -го фактора внешней среды.

5. Принципиальная особенность построения НДВР пятого вида состоит в объединении средствами временных рядов предыстории технических состояний ФУ, определяемой результатами исполнения последовательности штатных циклов испытаний в условиях воздействия заданного перечня факторов внешней среды и в учете взаимного влияния негативных явлений в поведении заданного состава ФУ СУ. Согласно данного сценария механизм построения НДВР сводится к определению по заданным критериям в многомерном параметрическом пространстве информационно-значимых траекторий динамики изменения выходных параметров ФУ, представленных на базовых осях пространственно-временной модели (рис. 2), отражающих причинно-следственные связи между параметрами состояний выхода ФУ, факторами внешней среды и допустимым перечнем отказов в поведении ФУ.

Процедурная сущность и информационная значимость данного вида НДВР характеризуются зависимостью

$$\begin{aligned}
B_{Y_{\{G_i(W_j)\}}^{r,M_l^S}} = & \left\{ Y_1^{r,M_l}, f_1 \left(\left\{ Y_p^{M_{l-1}}(t) \middle| G_i(W_1) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \cup \dots \cup Y_j^{r,M_l}, \right. \\
& f_j \left(\left\{ Y_p^{M_{l-1}}(t) \middle| G_i(W_j) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \cup \dots \cup Y_n^{r,M_l}, \\
& \left. f_n \left(\left\{ Y_p^{M_{l-1}}(t) \middle| G_i(W_n) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \right\} | \{K_i\}, \{D_j\},
\end{aligned}$$

$$R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \cup \{Y_1^{i,S}, f_1(\{Y_{i1}^{M_r}(t)|G_i(W_1)\}, R^S(t), Q^S(t)) \cup \dots \cup Y_d^{i,S},$$

$$f_d(\{Y_d^{M_r}(t)|G_i(W_j)\}, R^S(t), Q^S(t)) \cup \dots \cup Y_m^{i,S},$$

$$f_m(\{Y_m^{M_r}(t)|G_i(W_m)\}, R^S(t), Q^S(t))\}\{K_i\}, \{D_j\},$$
(5)

Согласно структурной организации, информационного и параметрического содержания НДВР (1)-(5) принципиальная их особенность в плане достижения требуемых уровней глубины и достоверности обнаружения и диагностирования отказов ФУ определяется интеграцией числовых значений параметров состояний выхода, режимов функционирования устройств и факторов внешней среды по результатам анализа текущих ситуаций и ситуаций предыстории в процессе реализации штатных циклов испытания СУ.

Минимизация числа видов и состава НДВР

В рассматриваемой постановке методическое обеспечение минимизации числа видов и состава НДВР базируется на основе анализа обучающих выборок, формируемых в результате моделирования технических состояний образцов ФУ в процессе их испытания в составе СУ, в условиях имитации допустимого перечня отказов в их поведении и имитации факторов внешней среды.

Технология минимизации числа видов и состава НДВР применительно к заданному перечню отказов ФУ определяется реализацией формальных процедур:

1. Определение координат показателей НДВР на базовых шкалах многомерного параметрического пространства, образующих характерные траектории и локальные подпространства, отражающих выход технических характеристик ФУ за пределы допусковых ограничений, регламентируемых эталонными моделями.

2. Агрегирование информационно-значимых НДВР, обеспечивающих оценку степени соответствия технических характеристик ФУ заданным требованиям и обнаруживающих допустимый перечень отказов в их поведении.

3. Выявление разделительных свойств информационно-значимых НДВР применительно к допустимому перечню отказов ФУ.

Технология минимизации предполагает сокращение исходного числа видов и состава НДВР до достаточных уровней необходимых для обнаружения допустимого перечня отказов ФУ и понижения неопределенности, соответственно повышения достоверности в процессах принятия решений по обнаружению и диагностированию отказов в поведении ФУ. Таким образом, способ минимизации числа видов и состава НДВР определяется выявлением информационно-значимых НДВР в процессе моделирования в заданных условиях технических состояний ФУ. При этом механизм выявления информационно-значимых НДВР заключается в определении обнаруживающих и разделительных свойств НДВР относительно заданного перечня отказов ФУ на стадии их испытания в составе СУ.

Динамика изменения числовых значений показателей и информационная значимость НДВР, представленных в многомерном параметрическом пространстве характерными траекториями (рис. 1, рис. 2) и локальными подмножествами, отражающих превышение предельных ограничений выходных параметров ФУ, количественно оцениваются средствами критериев:

1. Критерий количественной оценки степени соответствия технических характеристик образцов ФУ заданным требованиям и констатации фактов наличия отказов в их поведении по результатам анализа характерных траекторий изменения выходных параметров в многомерном параметрическом пространстве, определяется зависимостью:

$$K = \left(\frac{\hat{Y}_{imax} - Y_{iu}}{\hat{Y}_{imax} - Y_{iu}} + \frac{|\hat{Y}_{jmin} - Y_{ju}|}{Y_{ju} - \hat{Y}_{jmin}} \right) / 2 > \beta \{D_l\},$$
(6)

где, $\hat{Y}_{imax}, \hat{Y}_{jmin}$ – регистрируемые числовые значения выходных параметров ФУ, отождествляемые с показателями НДВР; Y_{max}, Y_{min} – пороговые значения допусковых ограничений выходных параметров ФУ; Y_u – номинальные значения выходных параметров; β – пороговый уровень выходных параметров; D – допусковые ограничения на выходные параметры, определяемые требованиями ТУ на ФУ; i, j – индексы отражающие предысторию регистрируемых выходных параметров

2. Критерии оценки степени соответствия технических характеристик заданным требованиям и обнаружения отказов в поведении ФУ по результатам анализа локальных подпространств распределения числовых значений выходных параметров в многомерном параметрическом представлении определяется зависимостями:

$$K_{max} = \frac{\hat{Y}_{imax} - Y_{iu}}{\hat{Y}_{imax} - Y_{iu}} > \alpha \{D_l\},$$
(7)

$$K_{min} = \frac{|\hat{Y}_{imin} - Y_{iu}|}{|\hat{Y}_{imin} - Y_{iu}|} > \alpha \{D_l\},$$
(8)

где, α – пороговый уровень показателя НДВР; здесь символ « \wedge » означает регистрируемое числовое значение показателя НДВР.

На примере траектории динамики изменения числовых значений выходных параметров ФУ (рис. 2 – а, в) представленной НДВР пятого вида, отражающей двухстороннее превышение допусковых ограничений, информационная значимость НДВР определяется зависимостью

$$K_{Y_d^{M_k} \cup Y_r^{M_l}}^{+(-)} = \left(\frac{\hat{Y}_{d, Y_{g_k}^{M_k-1}|G(W_m)}^{M_k} - Y_{d, H, Y_{g_k}^{M_k-1}}^{M_k}}{Y_{d, Y_{g_k}^{M_k-1}|G(W_m)}^{M_k \max} - Y_{d, Y_{g_k}^{M_k-1}|G(W_m)}^{M_k \min}} + \frac{\hat{Y}_{r, Y_{p_j}^{M_l-1}|G(W_n)}^{M_l} - Y_{r, H, Y_{p_j}^{M_l-1}}^{M_l}}{Y_{r, Y_{p_j}^{M_l-1}|G(W_n)}^{M_l \max} - Y_{r, Y_{p_j}^{M_l-1}|G(W_n)}^{M_l \min}} \right) / 2 > \beta \left\{ \mathcal{D}_r \right\},$$

где, $\hat{Y}_{d, Y_{g_k}^{M_k-1}|G(W_m)}^{M_k}$, $\hat{Y}_{r, Y_{p_j}^{M_l-1}|G(W_n)}^{M_l}$ – согласно содержанию НДВР пятого вида определяются функциональными зависимостями, соответственно

$$\hat{Y}_{d, Y_{g_k}^{M_k-1}|G(W_m)}^{M_k (+)} = f_d \left(\left\{ Y_{g_k}^{M_k-1}(t) | G(W_m) \right\}, R^{M_k}(t), Q^{M_k}(t) \right) \left\{ \mathcal{D}_d \right\},$$

$$\hat{Y}_{r, Y_{p_j}^{M_l-1}|G(W_n)}^{M_l} = f_p \left(\left\{ Y_{p_j}^{M_l-1}(t) | G(W_n) \right\}, R^{M_l}(t), Q^{M_l}(t) \right) \left\{ \mathcal{D}_p \right\}.$$

При распределении числовых значений выходных параметров ФУ в области локальных подпространств в многомерном параметрическом пространстве информационная значимость НДВР, как пример, согласно критериям (6)-(8) определяется зависимостями:

– применительно к виду (2) НДВР (рис. 2с) значимость НДВР количественно оценивается зависимостью:

$$K_{Y_l^{M_1}}^{(+)} = \frac{Y_{i, Y_{U_1}|G(W_i)}^{M_1} - Y_{i, H, U_1}^{M_1}}{Y_{i, U_1|G(W_i)}^{M_1 \max} - Y_{i, U_1|G(W_i)}^{M_1 \min}} > \alpha \left\{ \mathcal{D}_i \right\},$$

где, $Y_{i, Y_{U_1}|G(W_i)}^{M_1}$ – согласно содержанию НДВР данного вида определяется функциональной зависимостью

$$Y_{i, Y_{U_1}|G(W_i)}^{M_1 (+)} = f_i \left(\left\{ Y_{i, Y_{U_2}}^{M_1}(t) | G(W_i) \right\}, R^{M_1}(t), Q^{M_1}(t) \right) \left\{ \mathcal{D}_i \right\},$$

Здесь обозначение « G » отражает заданный перечень штатных циклов испытания ФУ в режиме испытания соответствующей СУ в соответствии с требованиями ТУ на образец системы.

– применительно к виду (2) НДВР (рис. 1 – в) значимость НДВР оценивается согласно зависимости

$$K_{Y_l^{M_j}}^{(-)} = \frac{Y_{l, Y_{hd}^{M_j-1}|W_i}^{M_j} - Y_{l, H, Y_{hd}^{M_j-1}}^{M_j}}{Y_{l, Y_{hd}^{M_j-1}|W_i}^{M_j \max} - Y_{l, Y_{hd}^{M_j-1}|W_i}^{M_j \min}} > \alpha \left\{ \mathcal{D}_i \right\},$$

где $Y_{l, Y_{hd}^{M_j-1}|W_i}^{M_j (-)} = f_l \left(\left\{ Y_{hd}^{M_j-1}(t) | W_i \right\}, R^{M_j}(t), Q^{M_j}(t) \right) \left\{ \mathcal{D}_i \right\}$ – функциональная зависимость, отражающая числовые значения показателя НДВР.

Ключевым положением методики понижения уровня неопределенности и повышения достоверности описания средствами НДВР технического состояния ФУ является способ определения разделительных свойств НДВР применительно к заданному перечню отказов ФУ.

В рассматриваемой постановке способ выявления разделительных свойств информационно-значимых НДВР реализуется двумя путями: первый путь состоит в обосновании в многомерном параметрическом пространстве по результатам анализа содержания обучающих выборок числовых значений координат характерных траекторий и локальных подпространств характеризующих динамику изменения показателей НДВР относительно допустимого перечня отказов ФУ; второй путь обусловлен наличием возможных пересечений координат траекторий и подпространств на базовых осях применительно к допустимому перечню отказов ФУ. В этом случае возможны два сценария. При наличии частичных пересечений координаты определяются в области центров тяжести подпространств распределения числовых значений показателей НДВР, а в условиях полного пересечения координат числовых значений НДВР относительно перечня отказов ФУ выявляются факты отсутствия пересечений между переменными, составляющих функциональные зависимости (1)-(5) показателей НДВР.

Повторяемость динамики изменения числовых значений показателей НДВР в многомерном пространственно-временном представлении переменных (рис. 1, 2) определяется по результатам анализа обучающих выборок, сформированных в процессе моделирования состояний физических образцов ФУ в условиях имитации заданного перечня отказов и в условиях влияния факторов внешней

среды, отражающих текущие ситуации и ситуации предыстории в поведении ФУ:

$$Y_{l,Q_r}^{M_p} = \left\| \alpha_{ij}^{Q_r, M_p} \right\| = \begin{bmatrix} G(W_1) & G(W_2) & \dots & G(W_j) & \dots & G(W_m) \\ \beta_1 & \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1j} & \dots & \alpha_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_5 & \alpha_{51} & \alpha_{52} & \dots & \alpha_{5j} & \dots & \alpha_{5m} \end{bmatrix} \{K_i\}, \{D_j\}, \quad (9)$$

где $Y_{l,Q_r}^{M_p}$ – l -й показатель НДВР, характеризующий техническое состояние p -го ФУ в условиях r -го отказа в его поведении; $\beta_i | i = \overline{1,5}$ – i -й вид НДВР; $G(W_j) | j = \overline{1,m}$ – штатный цикл испытания ФУ в условиях воздействия j -го фактора внешней среды.

Объем обучающих выборок регламентируется требованием достижения заданного уровня достоверности оценивания степени соответствия технических характеристик ФУ требованиям ТУ и достаточностью состава показателей НДВР для обнаружения допустимого перечня отказов в поведении ФУ.

Средства технического диагностирования отказов ФУ

В рассматриваемой постановке исходными данными и знаниями методических средств технического диагностирования ФУ являются конечные результаты метода оценки технического состояния ФУ, представленные способами построения НДВР и формальными процедурами обнаружения отказов в их поведении. При этом каждым показателем НДВР факт обнаружения соответствующего отказа в поведении ФУ определяется условием:

$$Y_{G(W_j)}^{M_i} = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_{G(W_j)}^{M_i, Q_p} \in R^Q; \\ 0, & \text{если } Y_{G(W_j)}^{M_i, Q_p} \notin R^Q \end{cases} \{K_g\}, \{D_i\}, \quad (10)$$

где R^Q – область многомерного параметрического пространства распределения числовых значений показателя НДВР за пределами допусковых ограничений.

Центральное звено в методических средствах представляет метод констатации работоспособных состояний и технического диагностирования отказов ФУ, определяющий формальный механизм преобразования исходных данных и знаний, и формирования правил принятия решений по достижению требуемого уровня глубины и достоверности результатов диагностирования.

Метод оценки работоспособных состояний и диагностирования отказов ФУ СУ определяется решением задач:

1. Построение исходного варианта структуры модели диагностирования отказов ФУ в процессе испытания СУ.
2. Минимизация размерности исходной структуры модели диагностирования применительно к допустимому перечню отказов ФУ.
3. Построение и обучение интеллектуальной системы поддержки метода диагностирования отказов ФУ.
4. Синтез и обучение нейросетевой структуры формирования механизмов вывода и правил принятия решений в процессах оценивания работоспособных состояний, обнаружения и диагностирования отказов ФУ (задачи 3, 4 будут рассмотрены в последующей публикации).

На рис. 4 приведен исходный вариант структуры модели диагностирования применительно к данной предметной области, где U – управляющие воздействия; Y^S – выходные параметры СУ; Y^{Mi} – выходные параметры ФУ; Q^{Mi} – отказы ФУ; W – факторы внешней среды; L – критерий минимизации исходной структуры модели.

Отличительная особенность концепции построения и преобразования данного вида модели состоит в объединении массивов разнородной по природе информации, представленной заданными видами НДВР, характеризующей техническое состояние образцов ФУ, штатные циклы их испытания и состояния внешней среды; в использовании формальных процедур преобразования и анализа НДВР, текущих ситуаций и ситуаций предыстории, определяющих динамику изменения числовых значений показателей НДВР относительно заданного перечня отказов в поведении ФУ и информационное содержание причинно-следственных связей между состояниями выхода образцов ФУ, состояниями внешней среды и заданным перечнем отказов ФУ.

W_i	$\bigcup U_i(t)$				$\bigcup U_i(t)$				$\bigcup U_k(t)$			
	Y_1^S	Y_2^{M1}	Y_1^{M3}	Y_2^{M5}	Y_j^S	Y_3^{M2}	Y_2^{M4}	Y_1^{M5}	Y_m^S	Y_2^{M1}	Y_3^{M2}	Y_2^{M4}
Q_1^S	Q_1^{M1}											
	Q_2^{M1}											
	Q_1^{M2}											
Q_i^S	Q_1^{Mi}											
	Q_2^{Mi}				α_{ij}	α_{ij}	α_{ij}	α_{ij}				
	Q_r^{Mi}											
Q_n^S	Q_1^{Mn}											
	Q_2^{Mn}											
	Q_d^{Mn}											
L					a	b	c	d				

Рис. 4. Структура модели процесса диагностирования отказов функционального канала объекта системы управления

Процесс построения исходных вариантов моделей диагностирования применительно к заданным видам НДВР регламентируется соблюдением условия:

$$\|\alpha_{ij}\| = \begin{cases} 0, \text{ при } B_{Y_j^{M_i}} \rightarrow G_z(W_p) \rightarrow \text{показатели НДВР} \\ \quad \text{в пределах допусковых} \\ \quad \text{ограничений} \\ 1, \text{ при } B_{Y_j^{M_i}} \rightarrow G_z(W_p) \rightarrow \text{за пределами} \\ \quad \text{ограничений} \end{cases} \{K_i\}, \{D_j\}, \quad (11)$$

здесь элемент модели диагностирования $\|\alpha_{ij}\| = 0$ при условии, если показатели НДВР соответствующего вида ($B_{Y_j^{M_i}}$) находятся в пределах допусковых ограничений при выполнении r -го штатного цикла испытания образцов ФУ в условиях воздействия p -го фактора внешней среды; $\|\alpha_{ij}\| = 1$ – когда указанное выше условие не выполняется, соответственно некоторые показатели НДВР находятся за пределами допусковых ограничений.

В процессе понижения размерности исходной структуры модели диагностирования, информационная значимость показателей соответствующих НДВР и их разделительных свойства применительно к заданному перечню отказов ФУ количественно оцениваются применением критерия [1,2] в результате пошагового преобразования модели:

$$L_j = \max \left[\sum_1^n \sum_g^m \frac{h_{(i,j)l,g}^{(0)} \cdot h_{(i,j)l,g}^{(1)}}{h_j^{(0)} + h_j} \right], \quad (12)$$

где $h_{(i,j)l,g}^{(0)}$, $h_{(i,j)l,g}^{(1)}$ – число не обнаруживаемых ($\|\alpha_{ij}\| = 0$), обнаруживаемых ($\|\alpha_{ij}\| = 1$) отказов ФУ соответствующим показателем НДВР; $h_j^{(0)}$ – число не обнаруженных отказов j -ым показателем НДВР с учетом показателей, включенных в перечень информативных на предыдущих шагах преобразования модели; h_j – наибольшее число обнаруженных (не обнаруженных) отказов j -м показателем НДВР в группе на текущем шаге преобразования модели; $l = \overline{1, n}$ – число диагностируемых отказов; $g = \overline{1, m}$ – число групп модели на шагах преобразования.

Конечным итогом преобразования исходной структуры модели является инженерный вариант структуры модели диагностирования отказов заданного перечня, пригодный для практического применения по назначению.

Из приведенного содержания методического обеспечения обнаружения и технического диагностирования отказов ФУ в процессе испытания в составе СУ следует, что при этом обеспечивается также диагностирование отказов в поведении систем до глубины составных ФУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системный подход к ситуационному управлению отказоустойчивостью технических объектов в условиях нештатных ситуаций / В.А. Ушаков, В.С. Дрогайцев, Г.С. Говоренко, С.В. Козлов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. №3. С. 20-27.

2. Ушаков В.А. Построение информационно-управляющих систем обеспечения технических характеристик сложных динамических объектов / В.А. Ушаков // Вестник СГТУ. 2007. №4 (28). Вып. 1. С. 121-135.

Дрогайцев Валентин Серафимович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Valentine S. Drogaytsev – Dr. Sc., Professor
Department of Automation and Technological Processes Control, Gagarin Saratov State Technical University

Крупейников Денис Евгеньевич – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Denis E. Krupeynikov – Postgraduate
Department of Automation and Technological Processes Control, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 004.89

Д.Е. Крупейников, В.С. Дрогайцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ. II

Рассматриваются технологии построения и обучения интеллектуальных систем, и нейронных сетей поддержки методов обнаружения и технического диагностирования отказов функциональных устройств бортовых систем управления летательных аппаратов.

Интеллектуальные системы, нейронные сети, базы данных и знаний, правила принятия решений

D.E. Krupeynikov, V.S. Drogaytsev

METHODS AND SMART TOOLS FOR DETECTING AND DIAGNOSING FAILURES OF FUNCTIONAL DEVICES OF ON-BOARD AIRCRAFT CONTROL SYSTEMS. CONSTRUCTION OF SMART TOOLS. II

The article considers the technology applied for the construction and education of the intellectual systems, including the neural networks supporting the detection and diagnosis of mechanical failures of functional devices within the on-board control systems of aircrafts.

Intelligent systems, neural networks, data and knowledge base, decision rules

В последнее десятилетия в зарубежной и отечественной практике активно ведутся работы по созданию теоретической базы построения и обучения интеллектуальных систем (ИС) и нейронных сетей (НС) [1], определились отрасли, в которых интеллектуальными средствами достигнуты значительные результаты. Однако следует отметить, что в настоящее время наблюдается потребность в разработке и внедрении в производство прикладных интеллектуальных средств для решения инженерных задач.

Данная работа является развитием публикации [1], посвященной проблеме оценки работоспособности, обнаружения и диагностирования отказов функциональных устройств (ФУ) в процессе их испытания в составе бортовых навигационных систем и систем управления (СУ) силовыми установками летательных аппаратов в условиях воздействия заданной последовательности факторов внешней среды.

Определяющими факторами целесообразности применения ИС и НС для поддержки методов обнаружения и диагностирования отказов ФУ в процессе их испытания в составе СУ заданных классов, являются:

- неопределенность числовых значений показателей нечетких дискретных временных рядов (НДВР), характеризующих техническое состояние ФУ;
- необходимость анализа массивов разнородной по природе информации, представленной в нечетком многомерном пространственно-временном описании;
- неопределенность описаний причинно-следственных связей между отказами ФУ, состояниями их выхода, режимами испытания и воздействующими факторами внешней среды;
- необходимость формирования механизмов вывода и правил принятия решений в условиях неопределенности исходных данных и знаний описания технических состояний ФУ;
- целесообразность распараллеливания формальных процедур, механизмов вывода и правил принятия решений в процессах реализации методов обнаружения и диагностирования отказов в поведении ФУ;
- потребность компьютеризации процессов оценивания работоспособности ФУ, обнаружения и диагностирования отказов в их поведении.

Построение интеллектуальных систем

Информационно-процедурная сущность технологии построения и обучения ИС поддержки метода решения проблемной задачи оценивания работоспособности и обнаружения отказов ФУ и ИС поддержки метода решения проблемной задачи диагностирования отказов в поведении устройств определяется решением задач:

- построение концептуальной модели предметной области;
- минимизация состава и понижение размерности состояний нечетких отношений переменных описания технических состояний ФУ;
- синтез баз данных и знаний ИС поддержки методов решения проблемных задач предметной области.

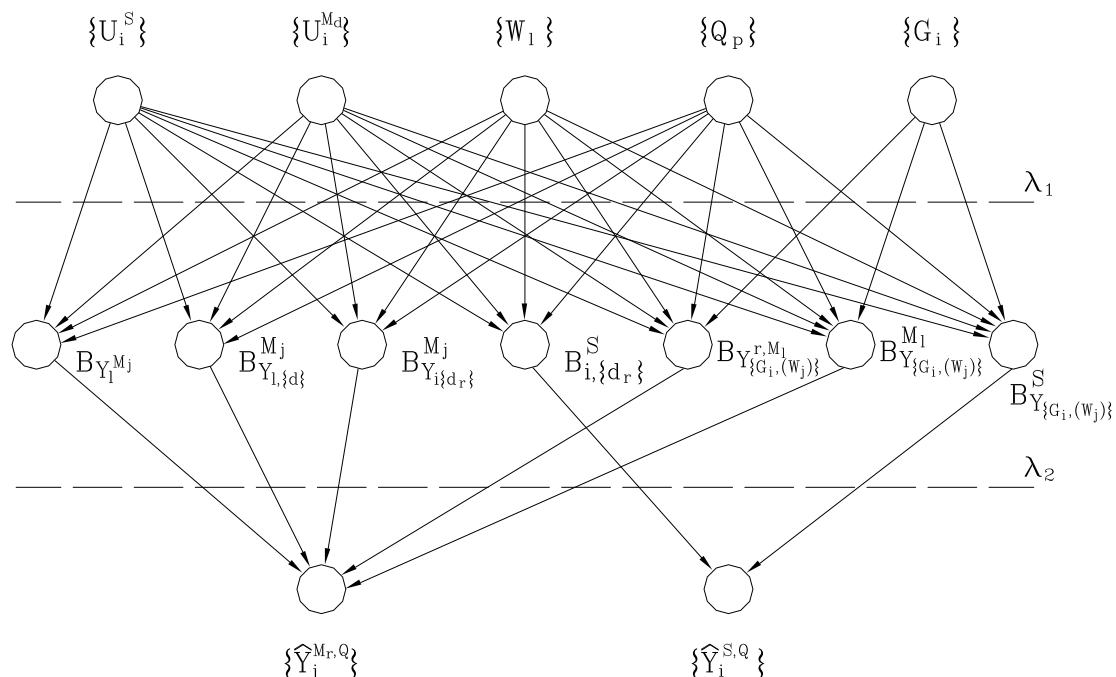


Рис. 1. Фрагмент концептуальной модели предметной области

Применительно к заданным проблемным задачам способ построения концептуальной модели определяется обоснованием структуры и состава переменных, отражающих на каждом уровне структуры нечеткие отношения переменных к области их числовых значений. В данной постановке структура концептуальной модели может быть отождествлена с семантической моделью описания знаний, представленной

направленным графом, вершины которого отражают информационные единицы, а ребра соответствуют связям между информационными единицами, характеризующие семантику нечетких отношений.

На рис. 1 приведен фрагмент двухуровневой (λ_1, λ_2) структуры концептуальной модели, применительно к проблемным задачам данной предметной области, построенный на основе исходных данных и знаний, определяемых заданными видами НДВР [1], где $\{U_i^S\}, \{U_j^{Md}\}$ – управляющее воздействие на СУ, ФУ; $\{W_l\}, \{Q_p\}, \{G_i\}$ – конечные подмножества факторов внешней среды, отказов ФУ, штатных циклов испытания;

$$B_{Y_l^{Mj}} = \bigcup_r^n \tilde{Y}_r^{l,Mj} \left(\{Y_d^{Mj-1}(t) | W_h(t)\}, R^{Mj}(t), Q^{Mj}(t) \right) | \{K_g\}, \{D_l\} -$$

перечень НДВР, формируемых в режиме регистрации в заданных контрольных точках ФУ динамики изменения реакций их составных компонентов на входные управляющие воздействия в условиях влияния соответствующего фактора внешней среды, здесь $\tilde{Y}_r^{l,Mj}$ – l -й параметр j -го ФУ, отражающий числовые значения реакций устройства на входное управляющее воздействия, $r = \overline{1, n}$ – число составных компонентов устройства определяющее трассу навигации реакций в структуре модели ФУ; $Y_d^{Mj-1}(t) | W_h(t)$ – d -е входное управляющее воздействие, сформированное предшествующим ФУ информационного пути структуры модели СУ; W_h , $h = \overline{1, p}$ – h -й фактор внешней среды; R^{Mj} – режим функционирования j -го ФУ; Q^{Mj} – перечень отказов j -го ФУ; K – перечень критериев количественной оценки степени соответствия реакций составных компонентов ФУ заданным требованиям; D – допусковые ограничения реакций;

$$B_{Y_{l,\{d\}}^{Mj}} = \bigcup_d^n \tilde{Y}_d^{l,Mj} \left(\{Y_{id}^{Mj-1}(t) | W_h(t)\}, R^{Mj}(t), Q^{Mj}(t) \right) | \{K_i\}, \{D_l\} -$$

конечное подмножество НДВР второго вида, регистрируемых в режиме дискретного изменения соответствующего управляющего воздействия $(\{Y_{id}^{Mj-1}(t) | d = \overline{1, n}\})$ в условиях влияния h -го фактора внешней среды (W_h); здесь $\tilde{Y}_d^{l,Mj}$ – l -й параметр j -го ФУ, регистрируемый в режиме исполнения последовательности входных управляющих воздействий;

$$B_{i_{\{d,r\}}^{Mj,S}} = \bigcup_d^n \tilde{Y}_d^{l,Mj} \left(\{Y_d^{Mj-1}(t) | W_h(t)\}, R^{Mj}(t), Q^{Mj}(t) \right), \\ \bigcup_d^m \tilde{Y}_d^{i,S} \left(\{Y_d^{Mr}(t) | W_h(t)\}, R^S(t), Q^S(t) \right) | \{K_i\}, \{D_j\} -$$

конечное подмножество показателей НДВР третьего вида отражающих числовые значения выходных параметров ФУ и СУ, регистрируемых в режиме исполнения последовательности входных управляющих воздействий $(d = \overline{1, n})$ в условиях влияния соответствующего фактора внешней среды заданного перечня (W_h), здесь $\tilde{Y}_d^{i,S} | d = \overline{1, m}$ – i -й выходной параметр системы управления, регистрируемый в d -м режиме входного управляющего воздействия;

$$B_{Y_{\{G_i(W_j)\}}^{r,Ml}} = \bigcup_j^n \tilde{Y}_j^{r,Ml} \left(\{Y_p^{Ml-1}(t) | G_i(W_j)\}, R^{Ml}(t), Q^{Ml}(t) \right) | \{K_p\}, \{D_j\} -$$

конечное подмножество показателей НДВР четвертого вида, регистрируемых в режиме исполнения i -го штатного цикла испытания СУ в условиях имитации заданной последовательности факторов внешней среды, представляющих числовые значения выходных параметров ФУ, здесь $Y_{\{G_i(W_j)\}}^{r,Ml}$ – числовые значения r -го параметра l -го ФУ в режиме реализации i -го штатного цикла испытания СУ, в условиях воздействия j -го фактора внешней среды;

$$B_{Y_{\{G_i(W_j)\}}^{Ml,S}} = \bigcup_i^g \bigcup_j^n \tilde{Y}_j^{r,Ml} \left(\{Y_p^{Ml-1}(t) | G_i(W_j)\}, R^{Ml}(t), Q^{Ml}(t) \right), \\ \bigcup_i^g \bigcup_j^n \tilde{Y}_d^{i,S} \left(\{Y_d^{Mr}(t) | G_i(W_j)\}, R^S(t), Q^S(t) \right) | \{K_r\}, \{D_q\} -$$

конечное подмножество показателей НДВР пятого вида, регистрируемых в режиме исполнения заданной последовательности штатных циклов испытания СУ в условиях имитации перечня факторов

внешней среды; $\{\hat{Y}_j^{M_r, Q}\}, \{\hat{Y}_i^{S, Q}\}$ – области числовых значений показателей НДВР, определяющие исходную информационную основу метода технического диагностирования ФУ.

Средствами первого уровня иерархии структуры концептуальной модели (λ_1) на основе анализа нечетких отношений переменных и обучающих выборок, сформированных в результате моделирования заданного перечня отказов в поведении ФУ в условиях воздействия факторов внешней среды критичных к отказам. Решается задача, связанная с выявлением информационно-значимых показателей НДВР в последовательности штатных циклов испытания СУ, обладающих обнаруживающими свойствами применительно к допустимому перечню отказов ФУ.

На втором уровне иерархии концептуальной модели (λ_2) в результате анализа нечетких отношений модели представленных информационно-значимыми показателями НДВР принятых видов к областям их числовых значений ($\{\hat{Y}_j^{M_r, Q}\}, \{\hat{Y}_i^{S, Q}\}$) определяются показатели НДВР, обладающие разделительными свойствами применительно к допустимому перечню отказов ФУ.

В процессе решения задач на первом и втором уровнях концептуальной модели по усмотрению пользователя понижается до требуемого уровня неопределенность нечетких отношений показателей НДВР к областям их числовых значений и повышается до заданного уровня достоверность обнаружения отказов ФУ и диагностирования отказов в их поведении.

Конечные результаты задач, решаемых на первом и втором уровнях концептуальной модели, составляют исходную базу данных и знаний для построения исходной структуры модели диагностирования отказов ФУ. В данной постановке отличительная особенность исходной структуры модели диагностирования отказов от известных моделей состоит в причинно-следственном объединении требуемых составов информационно-значимых показателей НДВР, входных управляющих воздействий, штатных циклов испытания и факторов внешней среды критичных к допустимому перечню отказов, обеспечивающих техническое диагностирование отказов ФУ с заданной глубиной и уровнем достоверности.

Адекватность концептуальной модели процессам обнаружения и диагностирования отказов в поведении ФУ в данной постановке определяется результатами моделирования состояний ФУ и требуемыми объемами обучающих выборок, формируемых в условиях имитации допустимого перечня отказов и последовательности факторов внешней среды в режиме испытания заданного перечня штатных циклов испытания СУ.

В качестве формального аппарата обработки нечетких отношений, представленных состояниями концептуальной модели, в плане перевода данных в знания при построении ИС используется аппарат теории множеств и кванторы: \forall – для всех; \exists – существует.

В работе процесс обучения ИС базируется на использовании формальных процедур методов решения заданных проблемных задач предметной области и сводится к определению правил формирования механизма нечеткого логического вывода, представленного базой данных и знаний соответствующей ИС. При этом формальные процедуры используются в качестве источников извлечения и способов преобразования знаний, обеспечивающих достижение целей в объеме проблемных задач.

Способ организации базы данных и знаний ИС поддержки метода оценки работоспособности и обнаружения отказов ФУ в результате перевода данных в знания определяется соблюдением логических условий вида:

$$\begin{aligned} & \bigcup_i^g B_i Y_j^{M_l}, \bigcup_i^g B_i Y_d^S \mid i = \overline{1, g} \\ & \forall t, Q; \exists U_1(t), \dots, U_n(t); Y_1^{M_j}(t), \dots, Y_p^{M_j}(t); Y_1^S(t), \dots, Y_m^S(t); \\ & W_1(t), \dots, W_q(t); F_1, \dots, F_k; G_1, \dots, G_d; K_1, \dots, K_r; D_1, \dots, D_l \Rightarrow \\ & \text{БСКО} = \{[\bigcup_i^g B_i Y_1^{M_l} U, \dots, \bigcup_i^g B_i Y_j^{M_l} U, \dots, \bigcup_i^g B_i Y_p^{M_l} U, \\ & [\bigcup_i^g B_i Y_1^S U, \dots, \bigcup_i^g B_i Y_d^S U, \dots, \bigcup_i^g B_i Y_m^S U]] \{K_i\} \{D_j\} = \langle S, Q \rangle, \end{aligned} \quad (1)$$

где БСКО – базовый состав координат информационно значимых показателей НДВР на осях пространственно-временной модели, обеспечивающих оценивание работоспособных состояний ФУ и обнаружение отказов в их поведении;

– заданный перечень НДВР, показатели которых отождествлены соответственно с входными параметрами ФУ СУ, здесь $Y_j^{M_l}, Y_d^S \mid j = \overline{1, p}, d = \overline{1, m}$ – числовые значения информационно-

значимых показателей НДВР в многомерном параметрическом пространстве, характеризующие степень соответствия выходных параметров ФУ СУ требованиям ТЗ и ТУ и обеспечивающие обнаружение отказов в их поведении; $U(t)$ – входные управляющие воздействия; Y^{Mj}, Y^S – выходные параметры ФУ СУ; F – информационные пути в структурах моделей ФУ; G – перечень штатных циклов испытания СУ; $\langle S, Q \rangle$ – означает, что сформированный состав показателей НДВР обеспечивает оценку работоспособных состояний (S) и обнаружение заданного перечня отказов (Q) ФУ.

Состав переменных и логическое содержание базы данных и знаний данной ИС (1) составляют исходную основу для синтеза базы данных и знаний ИС поддержки метода технического диагностирования отказов ФУ. Информационная, процедурная и логическая сущность, которой определяется зависимость вида:

$$\begin{aligned} & \forall t, Q; \exists U_1(t), \dots, U_n(t); Y_1^{Mj}(t), \dots, Y_p^{Mj}(t); Y_1^S(t), \dots, Y_m^S(t); \\ & W_1(t), \dots, W_q(t); G_1, \dots, G_d \Rightarrow \\ & \text{БСКО} = \{ [\bigcup_i^g B_i Y_1^{Ml} \cap, \dots, \cap \bigcup_i^g B_i Y_j^{Ml} \cap, \dots, \cap \bigcup_i^g B_i Y_p^{Ml}], \\ & [\bigcup_i^g B_i Y_1^S \cap, \dots, \cap \bigcup_i^g B_i Y_d^S \cap, \dots, \cap \bigcup_i^g B_i Y_m^S] \} \{K_i\} \{D_j\} = \langle S, Q_i \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

где БСКО – базовый состав координат числовых значений информационно-значимых показателей НДВР в многомерном параметрическом пространстве, обеспечивающих диагностирование ФУ; Q_i – означает диагностируемость допустимого перечня отказов ФУ средствами базы данных и знаний ИС.

Логическая организация переменных базы данных и знаний ИС (2) определяет структуру модели диагностирования отказов ФУ. Процесс обучения ИС в рассматриваемой постановке регламентируется заданным составом формализованных процедур методов решения проблемных задач предметной области, реализуемых средствами ИС.

Построение и обучение нейронной сети под предметную область

Предпосылки использования НС в процессах оценивания работоспособности, обнаружения и диагностирования отказов ФУ определяются таким свойством, как распараллеливание алгоритмов в процедурах достижения целей, обучение на ограниченных объемах выборок, принятие решений в условиях неопределенности и неполноты исходных данных и знаний, возможность минимизации алгоритмов анализа технических состояний ФУ и принятие решений.

Технология построения и обучения НС под предметную область требует решение трех задач. Одна из которых связана со структурно-функциональным синтезом сети, определяющим обоснование внутренней структуры модели сети, алгоритма ее функционирования и способа обучения. Вторая задача предполагает параметрический синтез, процедурная и информационная сущность которого определяется принципом формирования эталонных образов, распознаваемых нейронами и слоями сети, определения числовых значений, весовых коэффициентов и алгоритмами построения функций активации. Третья задача связана с обоснованием логических механизмов вывода и правил принятия решений средствами нейронов и скрытых слоев сети применительно к частным и конечным целям, достигаемых в рамках заданных проблемных задач предметной области.

Применительно к решениям проблемных задач оценивания работоспособности, обнаружения и диагностирования отказов ФУ на рис. 2 приведена структурная организация модели НС отражающая навигацию от входного к выходному слоям сети формальных процедур распознавания эталонных образов, формирования функций активации и реализации механизмов и правил принятия решений.

В принятой концепции процессы построения и обучения НС базируются на основе адаптации формальных процедур методов решения проблемных задач, баз данных и знаний ИС поддержки методов, включающих механизмы вывода и правила принятия решений, что способствует сокращению временных циклов построения и обучения сетей и повышению достоверности принимаемых ими решений.

Предполагается, что во времени НС функционирует в темпе регистрации протоколов наблюдения, представленных числовыми значениями показателей НДВР заданных видов, показателями внешней среды и результатами штатных циклов испытания СУ с учетом динамики изменения характерных показателей НДВР в предыстории, обнаруживаемых и хранимых в процессе исполнения заданной последовательности штатных циклов испытания СУ.

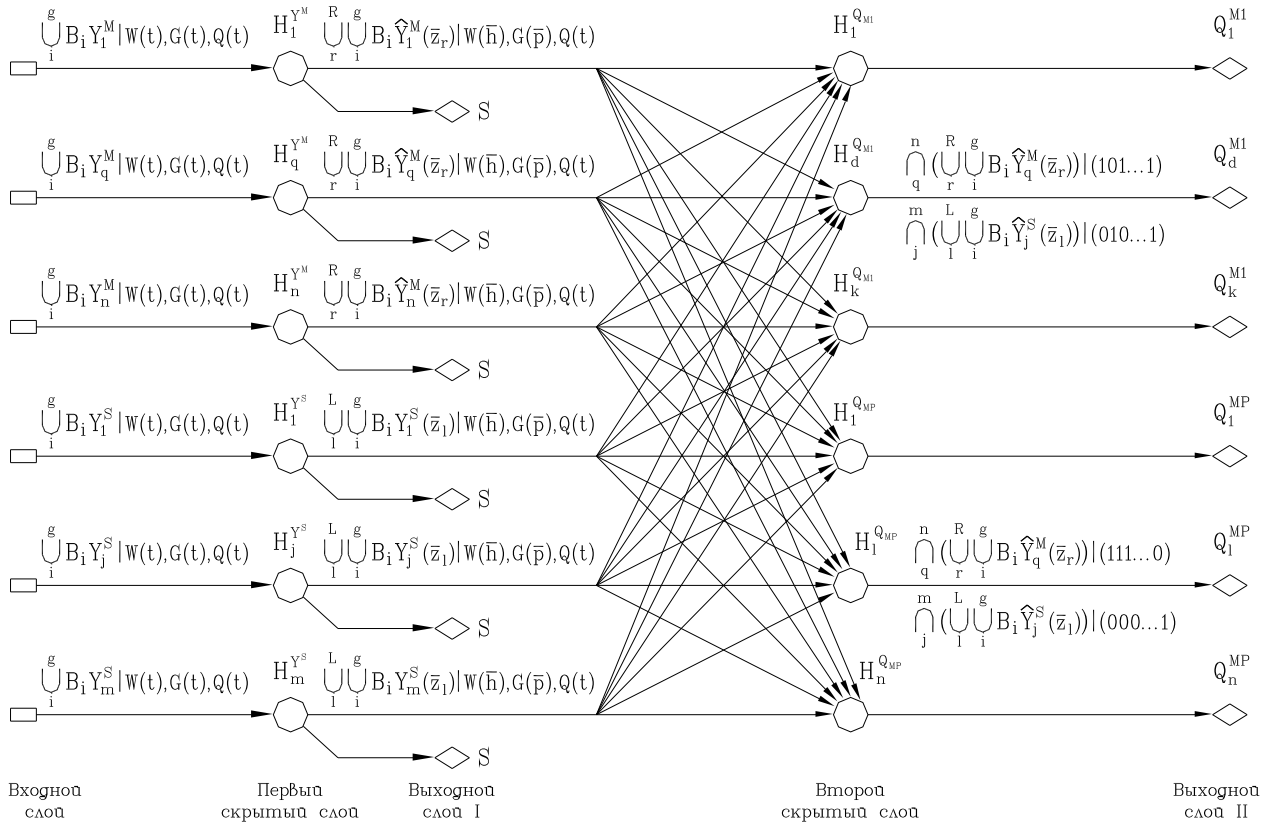


Рис. 2. Структурная организация элементов нейронной сети

$$\left\{ \bigcup_i^g B_i Y_j^{M1} \right\}, \left\{ \bigcup_i^g B_i Y_d^S \right\}$$

Входной слой НС (рис. 2) определяется локальными векторами переменных, представленных конечными подмножествами НДВР (1, 2), перечнем факторов внешней среды $\{W_p\}$ и последовательностью штатных циклов испытания $\{G_j\}$ применительно к допустимому подмножеству отказов ФУ $\{Q_r\}$.

В рассматриваемой постановке перечень внутренних слоев модели сети определен числом проблемных задач предметной области. Состав нейронов первого скрытого слоя сети регламентируется перечнями выходных параметров ФУ и СУ, представляемых последовательностями временных рядов.

В структуре модели НС каждый нейрон первого и второго скрытых слоев представляет собой простейший процессор, распознающий эталонный образ и формирующий соответствующую функцию активации согласно заданной программе.

На входы нейронов первого скрытого слоя сети (рис. 2) отождествляемых с выходными параметрами ФУ $H_q^{Y^M} | q = \overline{1, n}$ и СУ $H_j^S | j = \overline{1, m}$, поступают эталонные образы, определяемые последовательностями НДВР заданных видов:

$$\left(\bigcup_i^g B_i Y_q^M | W(t), G(t), Q(t) \right), \left(\bigcup_i^g B_i Y_j^S | W(t), G(t), Q(t) \right),$$

регламентируемых в процессе исполнения штатных циклов испытания СУ в условиях имитации факторов внешней среды (W_j, G_i) , здесь $q = \overline{1, n}$ – число выходных параметров ФУ, $j = \overline{1, m}$ – число выходных параметров системы управления, i – число видов НДВР. Весовые коэффициенты синоптических связей определяются условием:

$$K_M = \begin{cases} 1, & \text{если } \bigcup_i^g B_i Y_q^M | W(t), G(t), Q(t) \in R^Q \\ 0, & \text{если } \bigcup_i^g B_i Y_q^M | W(t), G(t), Q(t) \notin R^Q \end{cases} \quad (3)$$

$$K_S = \begin{cases} 1, & \text{если } \bigcup_i^g B_i Y_j^S \mid W(t), G(t), Q(t) \in R^Q \\ 0, & \text{если } \bigcup_i^g B_i Y_j^S \mid W(t), G(t), Q(t) \notin R^Q \end{cases} \quad (4)$$

R^Q – область многомерного параметрического пространства распределения числовых значений показателя НДВР за пределами допусковых ограничений.

Распознавание эталонных образов нейронами первого скрытого слоя сети заключается в отображении пространства признаков, представленного показателями НДВР, показателями состояний внешней среды и результатами исполнения штатных циклов испытания, в пространство решений в виде функций активации, характеризующих класс неработоспособных состояний обладающих свойствами обнаружения отказов ФУ. При этом каждым нейроном этого слоя выполняется нечеткое правило вида, если хотя бы один показатель заданного перечня НДВР в заданных условиях превысил допусковые условия и весовые коэффициенты синоптических связей согласно условий (3, 4) принимают числовые значения «1», то нейрон формирует функцию активации, отражающую неработоспособное состояние соответствующего ФУ. Если данное условие не соблюдается, то весовые коэффициенты принимают числовые значения равные «0», что соответствует работоспособным состоянием ФУ.

Согласно содержанию базы данных и знаний ИС (1) числовые значения функции активации (рис. 2), формируемых нейронами первого скрытого слоя сети на основе регистрации и анализа эталонных образов, представленных показателями НДВР, регистрируемых на выходах ФУ и СУ определяются зависимостями, соответственно:

$$\bigcup_{r=L}^R \bigcup_{i=1}^g B_i \hat{Y}_q^M(\bar{z}_r) \mid W(\bar{h}), G(\bar{p}), Q, \quad (5)$$

$$\bigcup_{l=1}^L \bigcup_{i=1}^g B_i \hat{Y}_j^S(\bar{z}_l) \mid W(\bar{h}), G(\bar{p}), Q, \quad (6)$$

где $\bar{z}, \bar{h}, \bar{p}$ – вектора признаков, показателей выходных параметров ФУ и СУ, внешней среды и штатных циклов испытания СУ; $q = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – число выходных параметров ФУ СУ; символ « \wedge » – отражает измеренное числовое значение показателя НДВР (выходного параметра).

По результатам анализа функций активации (5, 6) сеть принимают решения или ФУ СУ являются работоспособными $\{S_i\}$, или в их поведении имеют место один или несколько отказов $\{Q_j^M\}$. Здесь $i = \overline{1, p}$ – число ФУ в составе соответствующей СУ, $j = \overline{1, k}$ – число отказов в поведении ФУ.

Функции активации, формируемые нейронами первого скрытого слоя составляют информационную основу эталонных образов, распознаваемых нейронами второго скрытого слоя сети, образуемых на основе распознавания эталонных образов (5, 6) и правил принятия решений, определяемых базой данных и знаний ИС (2), согласно состава НДВР заданных видов, характеризуются зависимостями вида, на примере p -го ФУ (рис. 2):

$$\bigcap_q^n \left(\bigcup_{r=L}^R \bigcup_{i=1}^g B_i \hat{Y}_q^M(\bar{z}_r) \right) \mid W(\bar{h}), G(\bar{p}), Q_i^M, \quad (7)$$

$$\bigcap_j^m \left(\bigcup_{l=1}^L \bigcup_{i=1}^g B_i \hat{Y}_j^S(\bar{z}_l) \right) \mid W(\bar{h}), G(\bar{p}), Q_i^M, \quad (8)$$

где $q = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – соответственно, число выходных параметров ФУ и СУ.

В процессе функционирования ИС каждым нейроном второго скрытого слоя реализуется нечеткое правило, если функции активации, формируемые нейронами первого скрытого слоя идентифицируются в соответствующей кодовой комбинации показателей НДВР, определяемых моделью диагностирования отказов ФУ, то функция активации, формируемая нейроном констатирует факт диагностирования отказа соответствующего ФУ, в остальных случаях нейрон оказывается пассивным.

Таким образом, каждый нейрон первого скрытого слоя в процессе функционирования сети всегда является активным (возбужденным), а каждый нейрон второго скрытого слоя является активным только в ситуации диагностирования соответствующего отказа.

Выходной слой НС представлен двумя слоями, соответственно выходной слой I, определяемый функциями активации первого скрытого слоя, характеризует работоспособные состояния ФУ (S), а выходной слой II отражает результаты диагностирования в их поведении $\{Q_i\}$.

В работе способы и алгоритмы обучения ИС и НС на стадии их построения реализованы, главным образом, в направлении приведения нечетких описаний средствами НДВР ФУ, состояний внешней среды и результатов исполнения штатных циклов испытаний ФУ в составе СУ к частично нечетким, а также в направлении понижения уровня неопределенности переменных в механизмах вывода и правилах принятия решений по достижению частных и конечных целей в объеме проблемных задач предметной области. При этом методы, способы и алгоритмы обучения условно характеризуются тремя этапами. На первом из них в результате моделирования физических образцов ФУ в условиях имитации заданного перечня отказов в их поведении и имитации факторов внешней среды критичных к отказам на основе анализа обучающих выборок выявляются причинно-следственные связи между переменными применительно к отказам и агрегируются информационно-значимые НДВР, обладающие обнаруживающими и разделительными свойствами относительно заданного перечня отказов ФУ. На втором этапе синтезируются базы данных и знаний ИС, организуется и минимизируется исходная структура модели диагностирования отказов ФУ, составляющие логический формализм правил принятия решений. Третий этап связан с синтезом эталонных образов, с определением числовых значений весовых коэффициентов, с формированием функций активации механизмов вывода и правил принятия решений средствами НС.

Рассмотренные в работе методы, способы и алгоритмы построения и обучения ИС и НС обеспечения процессов оценивания работоспособности ФУ, обнаружения и диагностирования отказов в их поведении являются управляемыми пользователем в плане достижения требуемой полноты описания технического состояния ФУ, глубины диагностирования отказов и заданной достоверности принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупейников Д.Е. Методические и интеллектуальные средства обнаружения и диагностирования отказов функциональных устройств бортовых систем управления летательных аппаратов. I / Д.Е. Крупейников, В.С. Дрогайцев // Вестник СГТУ. 2013. № 1 (69). С. 180-190.

Дрогайцев Валентин Серафимович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Valentine S. Drogaytsev – Dr. Sc., Professor
Department of Automation and Technological Process Control,
Gagarin Saratov State Technical University

Крупейников Денис Евгеньевич – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Denis E. Krupeynikov – Postgraduate
Department of Automation and Technological Processes Control,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 04.11.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК: 519.2

А.И. Сайкин, А.А. Чурикова

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ДВУХМОМЕНТНОЙ АППРОКСИМАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВРЕМЕНИ

Предлагается приближенный метод расчета характеристик замкнутых и разомкнутых неэкспоненциальных сетей систем массового обслуживания, основанный на применении формулы Поллачека-Хинчина для одиночных узлов сети,

распространяемый на всю сеть, который обладает достаточно малой погрешностью и достаточно прост в применении.

Характеристики неэкспоненциальных сетей систем массового обслуживания

A.I. Saikin, A.A. Churikova

AN APPROXIMATE METHOD FOR CALCULATING CHARACTERISTICS OF STOCHASTIC NETWORK MODELS OF COMPUTING SYSTEMS WITH ELEMENTS OF MODELING

We propose an approximate method for calculating the characteristics of closed and open nonexponential network queuing systems based on the use of Pollaczek-Khinchin formula which has a relatively small error rate, and is relatively easy to use.

Characteristics of nonexponential networks of queuing systems

В различных приложениях, но особенно широко при анализе вычислительных систем, используются в качестве математической модели сети систем массового обслуживания (СМО) с очередью и ожиданием [1, 2]. Точные методы расчета характеристик существуют только для экспоненциальных сетей, в которых время поступления и обслуживания заявок распределены по экспоненциальному закону:

$$f(t) = \mu * \exp(-\mu t), \quad (1)$$

где: μ – интенсивность обслуживания в СМО:

$$\mu = 1/\bar{t},$$

\bar{t} – среднее время обслуживания в СМО.

Однако для сетей, в которых время обслуживания распределено по произвольному закону или же входной поток не является простейшим, точных методов расчета характеристик сети пока не найдено. Для общих случаев с произвольно распределенным временем следования заявок во входном потоке и произвольно распределенным временем обслуживания GI/GI/1 по классификации Кендала применяются приближенные методы расчета характеристик: метод псевдосостояний [3], диффузионная аппроксимация [4] или статистическое имитационное моделирование. Но эти методы требуют или громоздких вычислений, или же дают результаты с большой погрешностью, что особенно проявляется для сетей большой размерности.

В данной работе рассматривается приближенный метод расчета характеристик сети СМО, который отличается от прочих в первую очередь своей простотой и достаточной точностью.

Идея метода состоит в применении модели Поллачека-Хинчина при расчете характеристик искомой сети, которая выведена для разомкнутой сети СМО с простейшими входными потоками и произвольно распределенным временем обслуживания заявок:

$$L = \rho^2 (1 + V^2) / (1 - \rho) / 2, \quad (2)$$

где L – длина очереди, ρ – коэффициент загрузки СМО, V – коэффициент вариации времени обслуживания.

1. Применение метода к разомкнутой сети СМО

Идея метода для разомкнутой сети СМО состоит в том, что в однородный поток заявок, поступающих в сеть из источника, вводится дополнительный поток заявок, который делает входной поток неоднородным. Пусть в потоке присутствуют заявки первого, заданного, типа и второго, дополнительно введенного. Потребуем, чтобы дополнительно введенный тип заявок обладал такими параметрами распределения времени, которые превращают входной поток заявок в простейший. В качестве параметров распределения математическое ожидание и коэффициент вариации. Аналитически решить задачу подбора достаточно сложно, но с помощью статистического имитационного моделирования это можно сделать практически всегда [5]. Допустим, что входной поток обобщенных заявок во всех узлах сети стал простейшим. После чего можно рассчитать характеристики узлов сети с помощью формулы Поллачека-Хинчина. Таким образом, приближенный метод основывается на двухмоментной аппроксимации распределения времени обслуживания и времени поступления заявок и указанных допущениях.

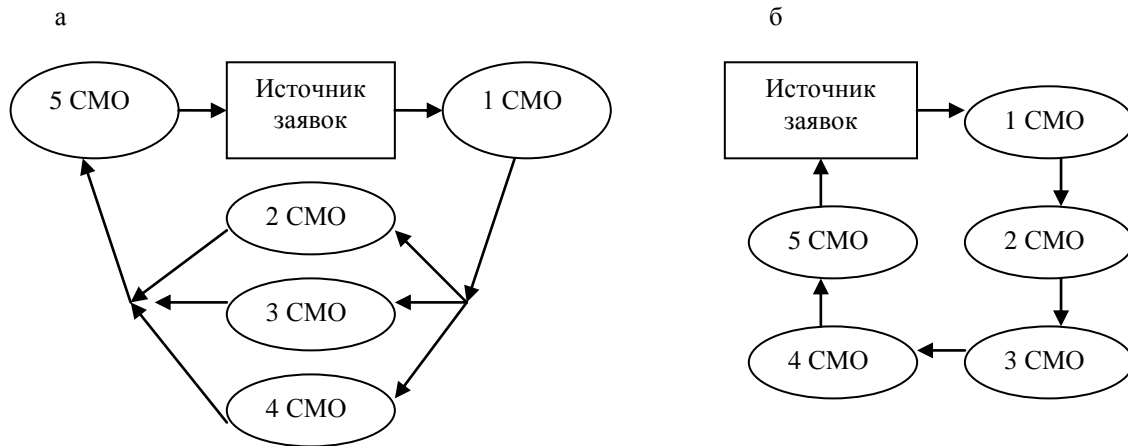


Рис. 1. Примеры разомкнутых сетей СМО

1.1. Формирование дополнительного потока в источнике заявок

Рассмотрим СМО с не простейшим входным потоком и произвольно распределенным временем обслуживания заявок. С помощью имитационного моделирования подберем корректирующий поток заявок из источника интенсивности λ_2^* таким образом, чтобы поток заявок обобщенного типа, поступающий из источника, стал простейшим. При этом требуем, чтобы λ_2^* было минимальным, а коэффициент вариации распределения времени следования заявок V_{e_2} выбирается не превосходящим 5, что соответствует большинству практических случаев.

Для нахождения коэффициента вариации результирующего потока обобщенных заявок использовалось статистическое моделирование. В проведенном машинном эксперименте объем выборки был равен 30000. При этом коэффициент вариации обобщенного потока

$$V_{ou} = \sqrt{D_{ou}} / \bar{t}_{ou}, \quad (3)$$

где D_{ou} – дисперсия обобщенного потока, \bar{t}_{ou} – среднее время обслуживания обобщенных заявок в источнике достигал значения единицы.

При моделировании из множества вариантов выбирался случай с наименьшей интенсивностью обобщенного потока при заданных ограничениях на значение коэффициента вариации.

1.2. Расчет характеристик разомкнутой неэкспоненциальной сети СМО

Разомкнутая неэкспоненциальная сеть может иметь произвольную конфигурацию, задаваемую матрицей передач P , размером $(N + 1)(N + 1)$ – по количеству СМО плюс источник заявок. Для каждой СМО сети должны быть указаны интенсивность обслуживания μ_j и коэффициент вариации времени обслуживания V_j . Для источника указывается интенсивность источника λ_{1u} и коэффициент вариации V_u для исходящего из источника потока заявок. Расчет характеристик включает в себя несколько этапов.

Сначала осуществляется проверка существования в разомкнутой сети СМО стационарного режима. Для этого из системы (4) находим λ_{1j} ($j = 1, \dots, N$):

$$\lambda_{1j} = \sum_{i=1}^N p_{ij} \lambda_{1i}, \quad (j = 1, \dots, N), \quad (4)$$

где p_{ij} – вероятность перехода из СМО i в СМО j .

Коэффициенты загрузки СМО сети ρ_j заявками заданного типа, как известно, равны

$$\rho_j = \lambda_{1j} / \mu_j, \quad (j = 1, \dots, N). \quad (5)$$

Если все ρ_j меньше 1, то в сети существует стационарный режим, характеристики которого могут быть рассчитаны. В этом случае определяются параметры корректирующего потока, генериру-

емого источником в соответствии с пунктом 1.1. Далее для каждой СМО сети, исходя из сделанных ранее допущений, находим среднюю длину очереди по известной формуле Поллачека-Хинчина:

$$\bar{L}_{0j} = \rho_{0j}^2(1 + V_j^2)/(1 - \rho_{0j})/2, (j = 1, \dots, N), \quad (6)$$

где $\rho_{0j} = \lambda_{0j}/\mu_j$, $\lambda_{0j}, (j = 1, \dots, N)$ – интенсивности поступления заявок обобщенного типа, $\mu_j, (j = 1, \dots, N)$ – интенсивности обслуживания заявок заданного типа.

Затем от очереди обобщенных заявок переходим к очереди заявок заданного типа по очевидным соотношениям:

$$\bar{l}_{1j} = \bar{L}_{0j} \lambda_{1j}/\lambda_{0j}, (j = 1, \dots, N), \quad (7)$$

где \bar{l}_{1j} – длина очереди к СМО сети из заявок заданного типа 1, \bar{L}_{0j} – длина очереди к СМО, найденная по формулам (6).

По характеристикам каждой СМО сети можно рассчитать характеристики сети в целом. Например, средняя длина очереди в сети

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^N \bar{l}_{1j}, (j = 1, \dots, N), \quad (8)$$

где \bar{l}_{1j} – длина очереди к СМО.

Среднее число заявок

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^N m_{1j}, (j = 1, \dots, N), \quad (9)$$

где m_{1j} – среднее число заявок в СМО j .

Среднее время ожидания в очереди

$$\bar{W}_{1j} = \bar{l}_{1j} / \lambda_{1j}, (j = 1, \dots, N) \quad (10)$$

Среднее время пребывания в СМО j

$$\bar{U}_{1j} = \bar{W}_{1j} + 1/\mu_j. (j = 1, \dots, N) \quad (11)$$

Были проведены исследования предлагаемого метода расчета характеристик. Рассматривались разомкнутые неэкспоненциальные сети СМО конфигурации, представленной на рис. 1а, б. Коэффициент загрузок узлов заявками обобщенного типа подбирался менее 1. Коэффициент вариации времени обслуживания заявок корректирующего типа в источнике искался в пределах от 0 до 5. В свою очередь коэффициент вариации времени обслуживания заявок корректирующего потока при определении параметров потока заявок заданного типа в узлах [5] не использовался, что делает этот метод более простым.

Средняя длина очереди оценивались с помощью статистического имитационного моделирования сети СМО, которое принималось за эталонное значение. Кроме того, для сравнения брались результаты для экспоненциальной модели, при расчете параметров которой двухмоментная аппроксимация заменялась одномоментной. Так же для сравнения брались результаты для модели с простейшими входными потоками и неэкспоненциальными потоками обслуживания заявок, для которых применима формула Поллачека-Хинчина (2).

Полученные результаты для разомкнутых сетей, представленных на рис. 1а, б, наглядно изображены на рис. 2а, б соответственно.

Таким образом, полученные результаты показывают, что погрешности предлагаемого метода слабо зависят от конфигурации рассчитываемых сетей СМО.

Так же рассматривались сети СМО, в которых коэффициенты загрузок предполагались одинаковыми, а коэффициенты вариации времени обслуживания заявок в узлах предполагались различными. Результаты представлены на рис. 3 а, б.

Таким образом, для разомкнутой сети СМО из полученных результатов следует, что предлагаемый метод наиболее эффективен в случае, когда коэффициент времени обслуживания заявок во всех узлах сети не превышает 1. Однако в остальных случаях предлагаемый метод даёт погрешности не хуже, чем прочие методы.

Кроме того, данный метод легко распространяется и на замкнутые сети СМО.

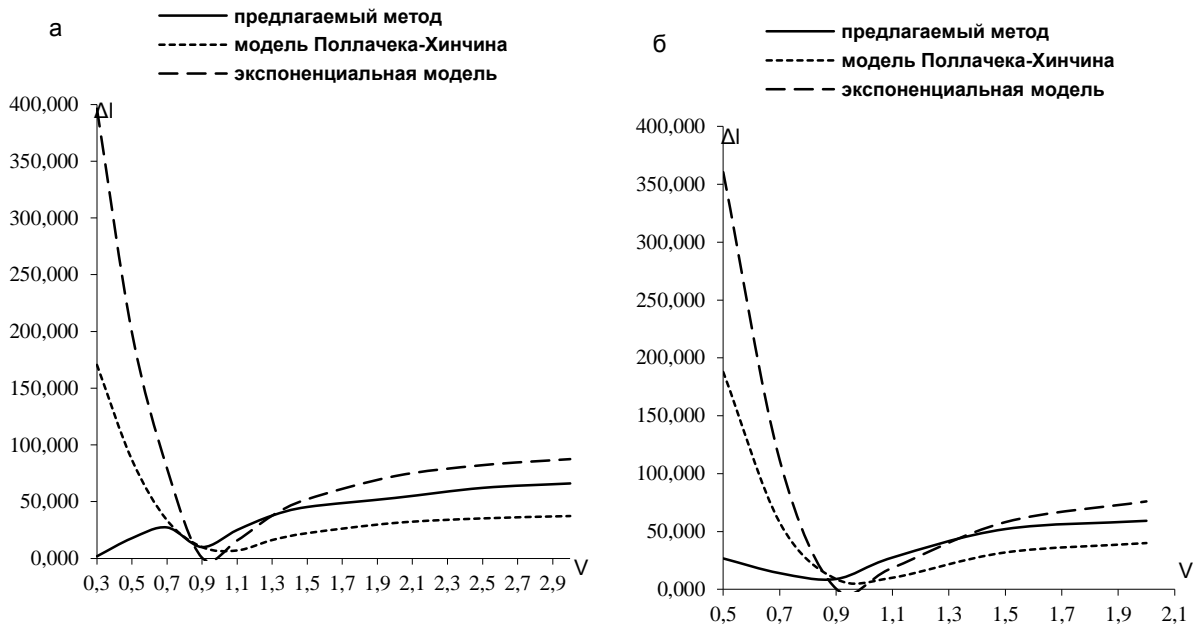


Рис. 2. Относительная погрешность общей длины очереди сети при различных коэффициентах вариации времени обслуживания заявок в узлах сети, причем ΔI – относительная погрешность в процентах, V – коэффициент вариации времени обслуживания заявок во всех узлах сети; а – для модели представленной на рис. 1 а; б – для модели, представленной на рис 2 б

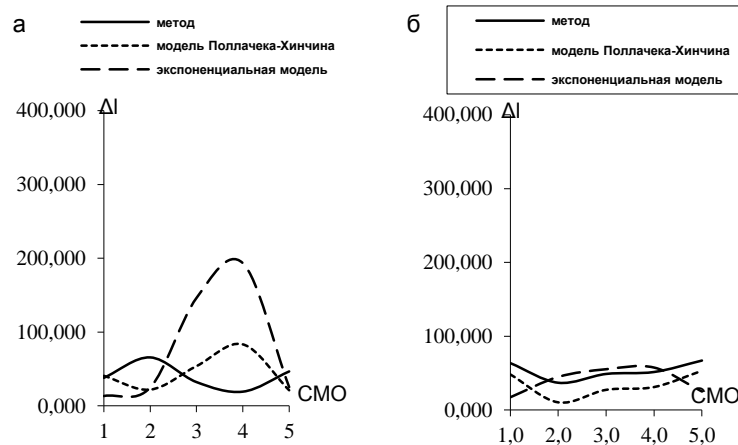


Рис. 3. Относительная погрешность длины очереди в узле при применении различных моделей, причем ось ΔI – относительная погрешность длины очереди в процентах, ось СМО – номер узла в сети; а – для коэффициента вариации времени обслуживания заявок в источнике, во 2-м, 3-м, 4-м узлах сети, равного 0,5, и для коэффициента вариации времени обслуживания заявок в 1-м и 5-м узлах, равного 1,5, б – для коэффициента вариации времени обслуживания заявок в источнике, во 2-м, 3-м, 4-м узле сети, равном 1,5, и для коэффициента вариации времени обслуживания заявок в 1-м и 5-м узлах, равного 0,5

2. Применение метода к замкнутой сети СМО

Идея предлагаемого метода для замкнутой сети СМО состоит в том, что сначала рассчитывается одним из известных способов замкнутая, однородная, т.е. обслуживающая заявки только одного типа, экспоненциальная сеть СМО с заданными параметрами [1], определяется реальная интенсивность поступления заявок в каждый узел экспоненциальной сети. Т.к. заданная сеть неэкспоненциальная, то для определения результатов необходимо продолжить процесс вычисления, применяя предлагаемый метод. К каждому узлу при найденных интенсивностях поступления и заданных интенсивностях обслуживания заявок применяется формула Поллачека-Хинчина (2).

Предполагается, что существует такой экспоненциальный узел, длина очереди к которому совпала бы с найденной по формуле Поллачека-Хинчина длиной, откуда находится коэффициент загрузки найденного экспоненциального узла и новые интенсивности обслуживания заявок. При

найденных интенсивностях поступления и обслуживания заявок рассчитывается экспоненциальная сеть, а длины очереди к узлам данной сети принимаются за искомые.

2.1. Расчет характеристик замкнутой неэкспоненциальной сети СМО

Замкнутая неэкспоненциальная сеть может иметь произвольную конфигурацию, задаваемую матрицей передач P , размером $N \times N$ – по количеству СМО. Для каждой СМО сети должны быть указаны интенсивность обслуживания заявок в сети μ_{uj} и коэффициент вариации времени обслуживания заявок V_j , который определяется как отношение:

$$V_j = \sqrt{D_j / \bar{t}_j}, (j = 1, \dots, N), \quad (12)$$

где D_j – дисперсия времени обслуживания заявок в СМО j .

Сначала, предполагая, что условная интенсивность поступления заявок в 1-ю СМО равна 1, из системы (13) находят условные интенсивности поступления заявок в каждый узел сети:

$$\lambda_{yj} = \sum_{i=1}^N p_{ij} \lambda_{yi}, (j = 1, \dots, N), \quad (13)$$

где p_{ij} – вероятность перехода из i -й СМО в j -ю СМО.

Далее при применении метода считаем, что потоки между узлами сети простейшие.

Используя параметрический метод, рассчитываем экспоненциальную сеть при заданных μ_{uj} и найденных λ_{yj} . Находим безусловные интенсивности поступления в СМО сети λ_j . Далее для каждого отдельного узла с заданными интенсивностями обслуживания заявок μ_{uj} и коэффициентами вариации времени обслуживания заявок V_j , а также найденными интенсивностями поступления заявок λ_j по формуле Поллачека-Хинчина находим длину очереди:

$$\bar{L}_{0j} = \rho_{0j}^2 (1 + V_j^2) / (1 - \rho_{0j}) / 2, (j = 1, \dots, N), \quad (14)$$

где $\rho_{0j} = \lambda_j / \mu_{uj}$.

После этого считаем, что существует такой экспоненциальный узел, у которого длина очереди, найденная по формуле:

$$l_{ej} = \rho_j^2 / (1 - \rho_j), (j = 1, \dots, N), \quad (15)$$

совпадает с результатом, полученным по формуле (14). При данном равенстве величин из (15) находим значение величин ρ_j , откуда из формулы

$$\mu_j = \lambda_j / \rho_j, (j = 1, \dots, N), \quad (16)$$

получаем новые интенсивности обслуживания заявок.

С полученными параметрами, снова рассчитывая экспоненциальную сеть, характеристики которой принимаем за искомые.

Были проведены исследования предлагаемого метода. Рассматривались модели замкнутых сетей СМО с произвольно распределенным временем обслуживания заявок, представленные на рис. 1 при исключенном источнике заявок. Число заявок выбиралось не меньше 10, так как иначе очереди к узлам сети были минимальны, и анализировать полученные результаты не имело смысла.

Средняя длина очереди оценивалась с помощью статистического имитационного моделирования, принимаемого за эталонное. Так же для сравнения рассматривались результаты экспоненциальной сети, при расчете параметров которой использовалась одномоментная аппроксимация и предполагались простейшими потоки поступления и обслуживания заявок.

Полученные результаты аналогичны результатам, полученным для разомкнутых сетей.

Пример. В качестве примера рассмотрим модель замкнутой сети, заданную матрицей передач

$$P = \begin{vmatrix} 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Интенсивность обслуживания заявок в узлах сети возьмем равными $\mu_{u1} = \mu_{u5} = 2$ и $\mu_{u2} = \mu_{u3} = \mu_{u4} = 0.5$, коэффициент вариации времени обслуживания заявок $V_j = 2, (j = 1, \dots, N)$. Число заявок, циркулирующих в сети, рассмотрим равным 15. Для определенности положим $\lambda_{y1} = 1$. Тогда из системы (13) получаем, что $\lambda_{y2} = \lambda_{y4} = 0.3$, $\lambda_{y3} = 0.4$, $\lambda_{y5} = 1$.

Используя параметрический метод, рассчитываем экспоненциальную сеть при заданных μ_{uj} и найденных λ_{yj} . Находим безусловные интенсивности поступления в СМО сети λ_j :

$$\lambda_1 = 1.21; \lambda_2 = 0.36; \lambda_3 = 0.48; \lambda_4 = 0.36; \lambda_5 = 1.21$$

Далее по формуле (14) находим длину очереди к каждому узлу:

$$\bar{L}_{01} = 2.286695; \bar{L}_{02} = 4.727629; \bar{L}_{03} = 65.385476; \bar{L}_{04} = 4.727629; \bar{L}_{05} = 2.286695$$

После этого считаем, что существует такой экспоненциальный узел, длина очереди к которому, найденная по формуле (15), совпадает с результатом, полученным по формуле (14). Решая квадратное уравнение относительно ρ_j , получаем:

$$\rho_1 = 0.752; \rho_2 = 0.848; \rho_3 = 0.985; \rho_4 = 0.848; \rho_5 = 0.752.$$

По формуле (16) находим интенсивности обслуживания заявок и вновь применяя параметрический метод при расчете экспоненциальной сети с полученными интенсивностями поступления и обслуживания заявок, находим длину очереди к узлам сети:

$$\bar{l}_1 = 1.276437; \bar{l}_2 = 2.05907; \bar{l}_3 = 4.143145; \bar{l}_4 = 2.05907; \bar{l}_5 = 1.276437.$$

Полученные результаты в сравнении с экспоненциальной моделью представлены на рис. 4.

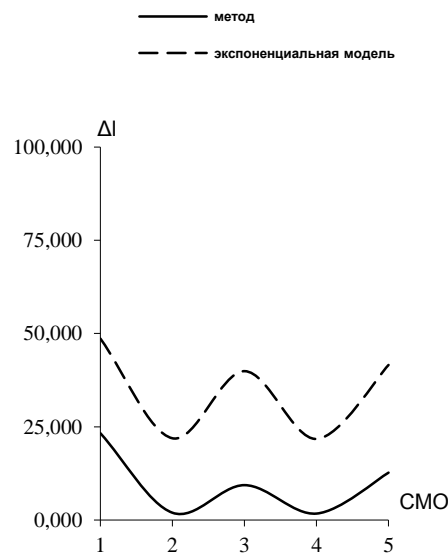


Рис. 4. Относительная погрешность длины очереди в узле, причем ось Δl – относительная погрешность длины очереди в процентах, СМО – номер узла в сети

Таким образом, для замкнутой сети СМО предлагаемый метод прост в реализации и не требует сложных вычислений по сравнению с диффузионной аппроксимацией, и в особенности с методом псевдосостояний, который наиболее трудоемок.

Точность данного метода лучше, чем при замене неэкспоненциальной модели экспоненциальной, т.е. двухмоментная аппроксимация улучшает результаты.

Предлагаемый метод, в отличие от метода Поллачека-Хинчина, который не учитывает количество заявок, циркулирующих в сети, не искажает свойства линейности замкнутой сети СМО.

По этой причине метод может быть распространен на сети произвольной конфигурации с произвольным количеством узлов [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кофман А. Массовое обслуживание. Теория и приложения / А. Кофман, Р. Крюон. М.: Мир, 1965. С. 302.

2. Основы теории вычислительных систем / под ред. С.А. Майорова. М.: Высш. шк., 1978. С. 408.
3. Венцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Венцель. М.: Сов. радио, 1972. С. 552.
4. Кругликов В.К. Анализ и расчет сетей массового обслуживания с использованием двумерной диффузионной аппроксимации / В.К. Кругликов, В.Н. Тарасов // Автоматика и телемеханика. № 8. М.: АН СССР, 1983. С. 74-83.
5. Сайкин А.И. Приближенный метода расчета характеристик разомкнутой неэкспоненциальной сети систем массового обслуживания / А.И. Сайкин, А.А. Чурикова // Вестник СГТУ. 2011. №3 (57). Вып. 1. С. 188-195.
6. Чурикова А.А. Вычисление нормирующего множителя для замкнутой экспоненциальной сети большой размерности. С.: XXLLL Международная научная конференция. Математические методы в технике и технологиях ММТТ-23. Т. 9. Сек. 10. 2010. С. 196-198

Сайкин Александр Иванович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Программное обеспечение вычислительной
техники и автоматизированных систем»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Alexandr I.Saikin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Software for Computers
and Automated Systems
Gagarin Saratov State Technical University

Чурикова Анна Александровна –
соискатель кафедры
«Программное обеспечение вычислительной
техники и автоматизированных систем»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Anna A. Churikova –
Postgraduate
Department of Software for Computers
and Automated Systems
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 23.03.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 004.315.4+004.052.2

А.О. Соколов, Л.А. Блюштейн

ЗАЩИЩЕННЫЙ МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Рассматривается возможность оснащения современных микроконтроллеров расширенной периферией, такой как MMU и MPU. Проблема является следствием ограниченности элементной базы для специального применения (авиация, космос, атомная энергия), что приводит к невозможности использования многих современных операционных систем реального времени. Предложения, приведенные в статье, реализованы и исследованы на технической базе ОАО «КБ Электроприбор».

Микроконтроллер, модуль управления памятью (MMU), модуль защиты памяти (MPU), операционные системы реального времени (RTOS)

A.O. Sokolov, L.A. Blushtein

A PROTECTED MEMORY MANAGEMENT UNIT FOR MICROCONTROLLERS

The article describes the possibility of providing modern microcontrollers with MMU and MPU systems. The problem is the consequence of insufficiency the fundamental basis for specific applications (aviation, space, nuclear energy), which makes impossible using modern real time operating systems. The proposals presented the paper are implemented and tested on the technical basis of the «KB Electropribor» company.

Microcontroller, memory management unit (MMU), memory protection unit (MPU), real time operating system (RTOS)

Введение

В последнее время при разработке встраиваемых систем все большее предпочтение отдается операционным системам реального времени (RTOS – Real Time Operating System) как основному инструментарию. Ускорение разработки, повышение тестируемости, гибкости и удобства сопровождения – все это плюсы, приобретаемые благодаря использованию RTOS.

В то же время многие микроконтроллеры, часто используемые во встраиваемых системах и оснащенные мощной периферией, могут не иметь блока управления памятью (MMU – Memory Management Unit) или блока защиты памяти (MPU – Memory Protect Unit). Это исключает возможность использования многих распространенных RTOS. Примером могут являться микроконтроллеры с архитектурой ядра ARM серий Cortex-Mx [1].

Возможным решением является самостоятельная аппаратная реализация MMU. Современные электронные компоненты позволяют выполнять манипуляции с системной шиной быстрее времени доступа к памяти, т.е. с точки зрения программы – моментально. Это позволяет сохранить быстрое действие контроллера и упростить механизм интеграции.

Аппаратная реализация MMU

Подход требует наличия возможности модификации адреса на шине. Для этого модуль управления памятью должен функционально располагаться между процессором и памятью. Выполнение данного условия возможно только при работе с внешней памятью. В связи с этим далее рассматриваться будут только микроконтроллеры, системная шина которых имеет внешние выводы. Как правило, это микроконтроллеры в достаточно больших корпусах с расширенной периферией.

Минимальный набор функций для MMU [2] страничного типа:

- осуществление преобразования виртуального адреса в физический;
- переключение страницы памяти;
- защита управляющих регистров MMU от пользовательских программ.

Под механизмом переключения страницы подразумевается системная функция RTOS, предназначенная для изменения значения в регистре номера страницы (PNR – Page Number Register). Виртуализация не обязательна для всего адресного пространства. На практике чаще всего рассматриваются случаи, когда определенные участки памяти (обычно – часть RTOS и разделяемая процессами память) являются общими для всех процессов. Значение в PNR имеет значение только для области пользовательской программы.

Механизм переключения страницы может быть реализован с помощью таблицы страниц (PT – Page Table). В большинстве случаев, структура и способ организации данных в таблице определены архитектурой RTOS [3], поэтому для обеспечения гибкости системы, эта часть механизма должна быть реализована программно средствами используемой RTOS.

Защита MMU

Защита PNR и PT от несанкционированного доступа позволит гарантировать сохранность данных программ от искажения вследствие ошибки или вредоносного кода. Для этого можно воспользоваться различными методами. Рассмотрим основные из них.

Защита кодовой комбинацией. Данный метод уже нашел широкое применение в микропроцессорной технике для защиты от записи flash-памяти. Для того чтобы выполнить необходимое действие, системе необходимо выполнить заранее определенный набор действий (например, запись определенных слов по определенным адресам или подача определенной последовательности сигналов). В ответ на кодовую посылку, аппаратная часть открывает доступ к защищаемой части.

Одно из преимуществ такой реализации в том, что нет необходимости в защищенном режиме – шанс ошибочного воспроизведения кодовой посылки обратно пропорционален её сложности. Но отсутствие защищенного режима вносит и определенные недостатки – невозможность организации защиты от вредоносного кода (что, учитывая специфику микроконтроллерных устройств, требуется очень редко) и уязвимость при ошибочной передаче управления. Последнее заключается в том, что если пользовательская программа некорректно совершила системный вызов или передачу управления операционной системе, код передачи кодовой посылки может выполняться без необходимого контекста.

Данный подход применим достаточно редко, поэтому далее рассматриваться не будет.

Защита средствами виртуализации. Этот механизм предполагает недоступность PNR и PT пользовательской программе вследствие их расположения в таком месте адресного пространства, которое покрывают виртуальные адреса пользовательской программы. Для выполнения этого условия

механизм виртуализации должен либо отключаться при передаче управления ядру операционной системы (т.е. при переходе в защищенный режим), либо автоматически переключать страницу на ту, в которой располагаются необходимые таблицы и регистры.

Механизм перехода в защищенный режим должен передавать управление по корректному адресу в коде операционной системы и переводить систему в защищенный режим. Это действие должно осуществляться атомарно. Иначе, если существует возможность отдельного выполнения одной из этих операций, в системе появится потенциальная уязвимость.

Защита с применением мониторинга адреса. PNR и PT доступны всем процессам, но при доступе к ним по записи MMU (а точнее, MPU в его составе) генерирует ошибочное состояние. Как и в случае защиты средствами виртуализации, переход в защищенный режим должен одновременно и отключать MPU, и передавать управление операционной системе. Данная реализация сложнее, но введение функций мониторинга адреса заметно расширяет возможности RTOS.

Переход в защищенный режим, учитывая расположение MMU вне микроконтроллера, является нетривиальной задачей. В случае использования микроконтроллером гарвардской архитектуры памяти с разделением внешней шины на шины программ и данных можно однозначно определить передачу управления операционной системе. Это происходит, если на шине программ появился адрес системного вызова RTOS. По этому признаку можно совершенно безопасно открыть полный доступ к системе виртуализации (PNR и PT).

В более общем случае переход по адресу системного вызова может выглядеть так же, как и чтение данных по этому адресу. В связи с этим с вероятностью, зависящей от количества системных вызовов, возможна ситуация ошибочного вхождения в режим ядра. Изменить реализацию обращения к системной шине таким образом, чтобы можно было отличить обращение за данными и обращение за кодом программы, в большинстве микроконтроллеров невозможно [1]. К тому же такое изменение аппаратной платформы противоречит многим системам контроля и обеспечения качества, а также нарушает условия некоторых стандартов [4]. В связи с этим в большинстве микроконтроллеров отсутствуют встроенные решения, позволяющие выполнить атомарный переход в режим ядра с оповещением об этом внешней периферии.

Практически все микроконтроллеры, имеющие внешние выводы системной шины, обладают такой периферией, как порты ввода-вывода и система обнаружения внешних прерываний. В этом случае проблема перехода в режим ядра решается путем реализации системного вызова в виде генерации внешнего прерывания. При этом совершенно не обязательно иметь столько линий, сколько требуется системных вызовов. Можно ограничиться одним системным вызовом, а его детали передавать в общедоступной памяти через системную переменную.

Выход из режима ядра также должен сопровождаться генерацией сигнала, блокирующего доступ к управлению MMU. В случае защиты средствами виртуализации это произойдет автоматически при включении MMU или при смене значения в PNR. При защите по адресу операционной системе необходимо самостоятельно включить MPU. При любой реализации выход из защищенного режима осуществляется программно. Действие выполняется модулем операционной системы, поэтому дополнительных защит для него не требуется.

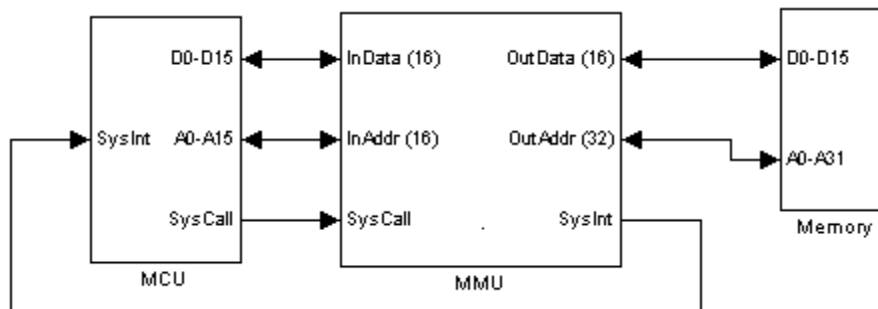
Пример реализации

В самом усеченном варианте внешние прерывания можно заменить системными функциями, приводящими к прерыванию (например, Reset). Однако это может оказаться довольно затратным (Reset сбрасывает состояние всех регистров в системе, и инициализацию необходимо проводить при каждом системном вызове). Использование Reset опасно и из-за возможности утери данных запущенными приложениями, так как сохранность данных в ОЗУ не гарантируется. В большинстве микроконтроллеров существуют такие альтернативы внешним прерываниям, как специализированные линии аппаратных ловушек, например Non-Masked Interrupt (NMI).

Использование любого из приведенных методов предполагает наличие специальной RTOS, учитывающей особенности описанных системных вызовов или средств доступа к управлению MMU. Для адаптации уже существующих RTOS необходимо изменение механизма входа в режим ядра и выхода из него. Обычно эта часть операционной системы реализуется в аппаратно зависимых модулях и существует отдельно от основного алгоритма, что упрощает процедуру портирования.

При наиболее удачной архитектуре реализация описанного механизма возможна с использованием нескольких простейших цифровых микросхем или одной небольшой ПЛИС. Пример такой реализации в виде функциональной схемы приведен на рисунке.

В данном примере предполагается, что 16-разрядный микроконтроллер MCU имеет внешнюю системную шину с выводами адреса A0-A15 и выводами данных D0-D15. Внешняя память имеет 32-разрядную шину адреса. При этом под элементом Memory может пониматься как одна микросхема памяти (например, только RAM), так и несколько микросхем памяти (RAM, ROM, Flash) со связывающей логикой. Наличие разных типов памяти зависит от строения карты памяти страницы, подлежащей виртуализации, и должно регламентироваться операционной системой. Порт ввода-вывода микроконтроллера имеет 1 свободный вывод для реализации системного вызова (SysCall). Для оповещения системы об ошибке или передачи управления операционной системе используется Внешнее прерывание SysInt. Доступ к регистрам модуля прямого доступа к памяти (DMA – Direct Memory Access) возможен только в защищенном режиме, кэш-память ядра отсутствует. Регистр PNR является частью MMU, таблица PT располагается в памяти Memory.



Функциональная схема модуля управления памятью

MMU модифицирует адрес, полученный от микроконтроллера для обращения к памяти, обеспечивая тем самым механизм виртуализации. Модуль имеет доступ и к шине данных. Это необходимо для записи значений в PNR и для возможности, при использовании мониторинга памяти, блокировки шины при обращении по запрещенному адресу.

Чтобы пользовательской программе совершить системный вызов, необходимо подать сигнал SysCall. Модуль MMU реагирует на это действие отключением механизмов виртуализации и защиты памяти, а также транслирует сигнал SysCall в сигнал SysInt, что вызывает возникновение в микроконтроллере внешнего прерывания, обработчиком которого является обработчик системного вызова.

Модификация адреса может происходить разными способами, зависящими от разрядности шины адреса на входе и выходе MMU и от структуры карты памяти. Например, если 16-разрядное адресное пространство делится на части по 32 Кбайт, старшая из которых является виртуальной, то 15 младших бит адреса транслируются напрямую, а старшие модифицируются в соответствии с данными в PNR при условии, что 16-й бит равен единице.

Заключение

Подход, описанный в данной статье, позволяет поднять уровень надежности программных продуктов для микроконтроллеров на новый уровень. При этом объем аппаратных дополнений целевой платформы оказывается невелик, а прирост надежности от устранения целого класса программных ошибок оказывается выше, чем ее снижение от увеличения количества электронных элементов на плате.

Основным источником уязвимости описанного в статье метода является возможность программной смены шины для доступа к памяти и возможность доступа к памяти без трансляции адреса на внешнюю шину (управляющие регистры микроконтроллера, прямой доступ к памяти DMA, и кэш-память процессора). Полное решение этих проблем возможно только на уровне архитектуры микроконтроллера и не затрагивает управляющих структур операционной системы и соседних пользовательских процессов. Для уменьшения риска возможно организовать работу с незащищенными ресурсами через механизм системных вызовов, оставляя критичный код внутри тщательно отлаженного ядра RTOS.

Каждая целевая платформа имеет свои особенности. В связи с этим в области встраиваемых систем отсутствуют общеприменимые решения для часто встречающихся проблем. В данной статье описан лишь один из методов увеличения надежности программного обеспечения в таких системах. В зависимости от используемой конфигурации его применение может быть как нецелесообразным, так и полностью решать обозначенные в статье проблемы. Минимальная реализация модуля управления памятью может быть выполнена, если:

- доступ к используемой ОЗУ транслируется на внешнюю системную шину;
- существует однозначный атомарный способ передачи управления по ограниченному набору адресов с одновременной внешней индикацией.

Система может быть полностью защищена и виртуализирована, если она дополнительно соответствует следующим требованиям:

- адрес транслируется на внешнюю системную шину при доступе ко всей памяти;
- кэш-память процессора отсутствует, либо является управляемой и взаимодействует с внешней системной шиной;
- работа модуля DMA отображается на системную шину, либо RTOS предоставляет защищенный доступ к регистрам управления DMA через системные вызовы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cortex-M3 R2P1 technical reference manual; ARM holdings. url: <http://www.arm.com> (дата обращения: 25.07.12).
2. Bruce Ja. Virtual memory: issues of implementation / Jacob Bruce, Mudge Trevor. Los ALAMITOS, CA, USA: IEEE computer society press, 1998. ISSN 0018-9162.
3. Таненбаум Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум. 3-е изд. СПб.: Питер, 2010. 1120 с.
4. ОСТ КТ-178В. Квалификационные требования. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники.

Соколов Алексей Олегович – аспирант кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey O. Sokolov – Postgraduate
Department of Technical Cybernetics and Informatics,
Gagarin Saratov State Technical University

Блюштейн Леонид Александрович – инженер-конструктор 1 категории
ОАО «КБ Электроприбор»

Leonid A. Blushtein –
Leading Design Engineer
Design Bureau «Electropribor»

Статья поступила в редакцию 17.06.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 510.647

И.А. Штырова

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ВУЗА, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕГО РЕАЛИЗАЦИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

С использованием теории нечетких множеств разработана модель оценки деятельности подразделения вуза, осуществляющего реализацию дополнительных образовательных программ. Модель позволяет работать с различными типами переменных, преобразовав их в лингвистические переменные, что значительно уменьшает неопределенность, появляющуюся при экспертной оценке разнородных количественных и качественных показателей.

Нечеткие множества; модель оценки деятельности подразделения вуза, осуществляющего реализацию дополнительных образовательных программ, система базовых показателей

I.A. Shtyrova

AN ASSESSMENT MODEL FOR THE ACTIVITY OF A HIGH SCHOOL DIVISION PROVIDING ADDITIONAL EDUCATION PROGRAMS

The fuzzy set theory has been applied for the development of a model for evaluating the activity of the university departments implementing additional educational programs. The model allows utilization of various types of variables transformed into lin-

guistic variables. This significantly reduces the uncertainty that appears in the peer review of diverse quantitative and qualitative indicators.

Fuzzy sets, a model for evaluating the activity of the university divisions, implement additional educational programs, the system baseline

В настоящее время высшие учебные заведения создают свои системы менеджмента качества образования, которые определяют соответствие образовательных программ, научно-методического обеспечения, кадрового состава, материальных ресурсов и структуры управления требованиям, предъявляемым государством и членами общества. Однако вузовское дополнительное образование характеризуется отличительными чертами, такими, как многообразие предоставляемых дополнительных образовательных услуг по категориям слушателей, по формам, по срокам обучения, по выдаваемым документам об образовании, нацеленность на получение конечного результата, возможность выбора индивидуальной траектории обучения, гибкость (удовлетворение изменяющихся потребностей рынка образовательных услуг), неоднородность контингента, более интенсивные образовательные технологии, большее разнообразие используемых форм обучения [1]. Поэтому при оценке качества деятельности вузовских подразделений дополнительного образования можно выделить следующие проблемы: показатели оценки качества по различным аспектам дополнительного образования предстают структурированными, но не интегрированы в систему, позволяющую всесторонне оценить эффективность деятельности подразделений вуза, реализующих дополнительные образовательные программы; не разработан единый математический подход для построения системы оценки качества вузовского дополнительного образования.

В работах А.А. Аветисова, И.В. Вешневой, М.В. Горшениной и др. раскрываются проблемы построения математических моделей для оценки деятельности подразделений вузов [2-4 и др.]. Но решение этой проблемы затруднено на основе традиционно сложившихся подходов, а также тем, что отсутствуют федеральные стандарты по вузовскому дополнительному образованию. Кроме этого, не учитывается многомерность понятия качества образовательного процесса, а также разнородность используемых показателей. Разрешение сложившейся ситуации возможно на основе создания математических моделей, оперирующих с аппаратом теории нечетких множеств, позволяющим структурировать неоднородную информацию.

Недосекин А.О. предложил использовать нечеткие классификаторы, которые позволяют устанавливать ассоциации между качественной и количественной оценкой показателей [5]. Для построения нечетких классификаторов, устанавливающих ассоциации между такими показателями оценки деятельности подразделения вуза, осуществляющего подготовку по дополнительным образовательным программам, произведем разбиение полного множества состояний E образовательного процесса на пять подмножеств:

- E_1 – подмножество состояний «предельного неблагополучия»;
- E_2 – подмножество состояний «неблагополучия»;
- E_3 – подмножество состояний «среднего качества»;
- E_4 – подмножество состояний «относительного благополучия»;
- E_5 – подмножество состояний «предельного благополучия».

Соответствующее множеству E полное множество значений показателя качества деятельности G разбиваем на 5 подмножеств:

- G_1 – подмножество «очень низкая результативность»;
- G_2 – подмножество «низкая результативность»;
- G_3 – подмножество « нормальная результативность»;
- G_4 – подмножество « высокая результативность»;
- G_5 – подмножество « очень высокая результативность ».

При этом показатель G принимает значения от нуля до единицы.

Для произвольного отдельного показателя X_i полное множество его значений V_i также разбиваем на пять подмножеств:

- V_{1i} – подмножество «низкий уровень показателя X_i »;
- V_{2i} – подмножество «уровень показателя X_i ниже среднего»;
- V_{3i} – подмножество «средний уровень показателя X_i »;
- V_{4i} – подмножество «уровень показателя X_i выше среднего»;
- V_{5i} – подмножество «высокий уровень показателя X_i ».

Далее введем двухуровневую шкалу, которая содержит следующие базовые показатели: конечный результат образовательного процесса, качество реализации образовательного процесса, ресурсное обеспечение подразделения, качество управления деятельностью подразделения. Каждый из этих показателей характеризуется своим набором составляющих компонентов. Агрегирование компонентов на уровень базовых показателей осуществляем на основе матричной схемы агрегирования: каждому показателю сопоставлялся свой нестандартный пятиуровневый классификатор; затем производим переход от набора отдельных показателей к единому агрегированному K , значение которого далее будет распознаваться с помощью стандартного классификатора. Количественное значение агрегированного показателя определяем по формуле двойной свертки:

$$K = \sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^5 \alpha_j \mu_{ij}(x_i), \quad (1)$$

где α_j – узловые точки стандартного классификатора, p_i – вес i -го показателя в свертке, $\mu_{ij}(x_i)$ – значение функции принадлежности j -го качественного уровня относительно текущего значения i -го показателя.

Систему базовых показателей для оценки качества деятельности подразделения вуза представим следующим образом:

- X_1 – показатель конечного результата,
- X_2 – показатель качества реализации,
- X_3 – показатель качества управления,
- X_4 – показатель ресурсного обеспечения.

Причем, определение агрегированного показателя проведем по каждой группе базовых показателей. Так, например, по первой базовой группе выделим следующие составляющие:

- X_{11} – процент слушателей, успешно окончивших обучение,
- X_{12} – процент слушателей, окончивших обучение на отлично,
- X_{13} – процент слушателей, устроившихся на работу (поступивших в вуз) по профилю обучения,
- X_{14} – процент слушателей, продолживших обучение по другим образовательным программам,
- X_{15} – процент слушателей, участвующих в конкурсах, олимпиадах,
- X_{16} – процент слушателей, удовлетворенных обучением.

На основе экспертных оценок все показатели были расположены по порядку убывания значимости:

$$r_{14} \geq r_{16} \geq r_{12} \geq r_{11} \geq r_{13} \geq r_{15}.$$

Значимость j -го показателя r_{1j} определяем по правилу Фишберна:

$$r_{1j} = \frac{2(N - j + 1)}{(N - 1)N}. \quad (2)$$

Далее на основании экспертного анализа разрабатываем набор пятиуровневых классификаторов текущих значений x_{1j} показателей X_{1j} (табл. 1).

Таблица 1

Набор пятиуровневых классификаторов текущих значений x_{1j} показателей X_{1j}

Наименование показателя	Т-числа для значений лингвистической переменной «Величина показателя»				
	очень низкий	низкий	средний	высокий	очень высокий
X_{11}	(0;0;0,2;0,3)	(0,2;0,3;0,4;0,5)	(0,4;0,5;0,6;0,7)	(0,6;0,7;0,8;0,9)	(0,8;0,9;1;1)
X_{12}	(0;0;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,5;0,6)	(0,5;0,6;0,65;0,7)	(0,65;0,7;0,8;0,9)	(0,8;0,9;1;1)
X_{13}	(0;0;0,1;0,2)	(0,1;0,2;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,45;0,5)	(0,45;0,5;0,6;0,7)	(0,6;0,7;1;1)
X_{14}	(0;0;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,5;0,6)	(0,5;0,6;0,65;0,7)	(0,65;0,7;0,8;0,9)	(0,8;0,9;1;1)
X_{15}	(0;0;0,1;0,2)	(0,1;0,2;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,45;0,5)	(0,45;0,5;0,6;0,7)	(0,6;0,7;1;1)
X_{16}	(0;0;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,5;0,6)	(0,5;0,6;0,65;0,7)	(0,65;0,7;0,8;0,9)	(0,8;0,9;1;1)

Для определения степени принадлежности указанных значений нечеткой переменной каждому заданному интервалу строим функции принадлежности трапецеидального вида. Например, для показателя X_{11} получим следующие функции принадлежности:

$$\mu_{11}^{(1)} = \begin{cases} 1, & x \leq 0,3 \\ 10(0,3 - x), & 0,3 \leq x \leq 0,4 \\ 0, & x \geq 0,4 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{11}^{(2)} = \begin{cases} 0, & x \leq 0,2 \\ 10(x - 0,2), & 0,2 \leq x \leq 0,3 \\ 1, & 0,3 \leq x \leq 0,4 \\ 10(0,5 - x), & 0,4 \leq x \leq 0,5 \\ 0, & x \geq 0,5 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{11}^{(3)} = \begin{cases} 0, & x \leq 0,4 \\ 10(x - 0,4), & 0,4 \leq x \leq 0,5 \\ 1, & 0,5 \leq x \leq 0,6 \\ 10(0,7 - x), & 0,6 \leq x \leq 0,7 \\ 0, & x \geq 0,7 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{11}^{(4)} = \begin{cases} 0, & x \leq 0,6 \\ 10(x - 0,6), & 0,6 \leq x \leq 0,7 \\ 1, & 0,7 \leq x \leq 0,8 \\ 10(0,9 - x), & 0,8 \leq x \leq 0,9 \\ 0, & x \geq 0,9 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{11}^{(5)} = \begin{cases} 0, & x \leq 0,8 \\ 10(x - 0,8), & 0,8 \leq x \leq 0,9 \\ 1, & x \geq 0,9 \end{cases} \quad (7)$$

Используя предложенный алгоритм, разрабатывают математические модели для оценки деятельности подразделения вуза по всем агрегированным группам базовых показателей.

Построение стандартного пятиуровневого классификатора позволяет получить математическую модель для интегрированной оценки деятельности подразделения вуза, осуществляющего подготовку по дополнительным образовательным программам.

Таким образом, математическая модель оценки деятельности вузовских подразделений дополнительного образования, построенная на основе теории нечетких множеств, позволяет учитывать особенности обучения по дополнительным образовательным программам, а также проводить анализ как количественных, так и качественных показателей, причем учитывая их динамическое изменение за определенный период времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штырова И.А. Критерии оценки деятельности вузовского центра дополнительного образования / И.А. Штырова, О.В. Виштак // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4. Ч. 3. С. 555-559.
2. Аветисов А.А. О системологическом подходе в теории оценки управления качеством образования / А.А. Аветисов // *Квалиметрия человека и образования: методология и практика*. Национальная система оценки качества образования в России: материалы 5-го симпозиума. М.: Изд-во Иссл. центра проблем качества подготовки специалистов, 1996. С. 52-55.
3. Вешнева И.В. Математические модели в системе управления качеством высшего образования с использованием методов нечеткой логики: монография / И.В. Вешнева. Саратов: Саратовский источник, 2010.
4. Горшенина М.В. Теоретико-методологические основы управления качеством подготовки специалистов в техническом вузе: монография / М.В. Горшенина. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009.
5. Недосекин А.О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний: дис.... д-ра экон. наук / А.О. Недосекин. СПб.: СПбГУЭФ, 2004.

Штырова Ирина Анатольевна – аспирант кафедры «Информационные системы и технологии» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Irina A. Shtyrova – Postgraduate Department of Informational Systems and Technologies, Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management, Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 726.03; 726.5.05; 726.7.

Л.Д. Зименкова

АРХИТЕКТУРА КАРЕТНЫХ САРАЕВ В КУПЕЧЕСКИХ УСАДЬБАХ БАЛАКОВА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX В.

Рассматриваются каретные сараи в усадебных комплексах богатых купцов, периода конца XIX и начала XX вв. в Балакове, которые формировали дворовую среду. У богатого купечества экипажный каретник имеет репрезентативный характер и подчеркивается художественной стороной, гармонично включаясь в ансамбль усадьбы. В настоящее время в усадьбах Балакова выявлены 15 каретников, которые подразделяются на два типа: 1) каретная, виде отдельного здания; 2) каретная в составе хозяйственно-бытового блока. По этажности выявлены одноэтажные, двухсветные (с аттиковым этажом), двухэтажные. Рассмотренные каретные сараи имеют разнообразное архитектурно-художественное убранство и планировочное решение.

Каретные сараи, архитектурно-художественное убранство и планировочное решение каретников в усадьбах Балакова конца XIX – начала XX вв.

L.D. Zimenkova

THE COACH HOUSE ARCHITECTURE OF THE MERCHANT MANSIONS IN BALAKOVO IN THE LATE XIX – EARLY XX CENTURIES

The coach houses in the mansions belonging to the rich merchant families of Balakovo in the late XIX – early XX centuries which created the specific environment of the courtyards are describes. The coach houses of the rich merchants had a representation character and were in harmony with the ensemble of the mansion. At present there have been found fifteen coach houses in Balakovo which can be classified into two types: 1) a coach house as a separate building, and 2) a coach house as part of the service buildings and amenities. Regarding the number of floors in the buildings, there have been found single -storey constructions, two-storey including the attic, and two-storey coach houses. All the considered types of coach houses have various architectural and artistic decoration, as well as the planning design.

Coach-house, architectural and artistic decoration, planning decision of the coach houses in mansions in Balakovo in the late XIX – early XX centuries

Особой гордостью исторического Балакова являются кирпичные каретные сараи периода конца XIX и начала XX вв. в усадьбах богатых купцов [1]. Каретники, в свою очередь, являются одними из важных построек в дворовом пространстве, участвующие в регулярной планировочной структуре усадеб Балакова. Как правило, у богатых купцов экипажный каретник имел репрезентативный характер и художественно подчеркивался, гармонично включаясь в ансамбль усадьбы.

В настоящее время в усадьбах Балакова сохранились 15 каретников различного типа. Расположение этих строений в различных усадьбах имеет разнообразное решение. Чаще всего каретник располагается по оси главных ворот в глубине двора. Вид со стороны ворот по композиции завершается каретной. Они расположены по продольной или поперечной границе дворового пространства. По этажности выявлены: одноэтажные, двухсветные (аттиковый этаж), двухэтажные. По типу подразделены: *первый* – каретная виде отдельного здания; *второй* – каретная, конюшня, и хозяйственно-бытовые помещения, различные по функциям, заблокированные в единый блок.

Каретники в купеческих усадьбах Балакова



Конец XIX в.
Рис. 1 Усадьба, ул Московская 30



Конец XIX в.
Рис. 2 Усадьба Залогина

Планы



Брандмауэр
Каретные с аттиковым этажом



Флюгер, каретная, конюшни

Рис. 3 Усадьба Стройкова-Якимова Начало XX в.

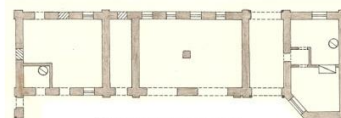


Двухэтажный хозяйственный блок с каретником и конюшней

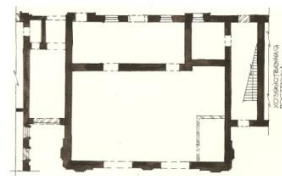
Рис. 4 Усадьба купца Менькова. Начала XX в.



Рис. 5 Усадьба П. Мальцева Конец XIX в.



Каретная, конюшня, бытовые и хозяйственные помещения



Каретная двухэтажная, двухпрелетная со служебными помещениями на втором этаже.

Рис. 6 Усадьба А. Мальцева. 1891 г.

Первый тип каретных имеется в усадьбе по ул. Московской, 30 и в усадьбе купца Залогина (рис. 1, 2) [2]. Представляют собой отдельно стоящие здания прямоугольные в плане, двухсветные: 1 – этаж каретная, 2 – этаж аттиковый. Разделение на два яруса подчеркнуто междуэтажными поясами. Верхняя центральная часть яруса в каретной по ул. Московской, 30 украшена по центру двумя окон-

ными проемами, а в усадьбе Залогина – тремя арочными оконными проемами и обработаны кирпичной кладкой с лучковым завершением. По центру расположены въездные арочные ворота.

В усадьбе купца Менькова (рис. 4) в глубине двора доминирует двухэтажное здание хозяйственно-бытового назначения с каретником и конюшней. Эффективному восприятию постройки способствует раскрытие фасада в дворовое пространство. Здание имеет трехчастное деление фасада с симметричной композицией. Средняя часть здания выдвинута относительно боковых блоков и выделена ризалитом Главенствующим положением композиции является средняя часть с въездными воротами в каретную. Эта композиция усиливается вторым уровнем с тройным оконным проемом, подчеркнутым круглыми завершениями и где среднее окно доминирует своим размером. Центральная ось венчается живописным треугольным аттиком барочной формы. В боковом блоке, который примыкает к продольной и поперечной брандмауэрной стене (3), размещена конюшня с несколькими стойлами и хранением сена на втором уровне. Второй боковой блок, расположенный с другой стороны, имел складские и хозяйственно-бытовые помещения. Архитектурным украшением фасада является навесной деревянный балкон. Оси боковых блоков завершены аттиками.

Каретная с конюшней в усадьбе купца Стройкова-Якимова (рис. 3) [2] представляет собой вытянутый в плане блок с примыкающей с севера лавкой, а с южной стороны ее замыкает двухэтажный флигель. Центральной осью композиции блока является каретная, ее въездные ворота подчеркнуты надвратным арочным клинчатым архивольтом с центральным замковым камнем. Выше располагается фронтон с треугольным подъемом шипца над воротами, и расположенными по оси прямоугольными люкарнами, перекрытыми башенками в форме усеченной пирамиды, с полками и шпилями. От оси ворот расположены парные оконца, перекрытые общим лучковым клинчатым сандриком с замковым камнем в центре. С севера каретная завершается сторожевой башней в два яруса, перекрытой высоким восьмигранным шатром с флюгером. Рядом с западной стороны расположены конюшни, въезд в которые подчеркивают ворота с лучковым завершением. В помещении конюшен сохранилось оборудование для содержания животных того периода, находящиеся на высоком технологическом уровне, это лотки для кормления, поения и удаления навоза.

Каретник на 2 экипажа в усадьбе Анисима Мальцева (рис. 6) [1] занимает первый этаж здания, на втором этаже находятся хозяйственно-служебные помещения. Прямоугольное двухэтажное с обширным подвалом кирпичное здание с четырехскатной кровлей и боковыми пристроями коммуникационного назначения. По крайней оси фасада с южной стороны на 1 этаже имеется проход, соединяющий дворы и лестницу, ведущую к помещениям 2 этажа. Главный (западный) фасад обращен в главный двор. Угловые фасады подчеркнуты ризалитами, глухими на первом этаже и с окнами на втором. Нижний этаж рустованный и имеет два больших проёма-ворота с лучковым завершением. Второй этаж имеет 5 оконных проёмов с наличниками и лучковыми сандриками. Окна фланкированы стилизованными пилястрами. Центральную часть завершает аттик с люкарной. Над люкарной – фриз с датой (1891) и треугольный фронтон с флюгером. Восточный фасад выходит в конюшенный двор и имеет также архитектурное решение, идентичное западному.

В усадьбе Паусия Мальцева (рис. 5) – каретная, конюшня, и хозяйственно-бытовые помещения, различные по функциям, сблокированы в единый блок, представляет протяженный прямоугольный объем постройки, расположенный длинными фасадами на улицу и в служебно-хозяйственный двор, а торцовый фасад закрепляет продолжение усадьбы [1]. Здание со стенами из красного кирпича разделено на два яруса и перекрыто двухскатной кровлей. Нижний, более высокий, и верхний ярусы выполнены в кладке, подобной дому дворовых. Поле стены разделяют горизонтальные линейные углубления. Угловые лопатки, обрамления ворот и калиток рустованы. Оконные проемы обработаны клинчатой кладкой с центральным замковым камнем. В нижнем ярусе имеются один дверной проем и сквозные ворота, соединяющие улицу с дворовым пространством. Имеются семь небольших квадратных оконных проемов производственного назначения и одно окно в служебном блоке. Верхний ярус разделен на шесть равновеликих частей, в центре которых размещается проем, переходящий в аттик треугольной формы. Проемы и аттик обработаны фигурной кладкой клинчатых и круглых форм, в проемах размещены филенчатые деревянные двери. Сохранились фигурные чугунные кронштейны, на которых размещались фонари, а сверху была устроена площадка, где производилась загрузка сена в верхний ярус, использовавшийся как сеновал. В плане здание разделено на три части: центральную – помещение для животных (сохранилась коновязь) – и две боковых, выполнявших подсобно-вспомогательные функции, здесь размещались каретная и прачечная. Выявленные каретники участвуют в структуре усадеб Балакова и гармонично объединяют в себе художественную и утилитарную стороны, обогащая архитектуру внутреннего двора и подчеркивающие репрезентативный характер усадьбы.

Выводы

Статья раскрывает дворовую среду в купеческих усадебных комплексах богатых купцов, периода конца XIX и начала XX в. в Балаково. Одной из важных построек в дворовом пространстве и в структуре усадьбы являются каретники. Каретник имеет репрезентативный характер, подчеркивающий художественную сторону, гармонично включаясь в ансамбль усадьбы. В настоящее время в усадьбах Балакова выявлено 15 каретников, которые подразделяются на два типа: 1) каретная виде отдельного здания; 2) каретная в составе хозяйственно-бытового блока. По этажности выявлены: одноэтажные, двухсветные (с аттиковым этажом), двухэтажные. Рассмотренные каретные сараи в усадьбах богатых купцов выявляют разнообразное архитектурно-художественное убранство и планировочное решение. Каретники, являясь раритетом историко-архитектурного наследия Балакова, в настоящее время разрушаются, а некоторые утрачены, что требует постановки на учет и охрану государства, а также проведения реставрации регенерации памятников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попова Н.А. Балаково. Историко-архитектурное наследие / Н.А. Попова. Саратов: Изд-во «Епархия», 2008. С. 140.
2. Зименкова Л.Д. Архитектура конюшен и каретных построек в купеческих усадьбах Балаково / Л.Д. Зименкова, А.Д. Гребенюк // Архитектурное наследие исторических городов: материалы Всерос. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2012. С. 125.
3. Зименкова Л.Д. Архитектура ворот оград и брандмауэрных стен в ансамблях купеческих усадеб Балаково / Л.Д. Зименкова, С. Зотова // Архитектурное наследие исторических городов: материалы Всерос. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2012. С. 130.
4. Нащокина М.В. Русская усадьба / М.В. Нащокина // Сборник Общества изучения русской усадьбы. Вып. 12. М.: Жираф, 2006. С. 870.

Зименкова Лилия Дмитриевна –
соискатель кафедры «Архитектура»
Балаковского института техники,
технологии и управления Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Liliya D. Zimenkova –
Postgraduate
Department of Architecture,
Balakovo Institute of Engineering, Technology
and Management
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 17.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

ТРАНСПОРТ

УДК 620.178.16:621.82-233.132

Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, И.В. Тюняев, С.Б. Цибизов

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО КРИТЕРИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Приведены методика и результаты стендовых испытаний двигателя КамАЗ-740.14-300 в виде нагрузочных, скоростных и многопараметровых характеристик по новому критерию износостойкости подшипников коленчатого вала. Определены малоизносные режимы нагружения двигателя и скоростные режимы движения автотранспортного средства.

Интегральная износостойкость, подшипники коленчатого вала, малоизносный режим, автомобильный двигатель

R.F. Kalimullin, S.Yu. Kovalenko, I.V. Tyunyaev, S.B. Tsibizov

A METHOD FOR ASSESSING THE OPERATION MODES OF AN AUTOMOBILE ENGINE BY THE WEAR RESISTANCE OF BEARINGS IN THE CRANKSHAFT

The article describes the methods and results of bench tests of the KAMAZ-740.14-300 engine in the form of loading, high-speed and multiparameter characteristics using a new criterion of wear resistance for the bearings of a crankshaft. Minimal wear-modes for loading the engine, and high-speed modes for movement of a vehicle have been defined.

Integrated wear resistance, bearings of a cranked shaft, small wear mode, automobile engine

Практика эксплуатации автотранспортных средств показывает, что одними из сопряжений, лимитирующих ресурс автомобильного двигателя, являются подшипники коленчатого вала. Например, среди структуры отказов всех элементов силовых агрегатов КАМАЗ различных модификаций на их долю приходится около 18 % при средней наработке на отказ 36586 км, для устранения которых требуется 37 % затрат на запасные части и 66 % трудовых затрат [1].

Основными причинами отказов подшипников являются разрушение и выплавление антифрикционного слоя вкладышей, их задир и проворачивание, чрезмерно увеличенный диаметральный зазор вследствие изнашивания трущихся поверхностей вкладышей и шеек, интенсивность которого в эксплуатации во многом зависит от характера смазочного процесса.

Конструктивные параметры подшипников и системы смазки должны обеспечивать максимальную износостойкость трущихся поверхностей на эксплуатационных режимах работы двигателя. Эксплуатация автомобильного двигателя характеризуется широкой вариацией температурного, нагрузочного и скоростного режимом работы двигателя, которые вносят определенный вклад в общий эксплуатационный износ подшипников. Так, для условий низкотемпературного пуска характерно кратковременное, но ускоренное изнашивание подшипников [2-4]. При работе двигателя на рабочих нагрузочно-скоростных режимах закономерности изнашивания подшипников рассмотрены в работах [5, 6].

Анализ состояния вопроса позволяет предположить, что эксплуатация двигателя преимущественно в малоизносных режимах работы является одним из эффективных методов повышения долговечности, однако его применение сдерживается затрудненностью адекватного определения таких режимов. Известные методы оценки износа деталей двигателей, использованные, например, в [6], основаны на взвешивании деталей, спектральном анализе масла, микрометрировании поверхностей трения и т.п., что делает их использование для анализа широкого диапазона нагрузочного и скоростного режима чрезвычайно трудоемкими и затратными.

В связи с этим, реализация нового подхода к повышению эксплуатационной надежности двигателей возможна на основе разработки и анализа специальных критериев, характеризующих износостойкость подшипников. При этом, материальные и трудовые затраты экспериментального определения численных значений критериев должны быть существенно меньше, чем затраты на традиционные методы определения износа.

В работе [7] разработан новый критерий износостойкости подшипников коленчатого вала двигателей, приведены методики и результаты ходовых испытаний автомобиля ВАЗ-2107 и автобуса ПАЗ-3205, определены скоростные режимы их движения, обеспечивающие максимальную износостойкость подшипников, т.е. малоизносные режимы.

Представляет интерес продолжение исследований закономерностей износостойкости подшипников коленчатых валов различных моделей автомобильных двигателей в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов, а также установление параметров режимов работы, обеспечивающих минимальный износ.

Объектом исследования является режим работы автомобильного двигателя, предметом исследования – закономерности смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала на различных режимах работы автомобильного двигателя.

Исследуемый двигатель КамАЗ-740.14-300 применяется на автомобилях КАМАЗ-53212, 43353, 53229, 65115, и идентичен по конструкции смазочной системы и кривошипно-шатунного механизма с двигателями других модификаций КамАЗ 740.11-240, 740.13-260, применяемых на многих транспортных средствах.

Цель исследования заключается в повышении долговечности автомобильных двигателей за счет эксплуатации в малоизносных режимах работы по критерию износостойкости подшипников коленчатого вала.

Решены следующие основные задачи исследования:

- разработана расчетно-экспериментальная методика определения критерия интегральной износостойкости подшипников коленчатого вала при стендовых испытаниях двигателя;
- получены закономерности критерия интегральной износостойкости подшипников коленчатого вала на различных установившихся нагрузочно-скоростных режимах работы двигателя и скоростях движения автотранспортного средства;
- определены малоизносные нагрузочно-скоростные режимы работы двигателя и скорости движения автотранспортного средства.

Теоретической основой исследования являлась математическая модель переходного смазочного процесса и износостойкости в гидродинамических подшипниках скольжения машин [7 - 10]. Для обобщенной оценки смазочного процесса в системе шатунных и коренных подшипников использован параметр E_g «интегральная степень существования смазочного слоя». В условиях эксплуатации его значение обуславливается соотношением величин внешней нагрузки на подшипник и предельной несущей способности подшипника, и зависит от большого количества факторов:

$$E_g = E_g(M, n, l, d, \mu, t_m, h_{кр}, \Delta, \dots), \quad (1)$$

где M – крутящий момент на коленчатом валу, Н·м; n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹; t_m – средняя температура масла в подшипнике, °С; μ – динамическая вязкость масла при температуре t_m , Па·с; $h_{кр}$ – критическая толщина смазочного слоя, мкм; Δ – диаметральный зазор в подшипнике, мкм.

Значение параметра E_g изменяется от максимального (E_g)_{max} = 1, характеризующего установившийся режим жидкостной смазки (бесконтактного взаимодействия) во всех без исключения подшипниках коленчатого вала, до минимального значения (E_g)_{min} = 0, при котором хотя бы один подшипник работает в режиме граничной смазки или сухого трения (контактного взаимодействия). Промежуточные значения параметра $0 < E_g < 1$ имеют место в условиях переходного смазочного процесса при последовательном во времени чередовании жидкостной и граничной смазок.

При работе автомобильного двигателя под нагрузкой переменными являются крутящий момент M и частота вращения n . При одинаковых техническом и тепловом состояниях двигателя и свойствах моторного масла значения параметров Δ , t_m , $h_{кр}$ и μ в модели (1) являются неизменными.

ми, и появляется возможность определения значения параметра E_g в зависимости от параметров режима работы M и n , используя модель:

$$E_g = E_g(M, n) \quad (2)$$

Для обобщенной оценки износостойкости подшипников коленчатого вала предложен критерий «удельная интегральная износостойкость подшипников W_I », определяемый по формуле:

$$W_I = \frac{1}{(1 - E_g)} \frac{M_e n_e}{M n} \quad (3)$$

Критерий W_I безразмерен и принимает значения от 1 до ∞ и зависит от режима взаимодействия трущихся поверхностей (E_g) и нагрузочно-скоростного режима работы двигателя (M и n). Физический смысл параметра заключается в том, что его значение показывает во сколько раз интегральная износостойкость подшипников коленчатого вала на текущем режиме работы двигателя больше интегральной износостойкости на режиме номинальной мощности при постоянном контактом взаимодействии подшипников.

Основываясь на зависимостях (1)-(3), возможно определение значений параметра W_I на различных нагрузочно-скоростных режимах работы двигателя. Режим работы, при котором значение параметра $W_I \rightarrow W_I^{max}$, считается малоизносным.

Для проверки выдвинутых теоретических положений проведены экспериментальные исследования для установления закономерностей износостойкости подшипников коленчатых валов от нагрузочно-скоростного режима работы двигателя. В качестве объекта испытаний выбран дизельный двигатель КАМАЗ-740.14-300 ($N_e = 300$ л.с. при $n_e = 2600$ мин⁻¹). Испытания проводились в лаборатории испытаний двигателей Завода двигателей ОАО «КАМАЗ» на стенде фирмы «AVL» с гидротормозом фирмы «SCHENCK». Испытательный стенд был укомплектован необходимым оборудованием и приборами, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 14846-81. При испытаниях применялось моторное масло марки «Лукойл-Супер» SAE 15W-40, API CF-4/SG и дизельное топливо марки «Л-02-40» ГОСТ 305.

Для замера параметра E_g использовалась измерительно-вычислительный комплекс «Автоматизированная система оценки смазочного процесса» (АСОСП) [10]. К испытуемому двигателю АСОСП подключалась следующим образом: на шкив коленчатого вала через специально изготовленный переходник крепилось токосъемное устройство, к которому подсоединялась одна информационная шина, а к блоку цилиндров – вторая. Шины соединялись с устройством для контроля состояния подшипников, которое в свою очередь через шину соединялось с компьютером. Информация о значении измеряемого параметра с помощью специализированного программного обеспечения отображалась на экране в виде графика и записывалась в память компьютера.

При испытаниях двигателя поддерживались температуры охлаждающей жидкости 80...85 °С и масла 75...80 °С. Последовательно задавались установившиеся режимы работы при частоте вращения коленчатого вала $n = 1000, 1400, 1800, 2200$ и 2400 мин⁻¹ при ступенчатом изменении крутящего момента M на каждой частоте от 10 до 100 кгс·м с шагом 10 кгс·м. Замеры велись в прямом и обратном направлении. Длительность замера на каждом режиме составляла 30 с после выдержки в 30 с.

Результаты замеров параметра E_g на каждом режиме работы усреднялись. Для дальнейшего анализа смазочного процесса у подобных двигателей значения частоты вращения и крутящего момента были пересчитаны в относительные величины по формулам:

$$n = 100(n^{abc} / n_{max}^{abc}), \quad (4)$$

$$M = 100(M^{abc} / M_{max}^{abc}), \quad (5)$$

где n^{abc} и M^{abc} – абсолютные значения показателей; n и M – относительные значения показателей в процентах; $n^{abc} = 2600$ мин⁻¹ и $M^{abc} = 100$ кгс·м – максимальные абсолютные значения показателей.

Опытные данные $E_g(M, n)$ аппроксимированы в программе Table Curve 3D V 4.0.05 Systat Software, и получена полиномиальная модель вида

$$E_g = a + bn + cM + dn^2 + eM^2 + fnM, \quad (6)$$

где a, b, c, d, e, f – коэффициенты модели, значения которых составляют: $a = 0,69655945$; $b = 0,011069894$; $c = 0,00044217547$; $d = -0,00010057667$; $e = -2,2725782 \cdot 10^{-6}$; $f = -9,3839357 \cdot 10^{-6}$.

Коэффициент детерминации модели составил $r^2 = 0,9748$, стандартная ошибка 0,01043, что свидетельствует о достаточно высоком качестве аппроксимации.

Используя модель (6) построены многопараметровые характеристики двигателя по параметру интегральной степени существования смазочного слоя E_g в подшипниках коленчатого вала (рис. 1 и 2).

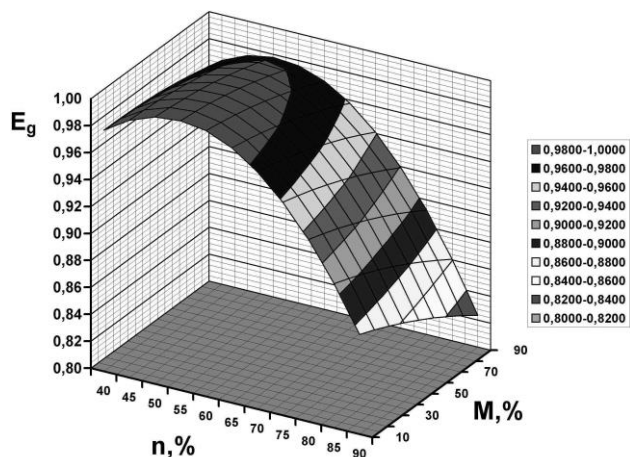


Рис. 1 – Характеристика двигателя по параметру E_g в поле нагрузочно-скоростного режима

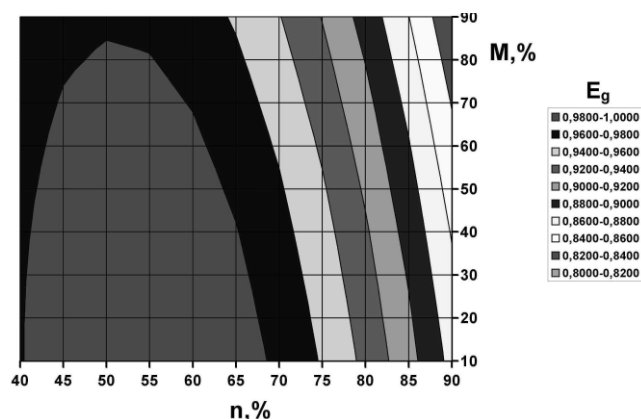


Рис. 2 – Области нагрузочно-скоростного режима двигателя с разными уровнями параметра E_g (изопараметрические области)

Анализ многопараметровой характеристики двигателя по параметру E_g позволяет определить области нагрузочно-скоростного режима работы, в которых обеспечивается режим смазки подшипников с различным уровнем значений параметра E_g . Например, область нагрузочно-скоростного режима с высоким уровнем значений параметра $E_g \geq 0,98$ приблизительно составляет $n = 40 \dots 65$ % и $M = 10 \dots 50$ %; $n = 45 \dots 60$ % и $M = 50 \dots 80$ %.

Модель (6) и многопараметровые характеристики дают представление о приспособленности двигателя к режиму работы по параметру интегральной степени существования смазочного слоя E_g в подшипниках коленчатого вала.

Практический интерес представляет оценка приспособленности двигателя к режиму работы по параметру удельной интегральной износостойкости W_I подшипников коленчатого вала. Многопараметровая характеристика двигателя (рис. 3) показывает распределение значений параметра W_I в областях нагрузочно-скоростного режима.

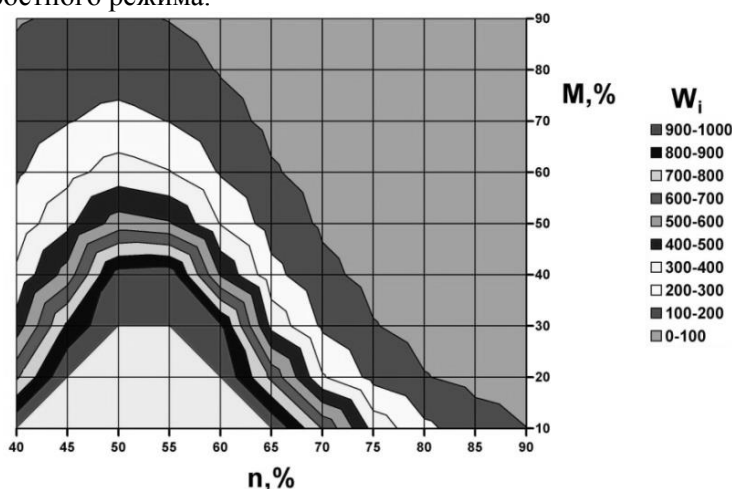


Рис. 3. Многопараметровая характеристика двигателя по параметру W_I в областях нагрузочно-скоростного режима
На основании анализа полученной характеристики можно сделать следующие выводы:

– максимальная износостойкость подшипников $W_I > 1000$ обеспечивается в области $n = 45 \dots 60 \%$ и $M = 10 \dots 30 \%$; и она в среднем в 26 раз выше по сравнению с износостойкостью на остальных режимах;

– по мере расширения нагрузочно-скоростного режима от $M = 30 \%$ и от $n = 65 \%$ износостойкость подшипников резко снижается.

В реальных условиях движения автотранспортного средства область преимущественного нагрузочно-скоростного режима представляет собой поле с координатами $M - n$, определяемые дорожными условиями, скоростью движения, степенью загрузки и т.п. На рис. 4 показано поле преимущественного нагрузочно-скоростного режима работы двигателя КАМАЗ-740.11-240 автобуса НЕФАЗ-5299-08. Исследуемый автобус с гаражным номером 1520 ЗАО «Автоколонна №1825» (г. Оренбург) совершал регулярные вахтовые рейсы в утренние, послеобеденные и ночные часы по маршруту В-332 «Автоколонна №1825 – Ростоши – Терешковой – Газзавод – Терешковой – Ростоши – Автоколонна №1825». По данным системы спутниковой навигации «Автограф», установленной на автобусе, были получены зависимости скорости движения от пробега на маршруте. Используя данные технической характеристики автобуса и степень загрузки пассажирами на участках маршрута, были рассчитаны значения относительной частоты вращения и крутящего момента. Режим движения автобуса был следующим: с пассажирами около 42 % в городских условиях и 43 % в загородных условиях и 15 % – без пассажиров.

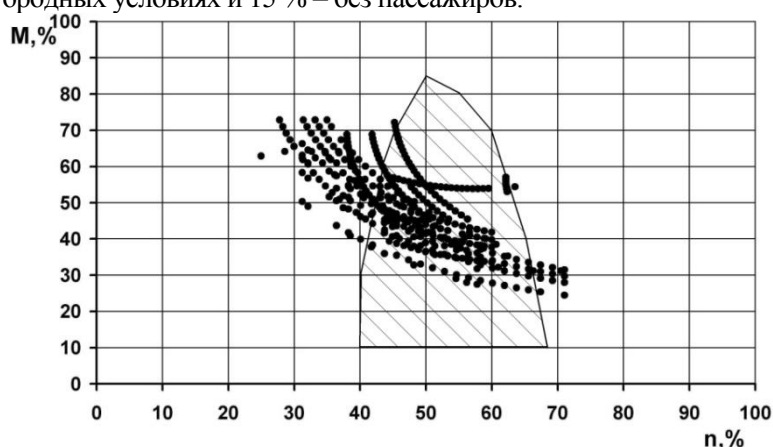


Рис. 4. Области преимущественного (точки) и мало износного (заштрихованная область) нагрузочно-скоростного режима работы двигателя в координатах $M-n$

При наложении координат малоизносной области нагрузочно-скоростного режима ($E_g \geq 0,98$) на преимущественную область можно выявить, насколько фактический режим работы двигателя отличается от мало износного.

Практический интерес представляет определение малоизносного скоростного режима движения на разных передачах по критерию интегральной износостойкости W_I . Для автобуса НЕФАЗ-5299-08 определены зависимости W_I на разных передачах при 100 % загрузке пассажирами от установившейся скорости V_a , показанные на рис. 5.

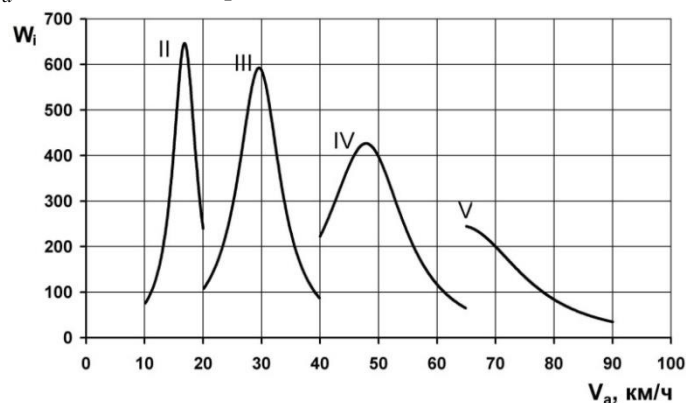


Рис. 5. Зависимости параметра W_I на разных передачах при установившемся движении автобуса НЕФАЗ-5299-08 от скорости V_a

Анализ зависимостей подтверждает, что на каждой передаче существует такая оптимальная скорость, при которой износостойкость подшипников максимальна ($W_I \rightarrow W_I^{max}$). Так, на II передаче – это скорость 17 км/ч; на III – 30 км/ч; на IV – 48 км/ч; на V – 65 км/ч.

Совместный анализ полученных зависимостей и распределения частот фактической скорости движения автобуса НЕФАЗ-5299-08 на разных передачах в условиях городского и загородного движения позволяет сказать, насколько фактический скоростной режим работы автобуса соответствует мало износному. Так, на II передаче в 40 % случаев фактическая скорость близка к мало износной, на III, IV и V передачах – примерно в 20 %. Таким образом, в условиях реального городского и загородного движения автобус движется со скоростями, соответствующими максимальной износостойкости подшипников коленчатого вала, в среднем в 20 % случаях.

На основании проведенного исследования получены следующие результаты и сделаны выводы.

Разработана методика стендовых испытаний дизельного двигателя КАМАЗ-740.14-300, новизна которой заключается в использовании измерительно-вычислительного комплекса «Автоматизированная система оценки смазочного процесса» для замера параметра интегральной степени существования смазочного слоя в подшипниках коленчатого вала.

Установлены закономерности параметра интегральной степени существования смазочного слоя и критерия износостойкости подшипников коленчатого вала от нагрузочно-скоростного режима работы двигателя.

Получены закономерности критерия износостойкости подшипников коленчатого вала от скорости движения автобуса НЕФАЗ с двигателем КАМАЗ на разных передачах. Установлены значения скоростей, соответствующих максимальной износостойкости подшипников.

При эксплуатации автобуса большого класса в условиях городского и загородного движения преимущественный режим работы отличается от оптимального (малоизносного), а только в 20 % случаях скорость является близкой к оптимальной на каждой передаче.

Полученные результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с данными, приведенными в [5, 6]. Однако предлагаемый метод определения малоизносных режимов нагружения автомобильного двигателя на основе экспериментальной оценки интегральной износостойкости подшипников коленчатого вала требует существенно меньших трудовых и материальных ресурсов и имеет существенную практическую значимость. Обеспечение преимущественной эксплуатации двигателей автотранспортных средств в малоизносных режимах способствует повышению их долговечности и, как следствие, минимизации затрат и повышению эффективности транспортного обслуживания. Реализация предложенного подхода к повышению эксплуатационной надежности двигателей возможна за счет принятия организационно-технических решений, например обучение водителей рациональному вождению, совершенствование систем управления двигателем, разработка адаптивных смазочных систем, оптимизация свойств моторных масел и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов А.С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей: монография / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков. Саратов: СГТУ, 2007. 422 с.
2. Резник Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации: монография / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. М.: Транспорт, 1989. 128 с.
3. Коваленко С.Ю. Эксплуатация автомобильных двигателей. Обеспечение долговечности на режиме пуска: монография / С.Ю. Коваленко, Р.Ф. Калимуллин. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 115 с.
4. Коваленко, С.Ю. Методика оценки приспособленности автомобильных двигателей к изменяющимся условиям эксплуатации / С.Ю. Коваленко, И.В. Тюняев, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 4. С. 165-170.
5. Авдонькин Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации: монография / Ф.Н. Авдонькин. М.: Транспорт, 1993. 350 с.
6. Шабанов А. Где живет износ / А. Шабанов // За рулем. 2009. № 3. С. 150-152.
7. Тюняев И.В. Влияние скоростного режима движения автотранспортных средств на износостойкость подшипников коленчатых валов двигателей / И.В. Тюняев, В.А. Сологуб // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10. С. 156-162.
8. Калимуллин Р.Ф. Теоретическое обоснование нового диагностического параметра двигателя внутреннего сгорания / Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение «Автотранспортные системы». 2004. С. 44-48.

9. Калимуллин Р.Ф. Метод оценки трибологического состояния подвижных сопряжений автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин, Н.Н. Якунин, И.В. Тюняев // Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение «Прогрессивные технологии в транспортных системах». 2005. С. 50-55.

10. Янучков М.Р. Диагностирование подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей по состоянию смазочного слоя / М.Р. Янучков, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10. С. 125-132.

Калимуллин Руслан Флюрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Оренбургского государственного университета

Ruslan F. Kalimullin – Ph. D., Associate Professor
Department of Automobile Transport,
Orenburg State University

Коваленко Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» Оренбургского государственного университета

Sergey Yu. Kovalenko – Ph. D., Senior Lecturer
Department of Automobile Transport,
Orenburg State University

Тюняев Игорь Владимирович – главный инженер ЗАО «Автоколонна №1825» г. Оренбург

Igor V. Tyunyaev – Chief Engineer,
JSC «Avtokolonna № 1825», Orenburg

Цибизов Сергей Борисович – ведущий инженер кафедры «Автомобили и безопасность движения» Оренбургского государственного университета

Sergey B. Tsibizov – Leading Engineer
Department of Automobiles and Traffic Safety,
Orenburg State University

Статья поступила в редакцию 15.01.13, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.43.013.016.4

А.В. Разуваев, Е.А. Соколова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЯ 6ЧН 21/21

С целью модернизации системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания исследуется ее работа и определяется вид зависимостей теплоотвода в воду от мощности.

Двигатель внутреннего сгорания, система охлаждения, стенд для экспериментальных исследований, мощность, температура воды, математическая зависимость

A.V. Razuvaev, E.A. Sokolova

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING DIESEL 6CHN 21/21

The article deals with the issues of modernization of the cooling systems in internal combustion engines, and identifies the dependence of the heat-removal system in the water from the power rate.

Internal combustion engine, the cooling system, the stand for experimental researches, power rate, temperature of the water, mathematical dependence

Анализ литературных данных [1] показывает, что повышенный температурный режим охлаждающей жидкости ДВС позволяет повысить экономичность его работы.

Для определения зависимости количества теплоты, отведенной в воду системы охлаждения поршневого ДВС, от его мощности были проведены стендовые теплораспределительные испытания.

Исследования проводились для двух модификаций двигателя 6ЧН 21/21, установленных на стендах экспериментальной лаборатории ОАО «Волжский дизель им Маминых», а именно для газо-

вого двигателя-генератора ГДГ-90 и дизеля-генератора ДГ-70, которые имеют номинальную мощность соответственно 500 кВт при $n = 16,7 \text{ с}^{-1}$ и 630 кВт при $n = 25 \text{ с}^{-1}$.

В качестве топлива для газового двигателя-генератора использовался природный газ, а для дизеля-генератора – дизельное топливо по ГОСТ 305.

Общий вид экспериментальной установки на базе дизеля 6ЧН 21/21 представлен на рис. 1.

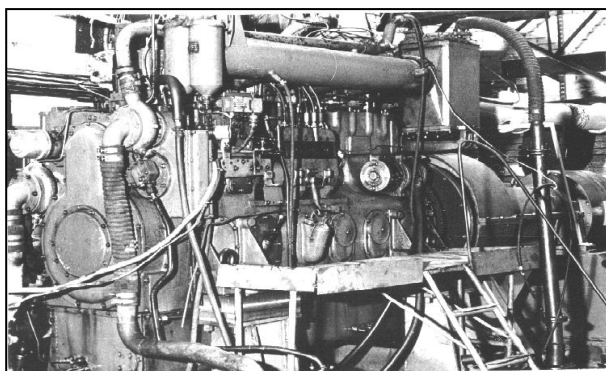


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки на базе двигателя 6ЧН 21/21

При испытаниях двигатель работал при изменении нагрузки от минимальной до номинальной, а также в режиме холостого хода, температура окружающей среды находилась в пределах 300-302К, атмосферное давление P_0 было равно 101,2 кПа; относительная влажность воздуха ϕ составляла 82,2-91,6%. Принципиальная схема стенда с экспериментальным двигателем, к которому подводился природный газ, и точки измерения основных параметров работы системы охлаждения дизеля при проведении исследовательских работ представлены на рис. 2.

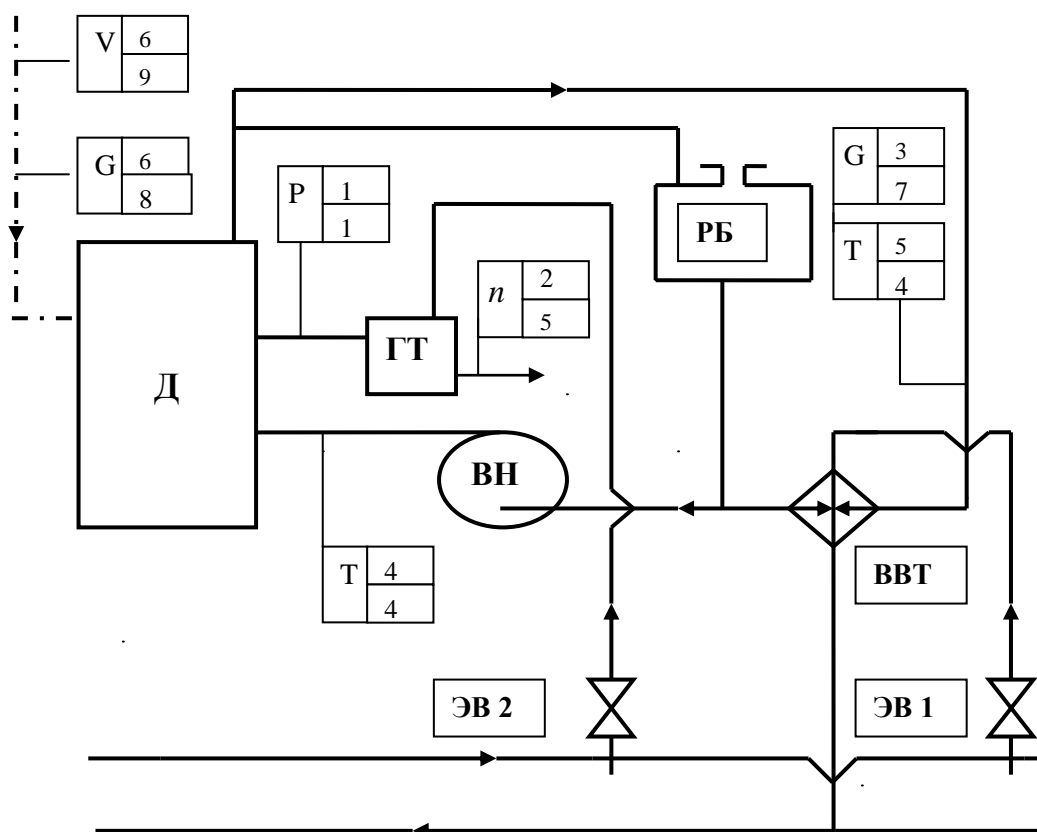
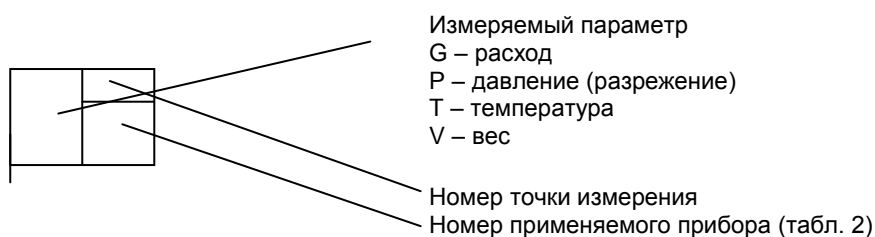


Рис. 2. Принципиальная схема стенда для экспериментальных исследований параметров системы охлаждения двигателей на базе дизеля 6ЧН 21/21: Д – ДВС, ГТ – гидротормоз, ВВТ – водо-водяной теплообменник, РБ – расширительный бак, ЭВ1 – электроventиль регулирования расхода охлаждающей жидкости в системе охлаждения, ЭВ2 – электроventиль регулирования расхода жидкости через гидротормоз, ВН – водяной насос
 ————— – техническая охлаждающая вода
 - - - - - – топливо



Перечень контролируемых параметров двигателя при исследовании системы охлаждения представлен в табл. 1, а тип и данные применяемых приборов – в табл. 2.

Контроль за работой системы охлаждения осуществлялся по соответствующим приборам с пульта управления, общий вид которого показан на рис. 3.

Таблица 1

Параметры энергетической установки, контролируемые при проведении исследовательских работ

Измеряемый параметр	Объект измерения	Место измерения	№ точки измерения	Прибор №
Мощность двигателя	Гидротормоз	Коленчатый вал двигателя	1	1
Частота вращения	Коленчатый вал	Вал гидротормоза	2	5
Расход	Газ	Перед ДГ-90	6	8
Вес	Дизельное топливо	Перед ДГ-70	6	9
Расход	Охлаждающая жидкость	После двигателя	3	7
Температура	Охлаждающая жидкость	Перед двигателем	4	4
Температура	Охлаждающая жидкость	После двигателя	5	4

Таблица 2

Приборы, используемые при проведении исследований

№ п/п	Измеряемый параметр	Тип (модель) прибора	Единица измерения	Кл. точности	Предел измерения	Цена деления	ГОСТ или ТУ	Примечание
1	Мощность	Гидротормоз АФА – 2h	Н	0,4--0,4	0...25000	1	-	«Хофман» ФРГ
2	Атмосферное давление	Барометр М – 67	мм. рт. ст.		600...800	1	-	-
3	Влажность	Психрометр термометр ТМ6	°С	0,500 0 0,5	-10...+50	0,2	112-78	-
4	Температура	Термометр ртутный ТЛ-4-3	°С	4	50...105	0,1	-	-
5	Частота вращения	Тахометр ТЭСА	об/мин		0...99999	1	21399-75	-
6	Интервал времени	Секундомер	С		0..3600	0,2	-	-
7	Расход охлаждающей жидкости	Счетчик воды крыльчатый ВДГ -50	м ³ /ч		0...70	-	-	-
8	Расход природного газа	Счетчик газа ротационный РСГ G160	м ³ /ч		0...250	2 дм ³	-	ООО «Сигнал»
9	Вес дизельного топлива	Весы РН – 10Ц13У	Г		100...10000	5	13888-68	-

Изменение температурного режима охлаждающей жидкости осуществлялось за счет регулирования расхода технической воды, проходящей через теплообменник ВВТ, при помощи электроventиля ЭВ1.

Эффективная мощность дизеля определялась по формуле

$$P_e = k \cdot P_{гт} \cdot n, \text{ [кВт]} \quad (1)$$

где $P_{гт}$ – нагрузка по шкале гидротормоза, n – частота вращения коленчатого вала, k – коэффициент приведения.

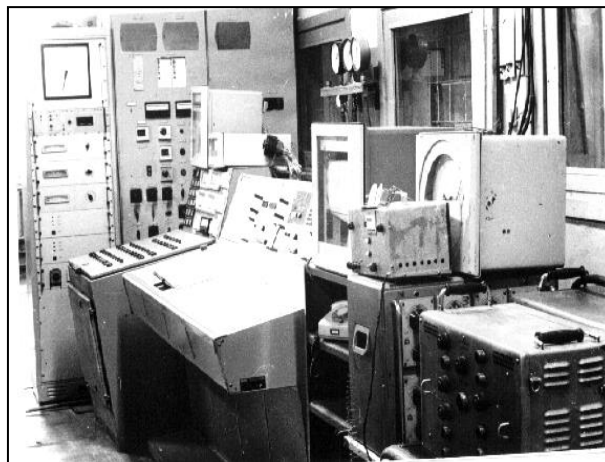


Рис. 3. Общий вид пульта управления экспериментальной установкой на базе двигателя 6ЧН 21/21

Результаты экспериментальных исследований работы дизеля обрабатывались с использованием следующих известных зависимостей:

Удельный расход топлива для дизеля-генератора подсчитывался следующим образом

$$b = \frac{3600 \cdot G}{\tau \cdot P_e}, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

где G – масса навески топлива, G ; τ – время расхода навески топлива, с; P_e – мощность дизеля, Вт.

Оценка погрешности измерения и расчета параметров работы дизеля проводилась в соответствии с рекомендациями [2].

Погрешность измерения параметров работы дизеля соответствующими приборами равна погрешности приборов, перечень которых приведен в табл. 2.

Максимальная суммарная относительная погрешность определяемого параметра вычислялась по выражению

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i, \quad (3)$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_i$ – погрешности составляющих параметров.

Среднеквадратичная относительная погрешность определялась по формуле

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_i^2} \quad (4)$$

Абсолютная погрешность при измерении параметра находилась из выражения

$$\delta_a = \Delta t / t \cdot 100 \quad (5)$$

где Δt – точность измерения данного параметра; t – величина измеряемого параметра.

Погрешность определения мощности дизеля:

– максимальная суммарная

$$\delta = \delta_{гт} + \delta_n \quad (6)$$

где $\delta_{гт} = 0,4$ (табл. 2.); $\delta_n = \Delta t / t \cdot 100 = 1/1500 \cdot 100 = 0,066\%$ – для дизеля-генератора ДГ-70; $\delta_n = \Delta t / t \cdot 100 = 1/1000 \cdot 100 = 0,1\%$ – для двигателя-генератора ГДГ-90.

Абсолютная суммарная погрешность:

для дизеля-генератора ДГ-70 $\delta = 0,4 + 0,066 = 0,466\%$,

для двигателя-генератора ГДГ-90 $\delta = 0,4 + 0,1 = 0,5\%$.

Среднеквадратичная относительная погрешность:

для дизеля-генератора ДГ-70

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,4^2 + 0,06^2} = \pm 0,401\% \quad (7)$$

для газового двигателя-генератора ГДГ-90

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,4^2 + 0,1^2} = \pm 0,412\% \quad (8)$$

В процессе испытаний для каждого мощностного режима работы двигателей внутреннего сгорания обеих модификаций температура воды в системе охлаждения на входе в двигатель и на выходе из него измерялась шесть раз. Затем на основании полученных данных рассчитывались разность температур и количество теплоты, отведенной в воду системы охлаждения. Значения результатов исследований, подтверждаемые протоколами теплосбалансовых испытаний ОАО «Волжский дизель им Маминых», приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Экспериментальные и расчетные значения теплоотвода в воду газового двигателя-генератора ГДГ-90 в зависимости от развиваемой мощности

№ режима	Мощность ГДГ-90 P_e (кВт)	Экспериментальное значение теплоотвода в воду Q_{cool} (кВт)	Рассчитанное по математ. модели значение теплоотвода в воду y_1 (кВт)	Значение ошибки (кВт)	Значение ошибки (%)
I	112	111,1	118,2	-7,1	6,4
II	147	134	129	5	3,7
III	264	181	172,9	8,1	4,5
IV	397	243,1	241	2,1	0,9
V	512	301,2	321,3	-20,1	6,7
VI	532	357,1	337,8	19,3	5,4

Таблица 4

Экспериментальные и расчетные значения теплоотвода в воду дизеля-генератора ДГ-70 в зависимости от развиваемой мощности

№ режима	Мощность ДГ-70 P_e (кВт)	Экспериментальное значение теплоотвода в воду Q_{cool} (кВт)	Рассчитанное по математ. модели значение теплоотвода в воду y_1 (кВт)	Значение ошибки (кВт)	Значение ошибки (%)
I	63	88,3	85,5	2,8	3,2
II	140	128,2	132,4	-4,2	3,1
III	290	196,9	197,1	-0,2	0,0
IV	420	234,7	241,4	-6,7	2,8
V	630	313,3	301,4	11,9	3,8

На основании результатов исследований в Excel были получены нелинейные математические модели зависимости количества отводимой теплоты от текущего значения мощности двигателя.

Для газового двигателя-генератора ГДГ-90 эта зависимость имеет вид

$$y_1 = ae^{bx} = 89,342e^{0,0025x} \quad (9)$$

где y_1 – количество отведенной теплоты (кВт), x – текущее значение мощности двигателя-генератора (кВт).

Как видно из графиков на рис. 4 и данных табл. 3, адекватность модели подтверждается хорошим совпадением экспериментальных и рассчитанных по модели значений количества отводимой теплоты, а также значением квадрата смешанной корреляции – $R^2=0,98$.

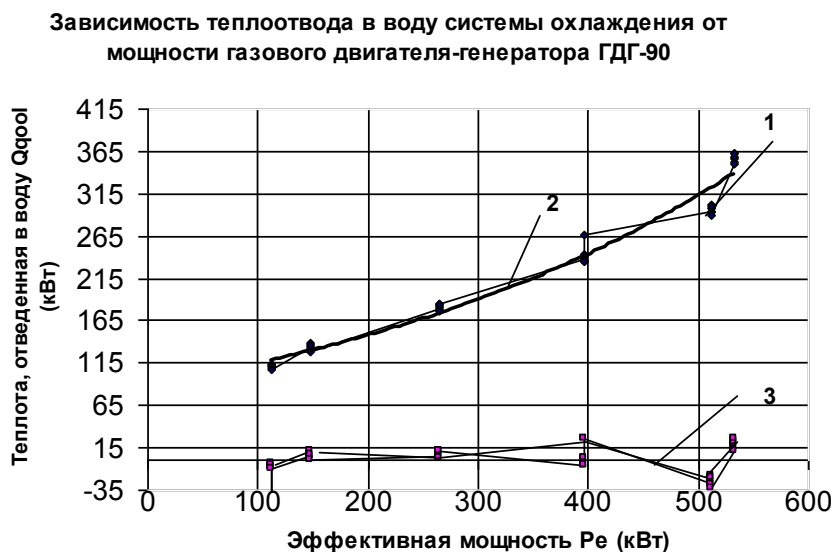


Рис. 4. Экспериментальные (1), рассчитанные по математической модели (2) значения отводимой теплоты, ошибка расчета по математической модели (3)

Для дизеля-генератора ДГ-70 получена зависимость вида

$$y_1 = ax^b = 8,8632x^{0,55}. \quad (10)$$

Адекватность модели также как и в первом случае подтверждается хорошим совпадением экспериментальных и рассчитанных по модели значений количества отводимой теплоты (табл. 4 и рис. 5) и значением квадрата смешанной корреляции R^2 , который равен 0,98.

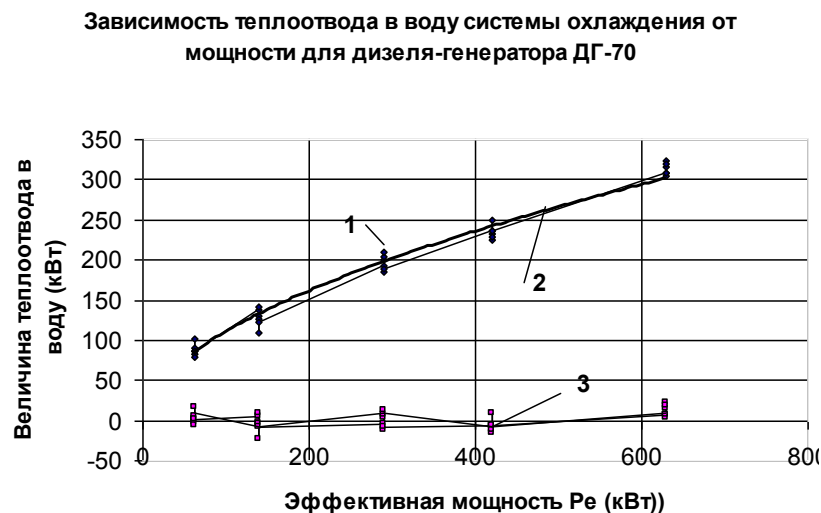


Рис. 5. Экспериментальные (1), рассчитанные по математической модели (2) значения отводимой теплоты, ошибка расчета по математической модели (3)

При работе ДВС в режиме холостого хода и нагрузках близких к нему большая часть теплоты, поступившей в камеру сгорания двигателя, затрачивается на преодоление сил трения в трущихся парах, а также отводится в воду системы охлаждения. Поэтому в данном случае целесообразно величину теплоотвода в воду системы охлаждения определить в зависимости от числа оборотов ДВС. С этой целью для дизеля-генератора ДГ-70 были проведены теплобалансовые испытания при его работе на холостом ходу.

Как и в случае работы двигателя под нагрузкой, в процессе испытаний температура воды в системе охлаждения на входе в дизель и на выходе из него, а также число оборотов дизеля-

генератора измерялись шесть раз. Затем на основании полученных данных рассчитывались разность температур и количество теплоты, отведенной в воду системы охлаждения. Значения результатов исследований, подтверждаемые протоколом теплосбалансовых испытаний ОАО «Волжский дизель им Маминых», приведены в табл. 5.

Таблица 5

Экспериментальные и расчетные значения теплоотвода в воду дизеля-генератора ДГ-70 в зависимости от числа оборотов при работе на холостом ходу

Число оборотов n (c^{-1})	Экспериментальное значение теплоотвода в воду Q_{cool} (кВт)	Рассчитанное по модели значение теплоотвода в воду y_1 (кВт)	Значение ошибки (кВт)	Значение ошибки (%)
8,7	26,2	29,6	-3,4	13
10,6	43,6	37	6,6	15,1
14,9	54,1	54,6	-0,5	0,9
16,8	61,3	62,5	-1,2	2
18,7	70	70,6	-0,6	0,9
21,7	85,1	81,7	3,4	3,9
25	96,1	98,3	-2,2	2,3

На основании результатов исследований в Excel была получена нелинейная математическая модель зависимости количества отводимой теплоты от часового расхода топлива двигателя ДГ-70:

$$y_1 = ax^b = 2,5241x^{1,1376} \quad (11)$$

где y_1 – количество отведенной в воду теплоты (кВт), x – текущее значение числа оборотов дизеля-генератора ДГ70 (c^{-1})

Также как при исследовании работы ДВС под нагрузкой адекватность модели подтверждается хорошим совпадением экспериментальных и рассчитанных по модели значений количества отводимой теплоты (табл. 5 и рис. 6) и значением квадрата смешанной корреляции R^2 , который равен 0,96.

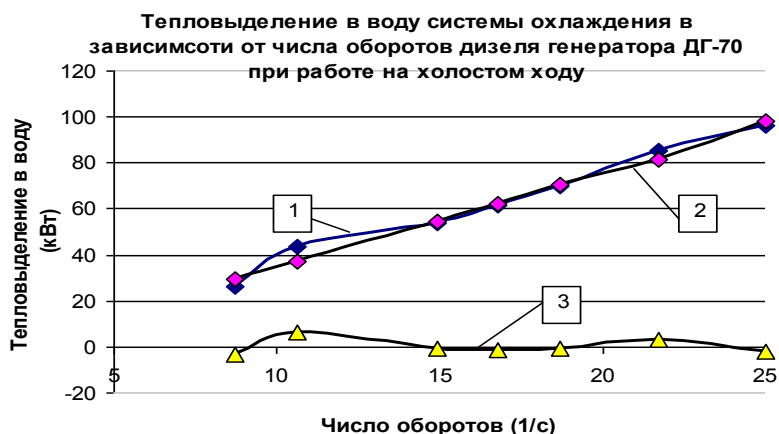


Рис. 6. Экспериментальные (1), рассчитанные по математической модели (2) значения отводимой теплоты, ошибка расчета по математической модели (3)

Таким образом, в результате обработки данных экспериментальных исследований были получены математические зависимости, позволяющие определить величину теплоотвода в воду системы охлаждения для двух модификаций дизеля 6ЧН21/21 в зависимости от нагрузки и холостом ходу.

Математические зависимости (9), (10) и (11) могут быть использованы в расчетах, необходимых при проведении модернизации системы охлаждения ДВС. В частности при наличии соответствующего алгоритма расчета они позволяют рассчитать величину теплового потока, отводимого от охлаждающей жидкости в тепловой аккумулятор, установленный в тракт системы охлаждения с целью поддержания в ней повышенного температурного режима во всем диапазоне режимов работы ДВС.

На основании проведенного анализа литературных источников и патентных исследований была подана заявка на систему жидкостного охлаждения тепловой машины № 2011145416/06(068024) от 08.11.2011 г. на изобретение и выдачу патента; получено положительное решение от 14.11.2012 г.

Полученные зависимости теплоотода в охлаждающую жидкость от величины мощности ДВС будут способствовать более точному расчету элементов запатентованной системы охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разуваев А.В. Повышение эффективности энергетических установок / А.В. Разуваев, Е.А. Разуваева, Е.А. Соколова // Вестник СГТУ. 2010. № 3. С 150-159.
2. Овсянников М.К. Эффективность топливоиспользования в судовых дизельных установках / М.К. Овсянников, В.А. Петухов. Л.: Судостроение. 1984. 96 с.
3. Разуваев А.В. Поршневые двигатели внутреннего сгорания с высокотемпературным охлаждением / А.В. Разуваев. Саратов: СГТУ, 2001. 128 с.
4. Львовский Е.Н. Статистические методы постарения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. М.: Высш. шк., 1988. 239 с.

Разуваев Александр Валентинович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander V. Razuvaev – Dr. Sc., Professor
Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering,
Balakovo Institute Engineering, Technology and Management:
Part of Gagarin Saratov State University

Соколова Елена Анатольевна – ассистент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena A. Sokolova – Assistant Lecturer
Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering,
Balakovo Institute Engineering, Technology and Management:
Part of Gagarin Saratov State University

Статья поступила в редакцию 12.11.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 621.43

Ю.И. Данилов, А.С. Денисов, И.К. Данилов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-РЕМОНТНЫХ ЦИКЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Разработаны новые подходы к эксплуатационно-ремонтному циклу отечественных автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с применением мобильных средств диагностирования. На основе проведенных исследований предложено устройство диагностики двигателей внутреннего сгорания. Обоснован критерий оптимальности ремонта на конкретной выборке ДВС с конкретным расчетом удельных трудоемкостей и предлагаемыми слагаемыми удельных затрат.

Эксплуатационно-ремонтный цикл, предварительный ремонт, капитальный ремонт, трудоемкость, доля восстановления

Yu. I. Danilov, A.S. Denisov, I.K. Danilov

IMPROVING THE PLANNING OF THE OPERATION AND MAINTENANCE CYCLES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES (ICE)

New approaches to the maintenance and repair cycle of domestic automobile internal combustion engine with application of mobile diagnostic tools were developed in this article. On the basis of the conducted research the proposed device diagnostics of internal combustion engines. The criterion of optimality of the repairs on the particular sample of internal combustion engine with specific calculation of unit labour inputs and proposed elements of the unit cost was justified.

Maintenance and repair cycle, preliminary repairs, overhaul, the complexity, the share of the recovery

На автомобильном транспорте сложилась тенденция старения парка автомобилей, объясняемая состоянием экономики страны. Затраты на поддержание работоспособности автомобилей превышают стоимость новых, достигают 20...25% себестоимости перевозок, до 40% из которых приходится на технические обслуживания (ТО) и ремонты двигателей. При этом базовые детали двигателей попадают в капитальный ремонт (КР) или в утилизацию с недоиспользованным на 35...45% ресурсом, что обусловлено несовершенством подхода к эксплуатационно-ремонтному циклу (ЭРЦ) ДВС как к системе.

Многими авторами предлагаются схемы ЭРЦ, жестко регламентирующие через определенный пробег детерминированный состав восстановительных работ – предупредительные и капитальные ремонты. Хотя большинство мировых производителей отказываются от проведения КР или проводят его один раз за весь срок службы. Из-за отсутствия нормативов по составу восстановительных работ, трудоемкости и уравнительного подхода при ремонте не учитывается индивидуальное состояние ДВС, теряются резервы повышения эффективности ДВС. Необходима разработка новых подходов к ЭРЦ отечественных автомобильных ДВС с широким применением мобильных средств диагностирования. Нами исследовались 43 двигателя КамАЗ, которым по результатам диагностирования выполнялись только ПР, и 37 двигателей, которым проводился ПР и один КР. Приведем изменение суммарных удельных затрат на восстановление работоспособности только проведением ПР (табл. 1).

Таблица 1

Суммарные удельные затраты проведением ПР

Пробег, тыс.км	120	180	240	300	360	420	480
Порядковый номер и вид ремонта	1ПР	2ПР	3ПР	4ПР	5ПР	6ПР	7ПР
Удельные затраты перед ремонтом, руб./тыс.км	15,5	12	11	10	9	9	9
Удельные затраты после ремонта, руб./тыс. км	17,5	13	13	11	11	19	11

Обеспечение работоспособности проведением ПР и одного КР увеличит затраты на поддержание ДВС в работоспособном состоянии в полтора раза. Оценка затрат по 37 ДВС КамАЗ показала следующее распределение суммарных удельных затрат (табл. 2).

Таблица 2

Суммарные удельные затраты проведением ПР и КР

Пробег, тыс. км	120	180	240	300	360	450
Порядковый номер и вид ремонта	1ПР	2ПР	3ПР	4ПР	КР	5ПР
Удельные затраты перед ремонтом, руб./тыс. км	15,5	12	11	10	9	11
Удельные затраты после ремонта, руб./тыс. км	17,5	13	12	11	14	12

И в первом, и во втором случае решение о виде ремонта, его объеме и трудоемкости принимается по результатам предремонтного диагностирования.

В первую очередь диагностируется цилиндропоршневая группа, так как на ее долю приходится большее количество неисправностей. Нами предложено устройство для оценки температуры камеры сгорания без воспламенения, как дополнительный параметр наряду с измерениями компрессии в цилиндрах ДВС. Рабочая гипотеза заключается в том, что температура снижается при ухудшении компрессионных свойств поршневых колец из-за прорыва газов в картер ДВС. В 2010 году был получен патент на полезную модель (№95827) устройства диагностики ДВС (рис. 1). Диагностика других систем и механизмов проводится имеющимся штатным оборудованием.

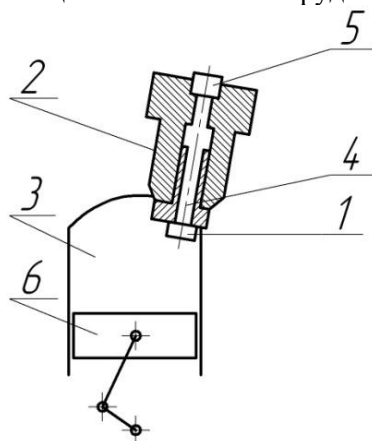


Рис. 1. Устройство диагностики ДВС: 1- термопара; 2 – корпус; 3 – камера сгорания; 4 – канал; 5 – блок регистрации; 6 – поршень

Суммарные удельные затраты путем ПР и ПР с одним КР по результатам диагностирования свидетельствуют о целесообразности проведения предупредительных ремонтов. Этот вывод основывается на расчете по предлагаемой формуле критерия (1) оптимальности ремонта. При расчете учитывались стоимости ремонта, устранения отказа, потери прибыли из-за преждевременной замены деталей (недоиспользование ресурса). Формула для расчета выглядит следующим образом:

$$C_{\text{уд}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{pi} + C_{oi}}{\tau_i} \right) + \frac{t_{np} \cdot C_{np}}{\tau_{\max}} + \sum \frac{C'_{npi}}{\tau'_{\max} - \tau'_i} \rightarrow \min \quad (1)$$

где C_{pi}, C_{oi}, C'_{npi} – суммарные стоимости ремонта, устранения отказа, потерь прибыли или дохода, приносимого двигателем при недоиспользовании ресурса, руб.; n – число сменных комплектов в двигателе; τ_i, τ_{\max} – межремонтный пробег i -го, имеющего наибольшую наработку комплекта; t_{np} – суммарное время простоя по техническим причинам, ч; C_{np} – средняя стоимость простоя, руб.

Таким образом, обоснован критерий оптимальности ремонта на конкретной выборке ДВС с конкретным расчетом удельных трудоемкостей и предлагаемыми слагаемыми удельных затрат.

Для системного планирования технических воздействий за весь срок службы ДВС нами использовалась теория многоуровневых иерархических систем (МИС), предполагающая возможность описать математически процесс создания ЭРЦ на организационных уровнях (стратах), разрабатывать схемы эксплуатационно-ремонтных циклов [1]. По результатам диагностирования с учетом средних значений показателей технического состояния перед ПР и КР определяется набор восстановительных работ, их состав, средства промежуточного контроля. Итогом является формирование и определение комплекса восстановительных работ по механизмам и системам ДВС. При этом восстановление механизмов и систем можно рассматривать как последовательный процесс, трудоемкости всех операций суммируются. Но необходимо учитывать возможность параллельности процесса восстановления по системам и механизмам агрегатов, которые можно выполнять одновременно. Тогда трудоемкость восстановления можно планировать не суммированием трудоемкостей отдельных операций, а несколько меньшей трудоемкостью, обусловленной параллельностью процесса восстановления ДВС (любого агрегата). Хронометраж восстановления 38

ДВС по предлагаемой схеме в Саратовском автоцентре КамАЗ показал, что при восстановлении с участием двух и более единиц оборудования и обслуживающего персонала, трудоемкость восстановления двигателей трех групп: «новых» (15 единиц), после ПР (12 единиц), после КР (11 единиц), в любой момент времени можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью с высоким коэффициентом корреляции (рис. 2).

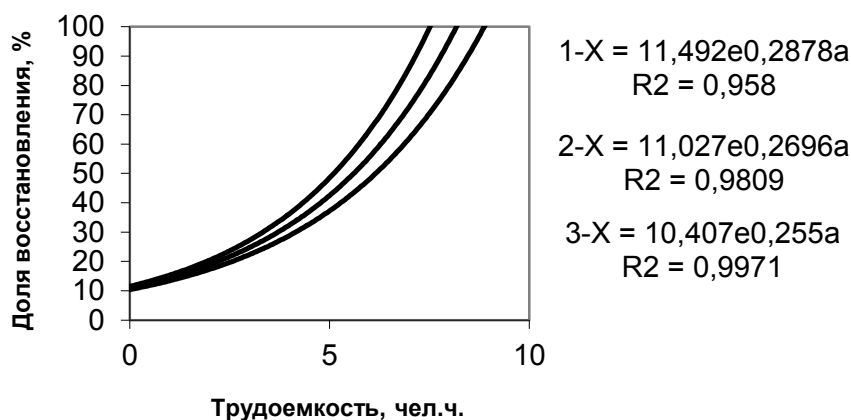


Рис. 2. Зависимость доли восстановления от трудоемкости: 1 – ДВС «новые»; 2 – ДВС после ПР; 3 – ДВС после КР

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов И.К. Моделирование ремонтных циклов ДВС и оценка их трудоемкости сетевыми методами / И.К. Данилов // Вестник СГТУ. 2004. № 2 (3). С. 61-66.

Данилов Юрий Игоревич – аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Денисов Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Данилов Игорь Кеворкович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и двигатели» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Yury I. Danilov – Postgraduate
Department of Automobiles and Automobile Business
Gagarin Saratov State Technical University

Aleksander S. Denisov – Dr. Sc., Professor Head of Department
Automobiles and Automobile Business
Department of Gagarin Saratov State Technical University

Igor K. Danilov – Dr. Sc., Professor
Department of Automobiles and Engines,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ

УДК 316.7

Т.С. Инютина

СОЦИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЧЕВОЙ КУЛЬТУРЫ ПЕДАГОГОВ УЧРЕЖДЕНИЙ НАЧАЛЬНОГО И СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Рассматриваются вопросы, связанные с речевой культурой педагогического и руководящего составов учреждений начального и среднего профессионального образования. В рамках проведенного исследования были получены результаты, которые иллюстрируют современное состояние речевой культуры педагогов данной системы образования.

Речевая культура, компоненты речевой культуры, коммуникативная компетентность, коммуникативное поведение

T.S. Inutina

SOCIOLOGICAL INTERPRETATION OF SPEECH CULTURE OF TEACHERS AT ESTABLISHMENTS OF PRIMARY AND SECONDARY PROFESSIONAL EDUCATION

The article considers the issues connected with speech culture of teachers and principals at establishments of primary and secondary professional education are considered. The results of the conducted research illustrate the current state of things with the speech culture of teachers of the given education system.

Standards of speech, components of the speech culture, communicative competence, communicative behavior

Существование в мире невозможно без процесса коммуникаций. Термин «коммуникация» в социологии используется для обозначения как межличностного, так и массового обмена информацией. Мы не будем касаться всех сторон данного процесса. Остановимся на профессиональных коммуникациях в сфере образования, а именно в системе начального и среднего профессионального образования.

Нельзя не отметить, что современная ситуация в образовании характеризуется рядом проблем, в том числе связанных с уровнем речевой культуры педагога. Эта проблема социально обусловлена, т.к. изменение социально-экономической ситуации, общественного устройства потребовало пересмотра привычных форм общения между педагогом и обучаемым.

Поскольку речь является основой педагогической деятельности, речевую культуру можно определить как её базовую характеристику. От уровня её сформированности во многом зависит успешность процесса профессиональных коммуникаций педагогов, и соответственно всей педагогической деятельности в целом.

Речевая культура или **культура речи** – понятие очень широкое и многозначное. Во-первых, его можно понимать в широком смысле, и тогда оно имеет синоним «культура языка» (в этом случае подразумеваются образцовые тексты письменности и потенциальные свойства языковой системы в целом). Во-вторых, в узком смысле культура речи – это конкретная реализация языковых свойств и возможностей в условиях повседневного общения, устного и письменного. В-третьих, культурой речи называют самостоятельную лингвистическую дисциплину.

Принято выделять три уровня сформированности речевой культуры: высокий; средний; низкий.

Свободное владение устной и письменной речью – одно из важнейших профессиональных умений преподавателя. Педагогическая деятельность – это та сфера деятельности, в которой отмечается повышенная речевая ответственность, и, следовательно, важность особенностей речевого поведения человека (педагога), последствия его умения (или неумения) владеть словом, трудно переоценить. Речь является основой процесса коммуникации. В широком смысле коммуникацию понимают как обмен информацией между индивидами посредством общей системы символов.

Современное состояние общества в целом, и системы образования в частности, позволяет нам предположить, что уровень речевой культуры постепенно снижается.

Понятие речевой культуры неразрывно связано с коммуникативной компетентностью личности. Коммуникативная компетентность педагога – интегральная способность личности к оценке ситуации, партнера по общению, собственного коммуникативного потенциала (коммуникативные способности, знания, умения, навыки, опыт) в контексте решаемой педагогической задачи и к выбору конструктивных способов ее решения и приемов коммуникативного взаимодействия, в основе которых лежит культура речи, формирующая влиятельную аргументацию в процессе преподавания – учения – образования и практически обеспечивающая логику форм выразительного речевого воздействия и взаимодействия в учебной ситуации и в системе коммуникативных намерений, характерных для различных видов, структур и этапов учебно-воспитательной деятельности.

Л.А. Петровская дает следующее определение коммуникативной компетентности: «Умение ставить и решать определенные типы коммуникативных задач: определять цели коммуникации, оценивать ситуацию, учитывать намерения и способы коммуникации партнера (партнеров), выбирать адекватные стратегии коммуникации, быть готовым к осмысленному изменению собственного речевого поведения».¹

В коммуникативную компетентность, соответственно, входят способность устанавливать и поддерживать необходимые контакты с другими людьми, удовлетворительное владение определенными нормами общения, поведения, что в свою очередь, предполагает усвоение этно- и социально-психологических эталонов, стандартов, стереотипов поведения, овладение «техникой» общения (правилами вежливости и другими нормами поведения)².

Коммуникативное поведение учителя – процесс передачи информации и такая организация речи и соответствующего ей поведения педагога, которые влияют на создание эмоционально-психологической атмосферы общения педагогов и обучаемых, на характер отношений между ним, на стиль работы. Успешность коммуникативного поведения педагога во многом зависит от:

1. Качества речи, которое определяется качеством и количеством мыслей в ней на единицу занятого места и времени.
2. Осознания педагогической задачи учителем.
3. Учета характера взаимоотношений с обучаемыми.
4. Авторитета учителя.
5. Убежденности и аргументированности, новизны, выразительности речи, общеречевой культуры.
6. Коммуникативных умений – владения «чтением по лицу», понимания личности учащегося, его психического состояния по внешним признакам.
7. Умений самопрезентации педагога³.

Любая профессиональная деятельность предполагает совершенствование умений и навыков, а также получение новых знаний в своей области. Повышение квалификации является одним из видов дополнительного профессионального образования, которое представляет собой приобретение новых теоретических и практических знаний по специальности в связи с повышением требований к уровню квалификации и необходимостью освоения инновационных методов решения профессиональных задач.

Повышение квалификации в условиях научно-технического прогресса сопровождается накоплением и систематическим обновлением профессионального опыта в течение всей активной трудовой деятельности педагога⁴. Одним из образовательных учреждений, которое осуществляет подобную

¹ Петровская Л. А. Теоретические и методические проблемы социально-психологического тренинга. М.: МГУ, 1982.

² Федеральный государственный образовательный стандарт. Глоссарий: Режим доступа: <http://standart.edu.ru/catalog.aspx?CatalogId=792>

³ Коджаспирова Г. М., Коджаспиров А. Ю. Словарь по педагогике. М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Изд. центр «МарТ», 2005. 448 с.

⁴ Соколова Г.Н. Энциклопедия социологии: <http://slovari.yandex.ru/dict/sociology/article/soc/soc-0553.htm>

деятельность, является Белгородский институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов.

В рамках изучения речевой культуры было проведено анкетирование педагогов учреждений начального и среднего профессионального образования г. Белгорода и Белгородской области. Всего в городе и области 19 учреждений начального профессионального образования (НПО) и 27 учреждений среднего профессионального образования (СПО).

Как уже упоминалось выше, в анкетировании приняли участие преподавательский и руководящий составы учреждений данной системы образования. Его количественный состав представлен в табл. 1.

Таблица 1

Количественный состав респондентов

	Преподавательский состав учреждений НПО и СПО (чел.)	Руководящий состав учреждений НПО и СПО (чел.)
Общее количество (чел.)	1997	254
Количество опрошенных (чел.)	301 (143 чел. – НПО, 158 чел. – СПО)	45 (20 чел. – НПО, 25 чел. – СПО)
Количество опрошенных (%)	15	17,7

Как известно, язык является средством общения. Педагогическая коммуникация предполагает использование в той или иной степени, всех его функций, а именно: контактоустанавливающей (фатической), функции усвоения информации, функции воздействия, функции оценки (аксиологической), эстетической, функции хранения и передачи информации (кумулятивной). Педагоги учреждений НПО и СПО в своей профессиональной коммуникации чаще всего используют **контактоустанавливающую (фатическую) функцию языка** – 54,2% и **функцию создания, хранения и передачи информации (кумулятивную)** – 50,8%. **Функции усвоения информации** – 32,6%, **воздействия** – 35,9%, **эстетическая** – 27,6% находят меньшее отражение в педагогической коммуникации. Наименьшее использование приходится на функцию **оценки (аксиологическую)** – 16,6%.

Речевая культура имеет различные **характеристики**, с лексической точки зрения владение ею предполагает **правильность речи, владение различными стилями речи** (научный, официально-деловой, публицистический, разговорный, литературный), отсутствие или минимальное использование в речи **слов иноязычного происхождения**. Владение различными стилями речи в качестве характеристики культуры речи отмечают 77,7% опрошенных педагогов, 64,5% – правильность речи, и только 2,0% говорят о том, что речь имеет такую характеристику, как использование в речи иностранных слов

Коммуникативная культура включает в себя следующие **компоненты**: способность устанавливать и поддерживать необходимые контакты с другими людьми; владение нормами общения; готовность к осмысленному изменению собственного речевого поведения; владение этно- и социально-психологическими эталонами, стандартами, стереотипами поведения; владение «техникой» общения; умение определять цели коммуникации; умение оценивать ситуацию; умение учитывать намерения и способы коммуникации партнера (партнеров); умение выбирать адекватные стратегии коммуникации; владение нормами поведения. В процессе профессиональной коммуникации педагог оценивает себя, насколько он владеет теми или иными компонентами коммуникативной культуры. Наиболее освоенным компонентом является способность устанавливать и поддерживать необходимые контакты с другими людьми – 60,5%; затем идут владение нормами общения – 48,5%, владение нормами поведения – 46,8%, умение оценивать ситуацию – 39,2%, готовность к осмысленному изменению собственного речевого поведения – 26,2%; наименее освоенными компонентами являются: владение «техникой» общения – 16,6%, умение выбирать адекватные стратегии коммуникации – 16,6%, умение учитывать намерения и способы коммуникации партнера (партнеров) – 13,0%, умение определять цели коммуникации – 11,3%, владение этно- и социально-психологическими эталонами, стандартами, стереотипами поведения – 4,3%.

Речь педагога характеризуется возникновением незапланированных высказываний. Кратко охарактеризуем их: *справочные* фразы конкретизируют основное содержание; *комментирующие* высказывания комментируют особенности дидактического материала, собственно деятельность педагога

га, деятельность обучаемых, мотивирующие последующее речевое действие; *дивертивные* фразы направляют педагогическую деятельность в нужное русло. Следует отметить, что достаточно небольшое количество педагогов владеют данными типами высказываний – всего 14,3%, 15,3% и 14% опрошенных соответственно.

В учреждениях системы НПО и СПО руководство выполняет не только административные функции, но и педагогические. Руководитель любой организации, и образовательного учреждения в частности, координирует и направляет деятельность своих подчиненных. Можно выделить следующие основные функции руководителя: административно-организационные; стратегические, связанные с постановкой целей, выбором методов их достижения; экспертно-консультативные; коммуникативные; воспитательные; функцию представительства.

То, насколько успешен процесс профессиональных коммуникаций в коллективе является лакмусовой бумажкой эффективности руководства им, а также функционирования образовательного учреждения в целом.

Как известно коммуникация – это процесс передачи и восприятия информации. Язык в процессе коммуникации выполняет множество функций. Он выступает и как средство общения, и как средство передачи информации, и в качестве средства выражения эмоций, и как средство влияния на поведение собеседника, а также как средство влияния на мышление собеседника. Представители администрации используют язык в основном как средство общения – 100% и как средство передачи информации – 91,1%; как средство влияния на мышление собеседника всего – 33,3%, как средство выражения эмоций – 28,9%, влияют на поведение собеседника всего – 26,7%.

Человек в процессе коммуникации получает информацию с помощью нескольких органов чувств – зрение, слух и пр. Помимо вербальных человек получает и другие сигналы, которые способствуют или препятствуют взаимопониманию и взаимодействию собеседников. Для каждого человека в процессе коммуникации какая-то одна из его сторон имеет большую информативность. Для руководителей учреждений системы НПО и СПО наибольшую информативность имеет вербальный язык и тон речи собеседника (66,7% и 44,4% соответственно); внешний вид собеседника несет большую часть информации для 20,0% руководителей; мимика, жесты, т.е. невербальный язык, имеет большую значимость для 13,3% руководителей; и 2,2% отметили, что немаловажное значение имеет эмоциональное состояние собеседника, т.к. оно может задавать тон всему процессу коммуникации.

Умение говорить предполагает умение слушать и услышать, смотреть и увидеть, иначе диалог невозможен. В ходе коммуникации собеседники осуществляют такие виды речевой деятельности, как слушание, восприятие, понимание, обобщение, анализ и воспроизведение полученной информации. В силу индивидуальных особенностей личности одни из перечисленных процессов имеют большее значение, а другие будут менее значимыми.

Слушать, услышать и понять главную мысль, высказанную собеседником, получается лучше всего у 88,9% руководителей. Слушать и выявлять несколько точек зрения на одну и ту же проблему и сопоставлять с собственной позицией удастся 77,8% опрошенных. Слушать и графически обобщать информацию - записывать, фиксируя мысли и записывать информацию, необходимую в качестве аргументов могут 33,3%. Слушать и фиксировать информацию в виде вопросов к собеседникам стараются осуществить 17,8%. Слушать и выявлять новую информацию собеседника в виде примера, иллюстрации могут 15,6%. И всего лишь 6,7% руководителей способны слушать и находить общее в суждениях собеседников.

Уровень сформированности речевой культуры напрямую зависит от уровня владения такими компонентами речевой культуры как:

1. Знание норм литературного языка и устойчивые навыки их применения в речи.
2. Умение следить за точностью, логичностью и выразительностью речи.
3. Владение профессиональной терминологией, знание соответствий между терминами и понятиями.
4. Владение стилем профессиональной речи.
5. Умение определять цель и понимать ситуацию общения.
6. Умение учитывать социальные и индивидуальные черты личности собеседника.
7. Навыки прогнозирования развития диалога, реакций собеседника.
8. Умение создавать и поддерживать благожелательную атмосферу общения.
9. Высокая степень контроля эмоционального состояния и выражения эмоций.
10. Умение направлять диалог в соответствии с целями профессиональной деятельности.
11. Знание этикета и четкость выполнения его правил.

Результаты самоанализа руководящего состава учреждений НПО и СПО представлены на схеме ниже (рис. 1).

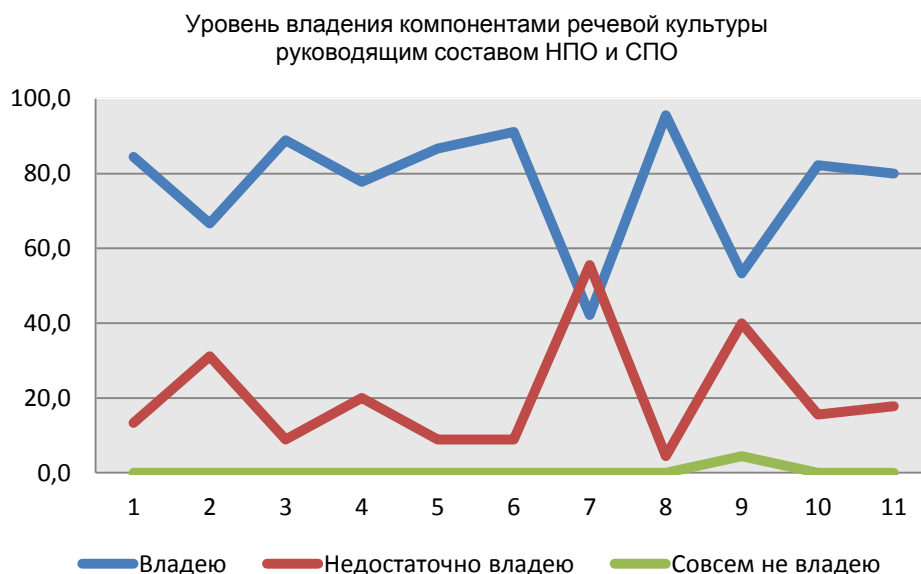


Рис. 1. Цифрами от 1 до 11 обозначены компоненты речевой культуры

Следует отметить, что уровень владения компонентами речевой культуры достаточно высок. Однако, судя по результатам исследования, руководители недостаточно владеют такими необходимыми в административной деятельности компонентами, как навыки прогнозирования развития диалога, реакций собеседника и контролем эмоционального состояния и выражения эмоций.

В педагогической коммуникации важное значение имеет владение следующими коммуникативными умениями:

1. Умение проявлять теплоту и доброжелательность в общении со всеми учениками.
2. Умение чувствовать изменения в настроении группы и управлять ими.
3. Богатая и выразительная речь.
4. Умение создавать условия для свободы выражения позиций, в том числе и критики.
5. Умение владеть своим настроением.
6. Умение договориться, если понадобится, практически с каждым.
7. Умение гармонично сочетать жесты, мимику, интонации с содержанием речи.
8. Умение поставить себя на место ученика, взглянуть на проблему его глазами.
9. Умение увлекательно и понятно для учеников излагать материал.
10. Умение вести дискуссию на уроке, создавать связь каждого выступления с общим руслом рассуждений, подводить итоги.
11. Умение открыто выражать свою позицию так, что при этом не снижается самоуважение учащихся.
12. Умение признавать и видеть достижения каждого, а особенно слабого учащегося.

Рис. 2 отображает уровень владения приведенными выше коммуникативными умениями, по 5-тибалльной системе оценке.

У руководителей вызывают затруднения такие умения как: умение создавать условия для свободы выражения позиций, в том числе и критики, а также умение договориться, если понадобится, практически с каждым. В работе администрации эти умения имеют немаловажное значение. В связи с этим можно сделать вывод, что руководящий состав учреждений НПО и СПО не обладает достаточными умениями для управления образовательным учреждением, что отрицательно сказывается на работе всего коллектива.

Уровень владения руководящего состава НПО и СПО коммуникативными умениями в педагогическом общении

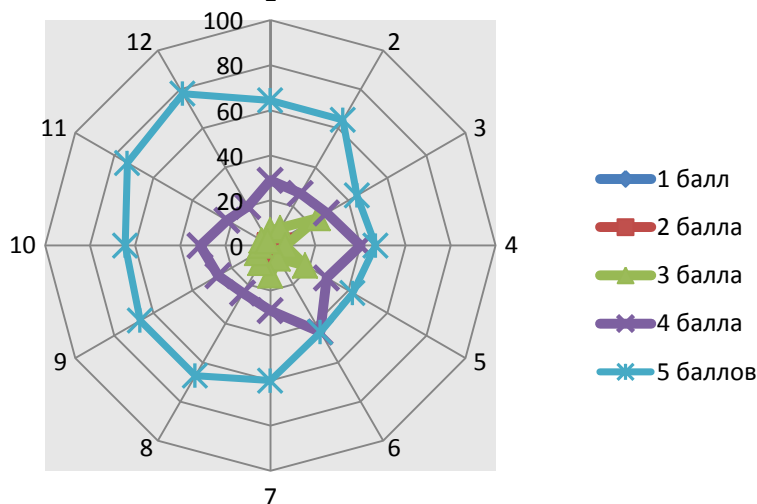


Рис. 2. Цифрами от 1 до 12 обозначены умения педагогического общения

В процессе педагогического общения его участниками используются умения межличностной коммуникации, которые способствуют ее эффективному осуществлению. Это:

1. Умение передавать рациональную и эмоциональную информацию.
2. Умение пользоваться вербальными и невербальными средствами передачи информации.
3. Умение организовывать и поддерживать диалог.
4. Умение активного слушания.

Приведенная ниже диаграмма является иллюстрацией уровня владения умениями межличностного общения (рис. 3).

Руководители лучше всего владеют умением организовывать и поддерживать диалог, что положительно сказывается на выполнении управленческих функций. Также достаточно развито умение пользоваться различными средствами передачи информации, как вербальными, так и невербальными.

Уровень владения умениями межличностной коммуникации руководящего состава НПО и СПО

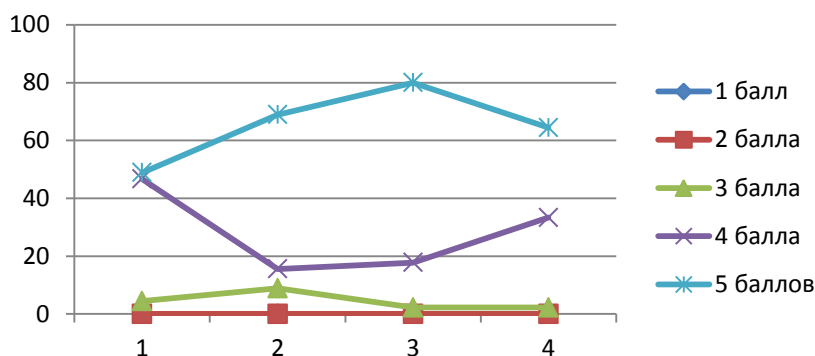


Рис. 3. цифрами от 1 до 4 обозначены умения межличностной коммуникации

Процесс коммуникации предполагает владение умениями восприятия и понимания собеседниками друг друга; для руководителя организации данные умения имеют немаловажное значение. Это такие умения, как:

1. Умение ориентироваться в коммуникативной ситуации.
2. Умение распознавать скрытые мотивы и психологические защиты.
3. Умение понимать эмоциональное состояние партнеров.
4. Умение социальной рефлексии.

Результаты исследования по изучению уровня владения данными умениями представлены на рис. 4.

Лучше всего сформированы умения ориентироваться в коммуникативной ситуации и понимать эмоциональное состояние партнеров по коммуникации. Наименее всего развито умение распознавать скрытые мотивы и средства психологической защиты участников коммуникации.

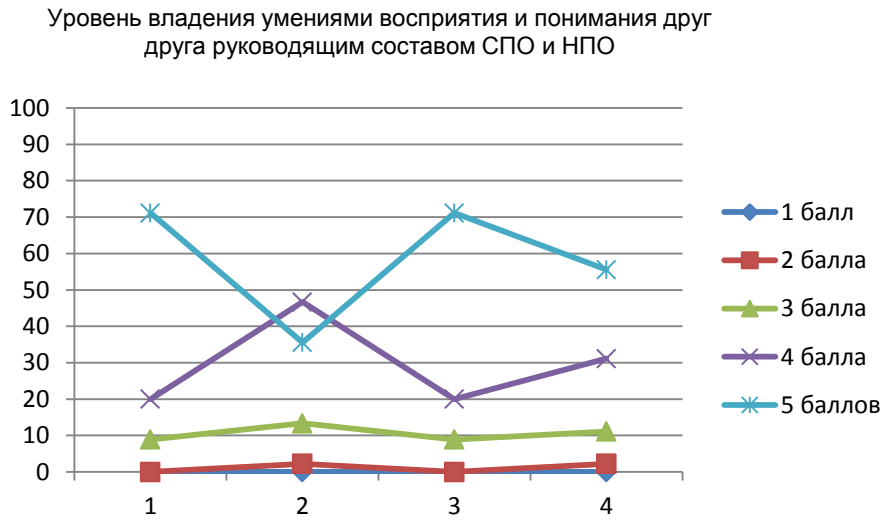


Рис. 4. цифрами от 1 до 4 обозначены умения восприятия и понимания друг друга

Для руководителя важным является владение умениями межличностного взаимодействия с подчиненными, т.к. от этого во многом зависит эффективность профессиональных коммуникаций, а также эффективность работы образовательного учреждения. К данной группе умений мы отнесем следующие:

1. Умение организовывать совместную деятельность.
2. Умение управлять групповой динамикой.
3. Умение занимать адекватную ролевую позицию.
4. Умение оказывать психологическую помощь.
5. Умение конструктивно разрешать конфликты.
6. Умение занимать позицию конструктивной конфронтации.

Рис. 5 иллюстрирует степень владения указанными умениями руководителями учреждений НПО и СПО. Данные умения развиты на достаточно высоком уровне, но лучше всего управленческий персонал владеет умениями организовывать совместную деятельность и занимать адекватную ролевую позицию.

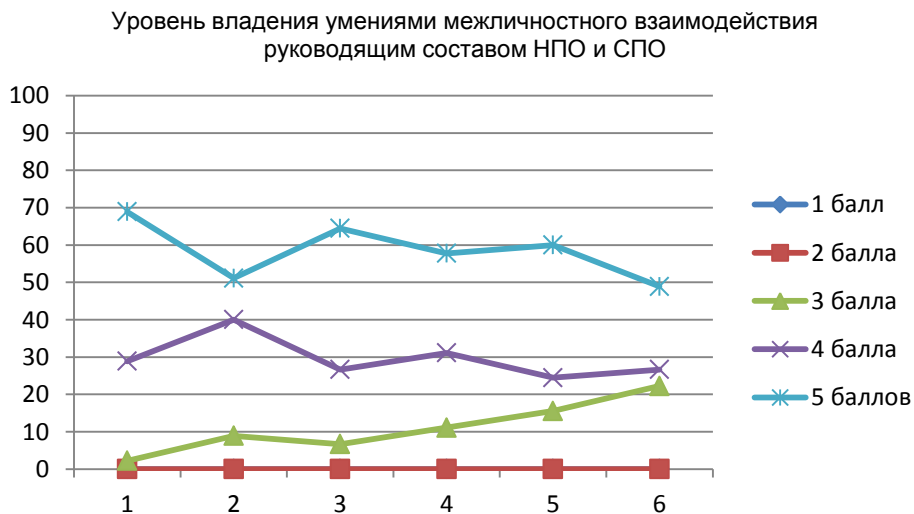


Рис. 5. Цифрами от 1 до 6 обозначены умения межличностного взаимодействия

Проанализировав полученные в результате исследования данные, делаем вывод о том, что уровень сформированности речевой культуры преподавательского состава образовательных учреждений системы НПО и СПО находится на низком уровне; уровень сформированности речевой культуры руководящего состава можно определить как средний. Данный вывод иллюстрирует нижеприведенная таблица.

Таблица 2

Уровень сформированности речевой культуры респондентов

	Преподаватели учреждений НПО и СПО	Руководящий состав учреждений НПО и СПО
Степень сформированности речевой культуры (%)	29,7%	55%
Уровень сформированности речевой культуры	низкий	средний

Владение речевой культурой способствует эффективному осуществлению коммуникативных процессов, что в свою очередь положительно сказывается на педагогической деятельности в целом. Современные условия жизни предъявляют повышенные требования к педагогам, выполнение которых не всегда зависит от личности педагога, т.к. материально-техническая база учебных заведений, особенно системы НПО и СПО, далеко не всегда позволяет их осуществлять.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конечкая В.П. Социология коммуникаций: учеб. / В.П. Конечкая. М.: Междунар. ун-т бизнеса и управления, 1997. 304 с.
2. Петровская Л.А. Компетентность в общении: Социально-психологический тренинг / Л.А. Петровская. М: Изд-во МГУ, 1989. 216 с.
3. Федеральный государственный образовательный стандарт. Глоссарий: Режим доступа: <http://standart.edu.ru/catalog.aspx?CatalogId=792>
4. Соколова Г.Н. Энциклопедия социологии / Г.Н. Соколова: <http://slovari.yandex.ru/dict/sociology/article/soc/soc-0553.htm>

Инютина Татьяна Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии» Белгородского института повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов

Tatyana S. Inutina – Senior Lecturer Department of Information Technologies, Belgorod Institute for Continuous Education and Professional Training

Статья поступила в редакцию 12.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 377.5:61

В.П. Жуковский, И.М. Ильковская, Л.А. Скворцова

НРАВСТВЕННО-ЭТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ

Рассмотрены теоретические аспекты проблемы ответственности педагогических работников в процессе реализации профессиональных функций с позиций нравственно-этической регуляции педагогической деятельности.

Ответственность, ответственное отношение, нравственность, нравственная позиция личности

V.P. Zhukovsky, I.M. Ilkovskaya, L.A. Skvortsova

MORAL AND ETHICAL APPROACHES TO THE ISSUES OF RESPONSIBILITY OF PEDAGOGICAL WORKERS

The article describes the theoretical aspects of the problem of the responsibility relating the pedagogical workers in the process of realization of professional functions in terms of moral and ethical regulation of pedagogical activity.

Accountability, responsibility, morality, moral position of the person

Проблемы ответственности, нравственности человека, его ценностных ориентиров считаются одними из вечных проблем, порожденных самим ходом исторического развития цивилизации. Еще древние мыслители, философы, такие как Платон, Аристотель, Демокрит и другие, поднимали вопросы о воспитании духовного начала в каждом человеке. Проблеме ценностного развития личности посвящен целый ряд работ выдающихся мыслителей: Т. Мора, И. Канта, С. Пеппера, Д. Дьюи, М. Шелера и многих других.

В целом проблема изучения ответственности личности в настоящее время приобретает все более комплексный характер, являясь предметом изучения различных наук, и представляет собой важную область исследований, расположенную на стыке различных отраслей знания о человеке.

Обобщенное толкование понятия ответственность приводится в «Философском словаре»: 1) ответственность – основное этическое понятие, которое фиксирует сферу реальности, подлежащую воспроизводству ответственным субъектом; 2) ответственность – понятие, обозначающее ценностную ориентацию, вменяющую человеку обязанности как члену общества, требующую от общества и от индивида ретроспектив и перспектив, оценки их исполнения. Ответственность выступает в качестве важного принципа регуляции поведения человека, а также нравственного основания для вменения вины и наказания; 3) ответственность – отношение зависимости человека от чего-то, что воспринимается им в качестве определяющего основания для принятия решений и совершения действий; 4) ответственность (нравственная) – категория этики, характеризующая личность с точки зрения выполнения ею нравственных требований, предъявляемых обществом; выражающая степень участия личности и социальных групп как в их собственном нравственном совершенствовании, так и в совершенствовании общественных отношений [5]. В данном определении ответственность выводится не только из нравственных, но и из правовых, управленческих и других социальных отношений, приобретающая более широкий спектр толкования.

Из приведенных определений видно, что в понятии «ответственность» четко выделяются субъективные и объективные стороны вне зависимости от того, какие стадии деятельности субъекта описывает данное понятие и из каких социальных отношений оно возникает. Полагаем в этой связи справедливой мысль, высказанную С.Ф. Анисимовым, по мнению которого: «...моральная ответственность имеет широкий социологический аспект анализа, ответственность как совокупность объективных требований, предъявляемых обществом к отдельным своим членам, коллективам в виде моральных принципов, норм, выражающих общественную необходимость. Она может быть представлена и в субъективном, психологическом содержании – ответственность как состояние сознания (в форме сознания и чувства ответственности, долга, совести и т.д.)» [1].

По мнению Л.И. Дементий, ответственность является ресурсной личностной характеристикой. Определяя ресурсы личности «как такие характеристики, качества человека, наличие которых обеспечивает ему конструктивное отношение к жизни, способность разрешать противоречия и жизненные трудности, достигать успеха», Л.И. Дементий [2] делает акцент на том, что благодаря ответственности человек способен соотносить и соизмерять свои способности и возможности с требованиями внешней среды, общества и других людей.

Ответственность в этой связи есть проявление взаимодействия людей, выражающее понимание общественных требований и выполнение установленных обществом требований разума, права и нравственных норм, долга человека и гражданина, вины за выбор цели и поступков, за принимаемые решения, совершаемые действия, их результаты и последствия. Она выступает как форма самоконтроля человеком своего поведения, саморегуляции деятельности, соблюдения нравственных императивов и правовых норм, принесенной пользы или вреда.

Педагогическая деятельность по своим функциям, общественной значимости, интеллектуальным, психофизиологическим нагрузкам является одной из самых сложных и ответственных ввиду ее

социальной обусловленности и вариативности принимаемых педагогом решений, основанных на профессиональном опыте и личностной компетентности в поле действия социально-нравственных норм, регулирующая роль которых становится сегодня важнейшим фактором повышения эффективности и авторитета деятельности педагогических работников. Очевидно, что именно нравственные нормы являются основным регулятором профессиональной деятельности педагогов, обеспечивая функционирование института образования как социально-профессиональной и морально-нравственной системы и сферы приложения личностных качеств педагогических работников как ее субъектов.

К проблемам исследования нравственности обращались многие исследователи (В.С. Библер, Н.И. Болдырев, Е.В. Бондаревская, И.И. Зарецкая, И.А. Колесникова, П.М. Якобсон). Нравственность характеризует субъективную моральную позицию индивида и по своему социальному содержанию отражает субъективное отношение человека к различным сторонам социального бытия – к окружению, самому себе, обществу в целом. Эти чувства, по мнению П.М. Якобсона, испытывает человек при восприятии им явлений действительности под углом зрения нравственного начала, отправляясь от категорий морали, выработанных обществом [6]. Нравственность определяется внутренней необходимостью выполнять моральные требования и определенным образом мотивирует социальную деятельность: она побуждает человека к действиям в соответствии со своими нравственными установками и моральными требованиями общества.

В толковом словаре С. И. Ожегова и Н.Ю. Шведовой дано следующее определение: «Нравственность – внутренние, духовные качества, которыми руководствуется человек, этические нормы; правила поведения, определяемые этими качествами» [4].

Г.М. Коджаспирова нравственность определяет как 1) особую форму общественного сознания и вид общественных отношений, один из основных способ регуляции человека и в обществе с помощью норм; 2) систему внутренних прав человека, основанную на гуманистических ценностях доброты, справедливости, порядочности, сочувствия, готовности прийти на помощь [3].

В процессе нравственного развития личности повышение значимости одних побуждений неизбежно приводит к подавлению других и наоборот. Так, усвоение некоторой нравственной ценности – это диалектически двойственный процесс повышения значимости нравственного поведения и преодоления форм противоречащего ему безнравственного поведения, сформировавшегося ранее. Морально-нравственное, культурное развитие человека – это аналогичный процесс изменения значимости соответствующих ценностей. Если некоторые побуждения останутся на уровне абсолютно высокой значимости, они не могут быть преодолены никаким волевым усилием. Задача нравственного воспитания заключается именно в том, чтобы высшие нравственные ценности стали сверхзначимыми. Тогда никакое негативное внешнее влияние не сможет «преодолеть» их. Диалектическое единство значимых и относительно незначимых образований проявляется и в решении вопроса о критериях нравственной оценки личности. Мера нравственности и безнравственности человека или его поступка состоит не только в объективных последствиях, но и в том, насколько значимыми он считает сформировавшиеся в обществе непреходящие ценности для успешной реализации своих индивидуалистических ценностей.

Отсюда следует, что стремление повысить профессионально-нравственный статус личности педагога, его нравственная ответственность за принимаемые решения и совершаемые действия должны быть связаны с нравственной позицией личности. Позиция личности формируется на всех этапах онтогенетического развития человека в зависимости от изменений социальной действительности. В работах отечественных психологов А.Н. Леонтьева, С.Л. Рубинштейна, Д.И. Фельдштейна понятие «позиция личности» определяется как сложная система отношений личности к явлениям социальной действительности. Позиция личности – явление объективное, сердцевина личности как социального феномена, ведущей характеристикой которого является направленность. В связи с этим позиция личности может быть охарактеризована как системное отношение соответствующих психических компонентов, позволяющее личности определенным образом осуществлять свое взаимодействие с внешней, прежде всего социальной, и внутренней, субъектной средой.

Нравственная позиция, по нашему мнению, являясь составляющим элементом профессиональной позиции педагогического работника, представляет собой систему его отношений к морально-нравственным нормам и правилам, характерным для сферы профессионального труда, устойчивость нравственной мотивации и осознание нравственной ответственности, принятой на субъективно значимом уровне. Только при наличии устойчивой нравственной позиции личности (равно как и профессиональной позиции, в целом) можно говорить о гармоническом развитии педагога.

При характеристике категории «ответственность» достаточно часто употребляется термин «отношение», «ответственное отношение», «отношения ответственной зависимости». В общепило-

софском понимании «отношение представляет собой способ сопричастного бытия вещей как условие выявления и реализации скрытых в ней свойств. Отношение не является вещью и не отражает свойств вещей, оно раскрывается как форма участия, соучастия в чем-либо, значимость чего-либо. Отношение указывает на связь между предметом (явлением) и субъектом, характеризующую значение первого для второго. Отношение в целом отражает разнообразные связи человека с миром, характеризуется наличием стремления личности, его активности, т.е. чем активнее индивид, тем в большей степени проявляется его стремление к деятельности, тем ярче выражается его отношение [5].

При этом выделяются два уровня существования ценностного отношения человека: нижний – социально-психологический – переживаемый, но не осознаваемый, характеризующийся обыденным сознанием людей (именно он определяет эмоциональные реакции и поступки человека) и верхний – осознаваемый, формируемый не только в процессе переживания, но и в процессе осмысления реальности. Здесь важными составляющими выступают: знание как осознание объективной ценности; переживание этой ценности как потребности; потребность, которая мотивирует поведение человека и на основе которой прогнозируется его поведение.

В психологической науке (В.М. Бехтерев, А.Ф. Лазурский, В.Н. Мясищев и др.) отношение рассматривается как сложное психическое образование, структурный компонент личности, исследуемый во взаимосвязи с сознанием, жизненными целями и смыслами жизни, ценностными установками и ценностными ориентациями личности. Характер данной взаимосвязи позволяет объяснить поведенческие реакции человека. В педагогических исследованиях (И.Ф. Харламов, В.А. Сластенин, Г.И. Чижикова, Н.Е. Шуркова и др.) понятие отношения связывается с активностью и направленностью деятельности личности.

На наш взгляд, ответственное отношение личности педагога к профессиональной деятельности представляет собой позицию личности, обеспечивающую нравственную регуляцию деятельности педагогического работника и действий, направленных на ее реализацию.

Деятельность педагога в этой связи отвечает вышеназванным условиям: 1) нормативно закрепленное, но вместе с тем жестко не регламентированное поведение, определяющее нравственность поведения человека в различных педагогических ситуациях, что требует от субъекта деятельности в каждом новом случае принимать новое, нестандартное решение; 2) достаточные полномочия для организации деятельности; 3) наличие нормативов в определении компетенции субъектов сферы образования на предмет их соответствия предъявляемым требованиям.

Все вышеназванные требования в их интегративном единстве позволяют педагогу, включенному в реальную педагогическую ситуацию, проявить ответственное отношение; в противном случае (отсутствие одной или нескольких особенностей данной ситуации) препятствует проявлению ответственного отношения.

Указанные выше внешние условия способствуют проявлению ответственного отношения, если им соответствуют необходимые внутренние условия – специфические характеристики субъекта педагогической деятельности. Очевидно, что несформированные нравственные ценности у педагога, неправильная их реализация или непринятие вообще приводят к игнорированию интересов других субъектов, вовлеченных в педагогическую ситуацию, что определенным образом блокирует проявление ответственного отношения (здесь возможна лишь волевая либо эмоционально-импульсивная регуляция деятельности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов С.Ф. Мораль и поведение / С.Ф. Анисимов. М., 1979. 142 с.
2. Дементий Л.А. Типология ответственности и личностные условия ее реализации: дис... канд. психол. наук / Л.А. Дементий. М., 1990.
3. Коджаспирова Г.М. История и философия образования в таблицах и схемах / Г.М. Коджаспирова. М., 1998.
4. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова; Российская академия наук. Институт русского языка им. В.В. Виноградова. 4-е изд., доп. М.: Азбуковник, 1998. 944 с.
5. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. 5-е изд. М.: Политиздат, 1987. 590 с.
6. Якобсон П.М. Чувства, их развитие и воспитание / П.М. Якобсон. М.: Знание, 1976. 64 с.

Жуковский Владимир Петрович – доктор педагогических наук, профессор, проректор по научной работе Саратовского института повышения квалификации и переподготовки работников образования

Vladimir P. Zhukovsky – Dr. Sc., Professor
Vice-Rector for Research Work Saratov, Saratov Institute for Continuous Education and Training and Retraining of Educators

Ильковская Ирина Михайловна – кандидат педагогических наук, Заслуженный учитель Российской Федерации, ректор Саратовского института повышения квалификации и переподготовки работников образования

Irina M. Ipkovskaya – Ph. D., Honored Teacher of the Russian Federation Rector: Saratov Institute for Continuous Education and Training

Скворцова Лариса Анатольевна – кандидат педагогических наук, доцент, редактор первой категории Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Larisa A. Skvortsova – Ph. D., Associate Professor Editor Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 11.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 94 (47). 083

Э.В. Костяев

ЯВЛЯЛИСЬ ЛИ Г. ПЛЕХАНОВ, А. ПОТРЕСОВ И ИХ ЕДИНОМЫШЛЕННИКИ ПРИВЕРЖЕНЦАМИ ИМПЕРИАЛИЗМА В ГОДЫ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ?

Проводится детальный анализ обвинений в адрес выдающихся деятелей российской социал-демократии Г. Плеханова, А. Потресова и их единомышленников в приверженности империализму в период Первой мировой войны и делается вывод о полной необоснованности этих обвинений.

Социал-демократия, меньшевизм, Первая мировая война, оборончество, империализм

E.V. Kostyaev

WERE G. PLEKHANOV, A. POTRESOV AND THEIR ADHERENTS OF IMPERIALISTIC VIEWS DURING THE FIRST WORLD WAR?

The article presents a detailed analysis of accusations against the outstanding figures of the Russian social democracy, such as G. Plekhanov, A. Potresov, P. Maslov and their adherents relating their imperialistic views during the First World War. The analysis shows that these accusations are totally groundless.

Social democracy, menshevism, the First World War, defensism, imperialism

Агрессивные действия войск НАТО в Афганистане, Ираке, Ливии и других государствах, вынашивание ими аналогичных планов относительно Сирии и Ирана ярко свидетельствуют, что и в начале XXI века тема империализма и мирового господства, к сожалению, остаётся крайне актуальной. Имперское мышление руководителей некоторых высокоразвитых держав современного мира заставляет их пользоваться теми же методами, которые практиковали их предшественники век назад, – целей своей великодержавной внешней политики и сейчас, в начале XXI столетия, они предпочитают достигать насильственными средствами, путём агрессии и захватов, силой суперсовременного оружия принуждая выполнять свою волю правительства и народы оккупированных стран.

В империалистическую стадию своего развития, когда крупнейшие капиталистические государства проводили агрессивную внешнюю политику, направленную на приобретение новых колониальных владений, мир вступил в начале XX века. Один из ведущих меньшевистских теоретиков и публицистов Пётр Маслов выяснению того, что такое «империализм», посвятил в 1916 г. отдельную статью. В ней отмечалось, что под «империализмом» разумели тогда «стремление передовых капиталистических стран, имеющих колонии, образовать обширную государственную организацию, куда входят и колонии, ограждённую таможенными пошлинами от других подобных же организаций». Появление такого стремления в Англии, стране со свободной торговлей, и послужило основанием для определения последней стадии развития капитализма словом «империализм» [17].

Результатом развития империализма, по мнению Маслова, являлся и «современный милитаризм», для расцвета коего «не только необходимо развитие капитализма, но определённая комбинация социальных сил, которые взвинчивают милитарное напряжение страны до наивысших размеров. Развитие капитализма, – отмечалось в написанной им в июне 1916 г. брошюре, – даёт необходимые материальные условия для роста милитаризма, но степень его агрессивности и напряжения находится в зависимости от соотношения сил внутри страны». Чем менее демократична страна, чем большую роль играло в ней земельное дворянство, тем больше развивался там агрессивный милитаризм. Маслов считал абсолютно правыми тех, кто обвинял в развитии агрессивного империализма в Германии местное юнкерство, которое, как и в других странах, являлось «наиболее агрессивным» и имело «наибольшие экономические и политические возможности добиваться своих целей» [15].

Ведущие теоретики Российской социал-демократической рабочей партии (РСДРП) являлись тогда принципиальными противниками империалистической политики великих держав. Однако занятая некоторыми из них (Плеханов, Потресов, Маслов и др.) с началом Первой мировой войны оборонческая позиция с признанием необходимости активного участия в вооружённой защите России от напавшего на неё внешнего врага породила незаслуженные обвинения в их адрес в том, что они являлись «империалистами» и «натравливали рабочих своей страны на рабочих чужих стран, призывали трудящихся истреблять друг друга» [3, 5, 8, 36].

Однако в воззвании к народу, которое в феврале 1915 г. подписали основатель российской социал-демократии Георгий Плеханов, а также его единомышленники Ида Аксельрод, Пантелеймон Дневницкий (Фёдор Цедербаум), Алексей Любимов и Валентин Ольгин (Фомин), было чётко определено, что социалисты России «не хотят экономической и политической смерти Германии и ведут войну не с народами Германии и Австрии, а... с правительствами, угнетающими эти народы», а также должны сопротивляться всем попыткам превратить оборонительную войну в наступательную. Лозунг национальной обороны ассоциировался у авторов воззвания с лозунгами демократии и мирного сожительства народов против империализма [4]. В том же 1915 г. Любимов писал, что, ведя справедливую оборонительную войну, пролетариат союзных стран обязан был зорко следить за тем, чтобы не дать ей перейти в войну агрессивно-наступательную и в подходящий момент должен всеми силами добиваться прекращения войны и заключения мира, который давал бы все возможные гарантии против повторения подобных боен [22]. Весной 1916 г. Плеханов также подчёркивал, что поскольку политика империализма ведёт к эксплуатации одной страны другой страной, постольку она должна быть решительно отвергаема международными социалистами [23]. И, наконец, в вышедшей тогда же в 1916 г. плехановской брошюре «Ещё о войне» акценты были окончательно расставлены: «Мы должны восставать против эксплуатации одного народа другим, как восстаём против эксплуатации трудящейся массы господствующими классами, – говорилось в ней. – Я сочувствую своей родине, когда она подвергается нападению, и не сочувствую ей, когда она нападает. ...Я никогда не говорил, что русский пролетариат заинтересован в победе русского империализма и никогда этого не думал. Я убеждён, что он заинтересован лишь в одном: *чтобы русская земля не сделалась предметом эксплуатации в руках германских империалистов* (курсив Плеханова. – Э. К.)» [35].

22 апреля 1917 г. в № 20 газеты «Единство» появилось воззвание, обращённое к населению страны и подписанное триумвиратом старых революционеров-марксистов – Плехановым, Верой Засулич и Львом Дейчем. Содержание этого воззвания свидетельствовало, как сильно грешили против истины их оппоненты в рядах РСДРП Ленин, Мартов, Суханов, а также разделявшие их необъективные оценки советские историки [7, 9, 11, 13, 3, 31, 2], когда называли Плеханова социал-империалистом, сторонником империализма, защитником своего империалистического правительства или орудием в руках англо-французского империализма. Воззвание гласило: «Нам не надо завоеваний, но мы не должны дать немцам подчинить себе Россию» [24].

В речи «Социал-демократия и война», произнесённой 9 июня 1917 г. на I Всероссийском съезде Советов, Плеханов заявил: «Если мы, сбросив со своих плеч иго неприятеля, увидим, что кто-либо из наших задаётся империалистическими целями, мы скажем: «Довольно! Наступила пора для заключения мира...» [27]. В другой своей речи, с которой Георгий Валентинович выступил 19 июня на Казанской площади Петрограда, он сказал, что шедшая война «для нас не империалистическая, мы не хотим завоеваний, мы не хотим чужого, но за своё мы должны постоять». И, наконец, в статье «Тревожные опасения одной умной газеты» из № 78 «Единства» от 1 июля Плеханов расставил в данном вопросе последние акценты: «Мы не империалисты, – подчёркивал он. – Мы самые решительные противники империализма. ...Мы желаем не того, чтобы Россия разгромила Германию, а того, чтобы Германия не разгромила Россию» [24].

Что же касается необоснованных обвинений в адрес являвшегося в годы Первой мировой войны лидером оборонческого направления в меньшевизме Александра Потресова и его соратников в приверженности империалистическим устремлениям, то ещё в августе 1914 г. редакция выпускавшегося ими журнала «Наша заря» посчитала нужным в ответе ставшему с началом войны министром юстиции Бельгии председателю Международного социалистического бюро II Интернационала Эмилю Вандервельде, обратившемуся тогда к большевистской и меньшевистской фракциям РСДРП в Государственной думе с просьбой строить свою тактику с учётом интересов европейской демократии, вынужденной опираться в борьбе с Германией на помощь царской России [1, 33], обратить его внимание на «необходимость теперь же готовиться к энергичному противодействию уже намечающейся сейчас захватной политике великих держав и требовать при всякой аннексии предварительного опроса и согласия народа, населяющего присоединяемую область» [27].

В статьях «О «движении» и «конечной цели»» и «Война и демократия», опубликованных в выходившем с января 1915 г. вместо «Нашей зари» журнале «Наше дело», тогдашний единомышленник Потресова Пётр Маслов доказывал, что социалистам, стоявшим на позиции необходимости участия в самозащите России, были совершенно чужды завоевательные стремления [14]. А меньшевик Иван Кубиков (Дементьев), словно отвечая на обвинение Лениным членов группы Потресова в стремлении к победе над Германией «для грабежа» и на похожее обвинение Мартовым сторонников самозащиты России в том, что они искали «выхода для демократии и социализма через разгром Берлина» [10, 21], писал в вышедшем в январе 1916 г. в Петрограде сборнике «Самозащита»: «...при наличии захвата неприятелем 18-ти губерний и при стремлении его продвинуться дальше... только при полном нигилизме можно говорить: трудящихся масс России это не касается. Мы не можем желать разгрома чужой страны, – подчёркивал он, – но мы не хотим разгрома и страны своей» [29].

Среди «голословных утверждений, принимаемых в наше время на веру некоторыми кругами демократии», отмечал в начале 1917 г. другой единомышленник Потресова меньшевик Владимир Левицкий (Цедербаум), широкое распространение получило отождествление и смешение в одной «социал-империалистской» массе всех социалистов, признававших право пролетариата на оборону своей Родины. Отвергая такое право и утверждая, что оно находилось в противоречии с международными принципами, «современные максималисты ставят на одну доску германских ревизионистов и ортодоксов, как Ж. Гэд или Г. В. Плеханов, поскольку и те, и другие сходятся в признании обороны». Между тем, указывал Левицкий, различные «оборонцы» вкладывали в свои слова различное содержание. Изучив номера за 1915 г. и первую треть 1916 г. «теоретического журнала германского ревизионизма» «Sozialistische Monatshefte», он пришёл к выводу, что пропагандировавшееся там «новое учение и даже мировоззрение» не могло быть названо иначе, как «социалистическим империализмом или империалистическим социализмом (курсив Левицкого. – Э. К.)», потому что оно стремилось теоретически примирить интересы пролетариата и социализма с империализмом, а развитие последнего считало необходимой положительной предпосылкой успехов рабочего класса. Ничего подобного невозможно было встретить во взглядах «оборонцев» Франции, Бельгии, России или у «оборонцев» из группы Гаазе-Каутского в той же Германии: «Только полное непонимание сущности того, о чём ведутся споры в интернационале, – подчёркивал Левицкий, – или сознательное затуманивание её позволяет смешивать воедино действительных социал-империалистов германо-австрийского типа (из большинства) с оборонцами-интернационалистами, ничего общего с империалистическими идеями не имеющими» [6].

Надуманными и полностью расхопившимися с реальной действительностью являлись обвинения членов начавших появляться в России с ноября 1915 г. рабочих групп военно-промышленных комитетов (РГ ВПК), руководящую роль во многих из которых играли меньшевики-оборонцы из числа единомышленников Потресова, в том, что в период войны они были сторонниками империализма и участия в грабительской войне, отдав весь свой авторитет на дело подчинения рабочего класса России империалистическим интересам буржуазии [12, 34, 32, 30]. На самом же деле члены этих групп не только не являлись в годы Первой мировой войны сторонниками империализма, но всегда активно выступали против него, критикуя с позиций пролетарского интернационализма все грабительские и захватнические устремления, от какого бы государства-участника конфликта они не исходили.

Так, 30 ноября 1915 г. на заседании Московского областного ВПК председатель РГ комитета меньшевик Василий Черегородцев сделал заявление, в котором подчёркивалось: «Защищая Россию, мы будем бороться против завоевания земель других государств и насилия над другими народами, с которыми желаем жить в согласии» [28]. В марте 1916 г. председатель Центрального ВПК Гучков обратился к руководителю РГ комитета меньшевику Кузьме Гвоздеву с письмом, носившим характер просьбы, в котором указывал ему на необходимость «проникнуться более, чем когда-либо, сознанием того, что светлую будущность России можно построить только... на победе над Германией» [21]. Ответное письмо

группы было незамедлительно составлено и одобрено на заседании её Бюро 19 марта 1916 г. Его содержание было неутешительным ни для Гучкова, ни для тех людей, которые видели в членах РГ ЦВПК сторонников империализма: «... Победа над Германией, – говорилось в письме, – если в это понятие вкладывать такое содержание, какое вкладывают в него имущие классы, может толкнуть Россию на путь завоеваний, ... насилий, авантюр. Светлое будущее не на пути империализма, даже самого либерального» [27].

Позиция РГ ЦВПК, не имевшая ничего общего с империалистическими устремлениями, оставалась неизменной вплоть до Февральской революции. Об этом свидетельствует, к примеру, содержание листовки, выпущенной группой в начале февраля 1917 г. и посвящённой политическому положению в стране: «Вмешавшись в борьбу против режима, – отмечалось в ней, – не мешая буржуазии давить на него, усиливая её давление и движение, пролетариат не только должен выставить свои решительно-демократические требования, но одновременно непримиримо и резко противопоставить буржуазии... свой протест против её завоевательных-захватнических стремлений, затягивающих войну и ослабляющих защиту... Пролетариат готов защищать свою страну, когда ей угрожает военное насилие, но он самым решительным образом будет бороться против насилия, направленного против других стран и народов, от кого бы это насилие ни исходило» [18].

Вскоре после Февральской революции П. Маслов писал, что, выступая в защиту революционных завоеваний против внешней опасности, высказываясь за оборону страны против завоевательных планов Германии, а также «против завоеваний с чьей бы то ни было другой стороны, принимая активное участие в обороне, мы тем самым признаём, что, *оставаясь ещё в рамках капиталистического строя* (курсив Маслова. – Э. К.), мы можем с успехом оказать противодействие империалистическим планам господствующих классов, с какой бы стороны они не исходили». Помимо ответственной задачи сохранения сделанных российским пролетариатом в результате революции политических завоеваний, оставалась и другая задача – «бороться против агрессивного национализма, против завоевательных планов некоторых групп населения» [16].

В выступлении на одном из заседаний Объединительного съезда РСДРП в августе 1917 г. ещё один сторонник Потресова, член Организационного комитета партии и Бюро меньшевистской фракции Петроградского Совета Филипп Юдин напомнил слушателям, что революционная демократия с самого начала не ставила себе в войне «никаких захватных целей, и что она идёт к миру путём обороны страны и воздействия на рабочих других стран» [19]. Левицкий также подчёркивал в листовке «Кто такие меньшевики?», написанной к выборам в Учредительное собрание, что революционная Россия не выпускала после свержения самодержавия из своих рук оружия отнюдь не ради завоеваний, а только лишь ради защиты государства и революции, ради скорейшего заключения международного мира [20].

На отсутствие империалистических устремлений в своей «военной» платформе не раз указывал и сам Потресов. Так, при обсуждении 23 октября 1917 г. вопроса о внешней политике в Предпарламенте он указал, что самое главное, о чём должна была заявить Россия на планировавшейся к созыву в конце 1917 г. Парижской конференции союзников, – это чтобы в основу будущего мира был положен отказ обеих воевавших сторон от захватных тенденций и чтобы этот отказ был провозглашён публично, а не остался дипломатической тайной. Только «демократический мир», то есть «мир без захватов», считал Александр Николаевич, «будет достоин революционной России» [26].

Не изменился подход Потресова к этому вопросу и после захвата власти большевиками. Это видно из проекта резолюции «О мире и перемирии», предложенной им на рассмотрение делегатов Чрезвычайного съезда РСДРП (объединённой) в начале декабря 1917 г. В ней подчёркивалось, что в сложившихся обстоятельствах российская социал-демократия должна принять участие и, если понадобится, взять на себя инициативу по созданию из не подвергшейся ещё разложению части армии и лучших элементов демократии «боеспособного ядра, которое могло бы, буде это потребуется, с оружием в руках отстаивать честь и доблесть русской революции, не желающей никого поработать, но не допускающей превращения в рабов своих собственных сынов» [25].

Из приведённых точек зрения Плеханова, Потресова и их единомышленников отчётливо видно, до какой степени чужды они были в годы Первой мировой войны приверженности империалистическим устремлениям, желая лишь всеми силами уберечь свою Родину от агрессивных посягательств извне и заключить справедливый демократический мир, исключавший захват территорий других государств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большевистская фракция IV Государственной Думы: сб. материалов и документов / под ред. А. Е. Бадаева и В. А. Быстрянского. Л., 1938.
2. Вардин Ил. Эпоха войн и революций / Ил. Вардин. М.-Л., 1925.
3. Государственный архив Российской Федерации. Ф. 1463. Оп. 3. Д. 284; Ф. 1788. Оп. 1. Д. 32.

4. Дневницкий П. Чем грозит русскому народу победа Германии? / П. Дневницкий. Пг., 1917.
5. История Коммунистической партии Советского Союза. 4-е изд., доп. М., 1974.
6. Левицкий В. Из идеологии социалистического империализма / В. Левицкий // Дело. 1917. № 1. С. 71-80.
7. Ленин В. И. Защита империализма, прикрытая добренькими фразами // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 32. С. 11-13.
8. Ленин В. И. Итоги дискуссии о самоопределении // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 30. С. 17-58.
9. Ленин В. И. Куда привели революцию эсеры и меньшевики? // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 32. С. 370-372.
10. Ленин В. И. Несколько тезисов // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 27. С. 48-51.
11. Ленин В. И. Письмо питерской городской конференции // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 34. С. 347-350.
12. Ленин В. И. Прикрытие социал-шовинистской политики интернационалистскими фразами // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 27. С. 84-92.
13. Ленин В. И. Удержат ли большевики государственную власть? // Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 34. С. 287-339.
14. Маслов П. Война и демократия / П. Маслов. М., 1916.
15. Маслов П. П. Империализм и война / П. Маслов. М., 1917.
16. Маслов П. Неизбежен ли империализм? / П. Маслов // Дело. 1917. № 3-6. С. 53-62.
17. Маслов П. Об империализме / П. Маслов // Дело. 1916. № 1. С. 8-17.
18. Меньшевики в 1917 году: в 3 т. / под общ. ред. З. Галили, А. Ненарокова, Л. Хеймсона. Т. 1. Меньшевики в 1917 году: От января до июльских событий. М., 1994.
19. Меньшевики в 1917 году: в 3 т. / под общ. ред. З. Галили, А. Ненарокова, Л. Хеймсона. Т. 2. Меньшевики в 1917 году: от июльских событий до корниловского мятежа. М., 1995.
20. Меньшевики в 1917 году: в 3 т. / под общ. ред. З. Галили, А. Ненарокова, Л. Хеймсона. Т. 3. Меньшевики в 1917 году: От корниловского мятежа до конца декабря. Часть первая. Август – первая декада октября. М., 1996.
21. Меньшевики. Документы и материалы. 1903 – февраль 1917 гг. М., 1996.
22. «Необходимо противопоставить революционной фразеологии – революционное мировоззрение...»: Из переписки А.И. Любимова и Г.В. Плеханова. 1914-1918 гг. // Исторический архив. 1998. № 2.
23. Плеханов Г. В. Вопросы войны и социализма. О войне. Статьи / Г. В. Плеханов. Пг., 1917.
24. Плеханов Г. В. Год на Родине / Г. В. Плеханов // Полное собрание статей и речей 1917-1918 гг.: в 2 т. Париж, 1921.
25. Потресов А. Н. Избранное / А. Н. Потресов. М., 2002.
26. Потресов А. Н. Посмертный сборник произведений / А. Н. Потресов. Париж, 1937.
27. Российский государственный архив социально-политической истории. Ф. 264. Оп. 1. Д. 173; Ф. 451. Оп. 1. Д. 91, 94.
28. Российский государственный военно-исторический архив. Ф. 13251. Оп. 11. Д. 25.
29. Самозащита. Марксистский сборник. 2-е изд. Пг., 1916.
30. Сейранян Б.С. Борьба большевиков против военно-промышленных комитетов / Б.С. Сейранян. Ереван, 1961.
31. Суханов Н.Н. Записки о революции: в 3 т. Т. 1. Кн. 1-2 / Н.Н. Суханов. М., 1991.
32. Тёмкин Я. Большевики в борьбе за демократический мир (1914-1918 гг.). М., 1957.
33. Церетели И. Г. Воспоминания о Февральской революции // От первого лица: сб. М., 1992. С. 54-373.
34. Шляпников А.Г. Канун семнадцатого года. Семнадцатый год: в 3 т. Т. 1: Канун семнадцатого года / А.Г. Шляпников. М., 1992.
35. Шуб Д. Политические деятели России (1850-1920-х гг.) / Д. Шуб // Сборник статей. Нью-Йорк, 1969.
36. Hoover Institution Archives, Boris I. Nicolaevsky collection, Series 279. Box 675. Folder 22.

Костяев Эдуард Валентинович –
кандидат исторических наук, доцент
кафедры «История Отечества и культуры»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Eduard V. Kostyaev –
Ph. D., Associate Professor
Department of the Russian History and Culture,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 14.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

К.Е. Медведев

МОЛОДЕЖНЫЕ ОБЩЕСТВЕННЫЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ: БАРЬЕР СТЕРЕОТИПА

Статья основана на данных качественного эмпирического исследования, проведенного в Саратовской области в 2012 году. На основе анализа экспертных интервью автор выявляет стереотипы, препятствующие включению молодежи в институт молодежных общественных объединений.

Молодежная политика, молодежные общественные объединения, стереотипы, культурные барьеры

K.E. Medvedev

NON-GOVERNMENTAL ORGANIZATIONS OF THE YOUTH: STEREOTYPE BARRIERS

This article is based on the empirical data of qualitative social research conducted in Saratov oblast in 2012. As a result of analysis of the expert interviews, the author has found a set of existing stereotypes which prevent the young people in Russia to be involved in the NGO activities.

Youth policy, nongovernmental organizations of the youth, stereotypes, cultural barriers

Молодежная политика как обособленное направление государственной внутренней политики появилась в середине XX столетия, а сейчас становится в качестве ключевого звена стратегического управления страной в процессе культурной глобализации [1]. Развитие социальной политики в развитых странах позволило впервые дать молодым гражданам право на отдельный «льготный» этап жизненного пути, в течение которого индивид частично или полностью освобождается обществом от необходимости постоянного труда для содержания себя и своей семьи. Вместо прежнего понимания её государством и социальной наукой в качестве обычного человеческого ресурса молодежь стала самой свободной с точки зрения личного времени социальной группой населения, что и превратило её в специфический объект государственного управления. Российская социальная наука имеет достаточно глубокий опыт исследований молодежной политики и молодежи в целом. Так, разработкой проблематики молодежной политики занимаются представители саратовской школы Н.В. Ловцова, В.Н. Ярская; указанные авторы показывают, как мало изменилось в молодежной политике с советских времен, несмотря на упразднение комсомола [2; 3]. Молодежная политика в категориях теории общества риска рассмотрена в трудах Ю.А. Зубок [4; 5]; экстремистским проявлениям в молодежной среде посвящены работы В.И. Чупрова [5]; субкультурные практики молодежи находятся в центре внимания известной школы НИЦ «Регион» и социологического коллектива филиала НИУ ВШЭ в Санкт-Петербурге под руководством Е.Л. Омельченко [6], оценка и мнение молодежи через призму количественных методов представлены в трудах М.К. Горшкова, Ф.Э. Шереги [7]. Этот список можно продолжать достаточно долго, отметим лишь, что практическая реализация молодежной политики в России идет не столь динамичными темпами, как научные исследования.

В данной работе мы рассмотрим некоторые аспекты культурного контекста молодежной политики. Феноменологическая перспектива говорит о том, что сознание в процессе восприятия наделяет все доступные ему феномены субъективными смыслами, которые всегда отличаются от объективных свойств [8]. Реальность человека существует именно среди этих образов, а не их физических денотатов. Стереотип при этом выступает неотъемлемым компонентом культуры, индивидуального и массового сознания, оказываясь в самой гуще культурных и социально-психологических процессов.

Конструктивистская теория развивает этот тезис, утверждая, что мировоззрение основывается на процессе типизации окружающего смыслового пространства [9, с. 56]. Классифицируя феномены окружающего пространства (как физического, так и социального), человек конструирует в своем сознании устойчивые паттерны. Эти структуры позволяют упростить и ускорить процесс восприятия, но при этом они являются основой стратификации. В процессе типизации индивид проводит границы, и, если данный элемент реальности причислен в один из паттернов, он наделяется соответствующими

щими смыслами, даже если на самом деле таковых не имеется [9, с. 56-57]. Понятие стереотипа связывает эти микроуровневые смыслы с категорией культуры.

В статье внимание фокусируется на стереотипах, существующих в среде российской молодежи. Субъективные типизации и присущее им содержание через различные социальные механизмы постепенно закрепляются в макроуровне коллективной культуры, объективируясь в стереотипы. В зависимости от выбора масштаба исследовательской оптики можно изучать стереотипы как этнического уровня (известные хрестоматийные примеры – русское авось, китайская церемониальность, французская галантность или итальянская эмоциональность), так и существующие по отношению к отдельным субкультурам – к примеру, скучный ботаник или отморозенный гопник. Выше мы отмечали, что стереотипы не только упрощают мир, но и стратифицируют его. Однако любой культурный стереотип как необходимый нам инструмент восприятия становится не только фильтром действительности, но порой выступает культурным барьером. Так, наделение образа социального института негативным субъективным смыслом, сконструированным случайно или намеренно каким-либо индивидом или отдельной группой, отчуждает от него молодежь гораздо эффективнее, нежели любая физическая стена. Именно такие стереотипы в дальнейшем будем подразумевать под термином культурных барьеров.

Современная стратегия российской молодежной политики в общих чертах сформулирована в официальном правительственном документе – федеральной целевой программе «Молодежь России» [10] и тексте закона [11]. В качестве одной из составных частей указывается работа с молодежными общественными объединениями как субъектами её реализации. Эти структуры позиционируются в качестве либеральных элементов стратегии, позволяющих выражать и реализовывать интересы молодежи в сфере внутренней российской политики.

Такая формулировка стратегии резонно ставит вопросы: выражают ли существующие молодежные объединения интересы всей молодежи (или хотя бы абсолютного большинства); и какие существуют культурные барьеры, препятствующие хотя бы минимальному включению в молодежную политику (то есть на уровне «интересуюсь новостями») большего количества российской молодежи. Кратко взглянуть на них через предложенную выше теоретическую оптику является главной целью данной статьи. В качестве основы для анализа этих проблем мы используем данные проведенного нами в 2012 году качественного эмпирического исследования в ряде российских городов.

Эмпирической базой нашей работы выступают 16 полуструктурированных интервью с представителями молодежных общественных объединений, экспертами и сотрудниками государственных учреждений по молодежной политике, проведенных в городах Саратове, Санкт-Петербурге и Москве в течение 2012 года. Первоначальный дизайн выборки предполагал три основных компонента: представители экспертного сообщества; представители государственных учреждений по молодежной политике; представители молодежных общественных объединений. Для информантов был установлен ценз: не менее двух лет активного участия в работе молодежного общественного объединения, желательно на руководящей должности; либо руководства государственным учреждением молодежной политики; либо включения в молодежную политику по роду своей деятельности: депутаты, эксперты и аналитики соответствующих ведомств.

При подборе информантов встала задача выравнивания выборки с точки зрения экспертного содержания. В то время как опыт работы на руководящей должности, депутатской или экспертно-аналитической деятельности был достаточным условием для ожидания экспертного уровня ответов, долговременное участие в общественных объединениях не являлось убедительным критерием. Для решения этой задачи при выборе активистов общественных объединений использовался дополнительный фильтр – субъективная оценка информантов своей способности компетентно рассуждать по двум темам: личное участие в молодежных общественных объединениях (как бывших, так и настоящих); состояние и перспективы государственной молодежной политики в России. В общей совокупности данные условия позволили в первом приближении рассматривать всех информантов как экспертов по молодежной политике.

В процессе исследования информантам было предложено оценить на основе личного опыта количество молодежи, затрагиваемой молодежной политикой. Результатом этого вопроса служила не столько количественная характеристика, сколько эмоциональное отношение информантов, показывающее их оценку эффективности современной молодежной политики.

...очень мало вообще знают о существовании общественных организаций, о том, что они, в принципе, есть... (А., активист молодежного объединения, сотрудник государственного учреждения по молодежной политике);

максимум процентов 30 охвачено государственной молодежной политикой... думаю, гораздо меньше... (А., активист молодежной организации)

Общая пессимистическая оценка информантами текущего состояния молодежной политики с точки зрения включения в неё различных групп молодежи делает актуальным следующий вопрос: каковы же стереотипические барьеры между общественными организациями и молодежью? Исходя из указанных выше конструктивистских идей, поиск ответа на данный вопрос мы начнем с поиска типизаций в сознании конкретных акторов молодежной политики. Мы сфокусируемся на поиске типологий, используемых конкретными индивидами, акторами молодежной политики в их повседневной деятельности, и влиянии на процессы включения молодежи в эту сферу социальной политики.

Одной из классификаций, полученных во время анализа интервью, является типология самих общественных объединений. Во время интервью перед информантом явно или косвенно поднимался вопрос о субъективном представлении поля общественных объединений. В дальнейшем информанты начинали самостоятельно использовать сконструированную ими типологию в рассуждениях на другие темы. Исходя из этих данных, мы выделили пять паттернов восприятия молодежных общественных объединений.

Первый паттерн – это общественные объединения, созданные сообществом граждан, затронутых одной проблемой, например общество трезвости. В качестве основных мотивов вступления в эти объединения информанты указывают неудовлетворенность своим социальным и жизненным миром, как внешнюю (социальными, экономическими и политическими проблемами), так и внутреннюю (психологические комплексы, самореализация). В представлениях участников исследования эти структуры достаточно стабильны и обладают наибольшей степенью эффективности с точки зрения проведения молодежной политики.

...наиболее эффективными с точки зрения реализации молодежной политики будут организации, созданные под решение проблемы (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

Таким образом, этот паттерн содержит в себе смыслы «живые», «эффективные», «полезные», «стабильные».

Второй паттерн – это сообщество граждан на основе общих досуговых интересов (хобби, музыка и т.п.). Информанты указывают, что эти структуры могут не иметь как государственной регистрации, так и четкой организационной структуры, поэтому к ним не совсем корректно применять термин общественная организация. Однако руководители государственных учреждений по молодежной политике и активисты молодежных объединений практически во всех случаях выделяют эти общества в отдельный тип.

Участники интервью отмечали влияние этих неформальных сообществ на внутреннюю политику страны.

Конкретный пример – те же наблюдатели... это большое такое объединение, они взаимосвязаны между собой [о влиянии на молодежь] Повлияло? Повлияло. Взять молодежное объединение фанатские группировки, что, не влияют? (А., активист политического молодежного объединения).

Отмечается, что это наиболее стабильные из всех типов объединения *...наиболее эффективными с точки зрения реализации молодежной политики... менее эффективные, но, возможно, более долгоживущие – это организации, которые собраны по принципу общих интересов, приятного времяпрепровождения* (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

Таким образом, этот паттерн нагружен такими смыслами, как «стабильность», «средняя полезность».

Третий паттерн – это общественные организации, созданные в юридических целях для получения государственного финансирования.

Кто-то организывает общественные организации для того, чтобы участвовать в грантах, получать какие-то гранты, субсидии (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

Далеко не все информанты выделяют этот тип, что может быть связано, прежде всего, с отсутствием реальной деятельности данных объединений. Эти объединения мы условно обозначим техническими общественными организациями.

Четвертый паттерн – организации, официально созданные государственными ведомствами для решения своих задач. По словам информантов из этих объединений, главной целью их создания служит обеспечение кадрового ресурса ведомств исполнительной власти.

И.: молодежная организация при органах власти... есть ли какие-то значимые черты этих организаций?

Р: *...Это, в первую очередь, подготовка кадрового резерва... не столько цель, сколько уже выход продукта. То есть изначально, может быть, целью это не является...но как продукт выходит* (Н., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

Такие структуры мы условно обозначим как государственные общественные организации.

Пятый паттерн – организации, созданные сверху для исполнения политических целей. Эти структуры создаются более мощными, уже немолодежными структурами для прямого или косвенного решения своих задач. По словам экспертов, инициаторами создания данных объединений могут быть как политические, так и бизнес-структуры. Опрошенные нами специалисты по молодежной политике государственных ведомств, как и представители общественных организаций не из этой группы, негативно оценивают эффективность работы подобных структур.

...мое сугубо субъективное мнение, что если организация создается при участии государства... это негативно для меня, это негативно (А., активист молодежного политического объединения).

В этой классификации закономерно возникает вопрос пересечения последних трёх паттернов, денотирующих в сознании информантов вроде бы идентичные структуры. В чем же смысл такого различия? Несмотря на похожесть, информанты прочертили достаточно четкую границу между ними как в содержательно-структурном, так и в оценочно-эмоциональном аспектах.

С точки зрения содержательного аспекта последние три паттерна денотируют различные по целям и методам их достижения структуры. «Технические» общественные объединения среди них занимают формальную позицию. На практике таких объединений нет – они существуют только на бумаге. Это обуславливает то, что их обозначили лишь знакомые с бюрократическими реалиями государственных ведомств чиновники и представители оппозиционных движений. Поэтому данный паттерн практически не распространен и содержит в основном обобщенный негативный образ.

...совсем неэффективные – те, кто создается с целью получения денежных средств от государства (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике). Условно можно сказать, что этот тип нагружен смыслами «бесполезные», «иждивенцы», «на бумаге».

Созданные сверху *прополитические* объединения формально являются добровольными объединениями граждан на основе интересов (преимущественно политических), в реальности же мотивация их активистов зачастую материальная, либо карьерная. Активисты объединений, говоря про эти организации, выражали во фразах и эмоциях смыслы неэффективности:

...любое создание каких-либо организаций сверху приводит к провалу... с коннотацией иллюзорности:

...люди...поддались... внутри-то этой формы разброд, шатания, непонятки);

... не проблемы решить, а пиар продемонстрировать;

... собрали молодежь... я не вижу её каких-либо фактических действий.

В итоге организациям, воспринимаемым через этот паттерн, автоматически «инкриминируются» смыслы «неестественности», нелегитимности, искусственности и бесполезности их существования.

В оценках этих созданных сверху «политических» организаций замечен негативный акцент как среди экспертной группы и активистов, так и среди чиновников государственных учреждений по молодежной политике. При этом указанная общность мнений происходит не только исключительно из-за образа неестественности данных структур.

Во-первых, подобная оценка может быть связана со скрываемой этими организациями политической деятельностью. В данном случае мы подразумеваем, что они формально позиционируют себя как неполитические движения, в реальности занимаясь политической пропагандой. Формально политических организаций, к примеру, *крыльев* крупных партий, эта проблема касается в другом виде: им вменяется отсутствие идеологического содержания и обслуживание пиар-целей старших структур.

Это приводит к дополнению негативного смысла «неестественности» коннотацией «бездумного исполнительства»:

...опять же мы видим прокремлевского рода организации, как они существуют... если там внутри организации находятся те люди, которые хотели бы как-то выразить свою позицию, к сожалению, им нужно выходить из этой организации, потому что они не отвечают руководящей роли (В., активист молодежного объединения);

... если это организации, созданные кем-либо по усмотрению кого-либо, то это, прежде всего, денежные транши, за счет которых это все организовывается, это финансирование пиар-акций. Цель же их не проблемы решить, а пиар продемонстрировать (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

Вторым фактором может служить постепенное изменение конъюнктуры в сфере молодежной политики. В предыдущей модели молодежной политики данные организации играли значительную роль. Однако структурные трансформации курирующих это направление федеральных ведомств (расформирование федерального Министерства спорта, туризма и молодежной политики, передача функций курирования молодежной страны Министерству образования и «Росмолодежи») косвенно указывают на потерю доверия к этой системе. На этот сценарий также наводит тот факт, что с критикой этих организаций выступили чиновники государственных ведомств, находящиеся на различных уровнях исполнительной власти. Несмотря на преимущественно конформистский дискурс их ответов, они проявляют определенно негативный дискурс (в том числе исходя из интонаций) по отношению к таким объединениям:

... по неподтвержденной информации, последние тогда существующие легально организации, как Молодая гвардия, ныне расформированы (Н., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике);

[про «кремлевские» движения] Сейчас достаточно, чтобы какая-нибудь спичка загорелась и с другой стороны сразу же пламя возникнет. Самая основная проблема в том, что эти организации общей идеи не видят (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

Третий фактор – эти организации, заявляя о своей независимости в финансировании, получают широкую финансовую поддержку, которую используют в основном для создания иллюзии массовости:

...этим людям выдавались пейджеры, в то время это было диковинкой, футболки и так далее... сейчас тоже используется. Людей возят в Москву на автобусах на экскурсию и заодно поучаствовать в каком-то митинге (А., активист политической молодежной общественной организации).

Иными словами, этот паттерн дополняется коннотацией «показушности», «иллюзии», «искажения». Созданный однажды этот образ уже не зависит от реальной действительности, даже если организация проводит объективно полезное для общества мероприятие, оно воспринимается как «показуха» и бесполезная трата денег.

В итоге паттерн политических объединений насыщен смыслами «неестественности», «бесполезности» с коннотациями «бездумного исполнительства» и «показушности». В отличие от него паттерн «государственных» объединений практически не имеет подобных образов. Это, на наш взгляд, объясняется следующими обстоятельствами.

Во-первых, эти организации официально находятся на балансе соответствующих государственных ведомств, то есть имеют прозрачное финансирование. Во-вторых, они реализуют в основном уставные задачи кадровой подготовки чиновников, практически не выступают в политических акциях. В-третьих, они действуют в рамках сравнительно небольшой государственной поддержки:

Брать если Молодежный Парламент, там комната была потому, что депутат, который организовал этот Молодежный Парламент, все время был в командировках, и был его кабинет (Л., активист государственного молодежного объединения).

Эти три фактора, вместе взятые, легитимируют их существование в восприятии информантов, что обуславливает их нейтральную оценку.

Таким образом, обойма созданных сверху организаций всё же имеет достаточно разноцветную окраску в глазах информантов. Рассматривая эти стереотипические объекты с точки зрения их государственной поддержки, мы видим фактическое доминирование политического типа. На наш взгляд, такая ситуация приводит к переносу качеств этого типа – «бесполезности», «иллюзорности», «исполнительства» и «показухи» – на всю область молодежной политики, создавая равнодушное отношение к этой сфере у молодежи страны. В итоге данный стереотип выступает значительным культурным барьером между молодежью и молодежной политикой.

Другой выделенный нами культурный барьер находится на пересечении культурной специфики российской молодежи и государственной политики распределения финансовой поддержки общественным объединениям. Несомненно, финансовая поддержка государством является значимым фактором развития молодежного объединения. Однако ответы информантов говорят, что социальным лифтом выступают не только такие организации. Биографии самих информантов, как и их субъективные оценки собственного развития, показывают, что общественные объединения вне зависимости от их государственной поддержки положительно повлияли на их социальное положение.

С другой стороны, информанты замечали, что общественному объединению крайне трудно привлечь современную молодежь без материальных мотиваторов. Фактически из «бедных» объединений исключена работающая молодежь.

... нет времени просто... все-таки молодежная политика требует большого количества времени... (Л., активист государственного объединения). Отсутствие явной возможности материаль-

ного заработка вступает также в конфронтацию с маскулинностью российских молодых мужчин [11, с. 121], что косвенно подтверждается обозначенным информантами значительным гендерным дисбалансом среди активистов в сторону преобладания женщин.

Добавим, что большая доля российской молодежи не обладает какой-либо сформированной мотивацией участия в общественных объединениях, как и в молодежной политике вообще.

...молодежь в принципе по большей части не хочет никак относиться к политике (Е., сотрудник государственного учреждения по молодежной политике).

В контексте современной российской культуры рассмотренные факторы приводят к тому, что общественное объединение без явных материальных мотиваторов практически неспособно конкурировать с тем, которое может предложить даже небольшие материальные вознаграждения. А такое состояние дел приводит к определенным социальным и политическим следствиям. Созданные сверху политические молодежные объединения имеют широкую финансовую поддержку. Остальные организации её лишены, в том числе из-за неадекватности каналов негосударственной поддержки молодежных движений.

В итоге, с одной стороны, монополия государства на финансирование молодежных объединений в условиях пассивности гражданской инициативы рождает среди них неравенство по отношению к привлечению потенциальных активистов. Это приводит к сокращению выбора и для самой молодежи, которая фактически находится в поле монополизированного рынка молодежных объединений. С другой стороны, эту монополию представляют организации, воспринимаемые через смыслы «нестыкованности», «бездумной исполнительности», «иллюзорности», формируя негативное, а точнее, равнодушное и пассивное отношение молодежи к институту молодежной политики. Оба барьера во многом обуславливают то обстоятельство, почему рынок молодежных общественных объединений в рамках российской молодежной политики, фактически мёртв и не интересуется своих единственно возможных клиентов. Молодежные неформальные и уязвимые группы, субкультуры по-прежнему сегрегированы, погружены стараниями лидеров официальной молодёжной в дискурс нормативистского подхода, оставляя тем самым простор для дальнейшей нестыковки культур и стереотипов.

Рассмотренные в настоящей статье вопросы говорят нам, что официальная российская молодежная политика, несмотря на производимые перестановки в федеральных управленческих структурах и ведомствах по молодёжи и их регулярном переподчинении, пока все еще далека от запросов интересов молодежи. Учитывая указанную выше культурную специфику российской молодежи, многие молодёжные объединения не могут активно привлекать активистов для своего развития, находясь в условиях намеренно конструируемого государственной молодежной политикой неравенства. Вместе с тем мы отдаём себе отчёт в том, что назрела необходимость концептуального пересмотра государственной молодежной политики, отказа от традиционных лозунгов, деклараций, демонстративных акций и списков мероприятий. Повседневность в практической работе, изучение богатого советского и современного зарубежного опыта работы с молодежью должны войти в содержание обновлённой российской молодежной политики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bloom D.W. National identity and globalization: youth, state and society in post-Soviet Eurasia / D.W. Bloom. N.Y.: Cambridge University Press, 2007. 240 p.
2. Ловцова Н. Молодежная политика: разные и пока не равные / Н. Ловцова, В. Ярская-Смирнова // Журнал исследования социальной политики. 2010. Т. 8. №2. С. 151-164.
3. Ярская-Смирнова В.Н. Социальная инклюзия в молодежной политике / В.Н. Ярская-Смирнова // Поволжский торгово-экономический журнал. 2010. № 1. С. 63-74.
4. Зубок Ю.А. Проблемы социального развития молодежи в обществе риска / Ю.А. Зубок // Социологические исследования. 2003. №4. С. 42-51.
5. Зубок Ю.А. Молодежный экстремизм. Сущность и особенности проявления / Ю.А. Зубок, В.И. Чупров // Социологические исследования. 2008. № 5. С. 37-47.
6. Омельченко Е.Л. Начало молодежной эры или смерть молодежной культуры? «Молодость» в публичном пространстве современности / Е.Л. Омельченко // Журнал исследований социальной политики. 2006. Т. 4. № 2. С. 151-182.
7. Горшков М.К. Историческое сознание молодёжи / М.К. Горшков, Ф.Э. Шереги // Вестник Российской академии наук. 2010. Т. 80. № 3. С. 195-203.
8. Шюц А. Избранное: Мир, светящийся смыслом / А. Шюц; пер. с нем. и англ. М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2004. 1056 с.
9. Бергер П. Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания / П. Бергер, Т. Лукман. М.: Медиум, 1995. 323 с.

10. Распоряжение Правительства РФ от 18.12.2006 № 1760-р (ред. от 16.07.2009) «Об утверждении Стратегии государственной молодежной политики в Российской Федерации» [электронный ресурс] // Информационно-правовой портал «Гарант». URL: <http://base.garant.ru/190356/>. доступ: 14.12.2012 г.

11. Федеральный закон № 98-ФЗ от 28.06.95 (в ред. от 01.07.2011) «О государственной поддержке молодежных и детских общественных объединений» // Информационно-правовой портал «Гарант». – URL: <http://base.garant.ru/103544/>. доступ: 14.12.2012 г.

12. Костерина И.В. Практики маскулинности в молодежных группах / И.В. Костерина // Социологические исследования. 2010. №1. С. 116-126.

Медведев Кирилл Евгеньевич – аспирант кафедры «Социология, социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного университета имени Гагарина Ю.А.

Kirill E. Medvedev – Postgraduate Department of Sociology, Social Anthropology and Social Work, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 304.444

Н.И. Мельникова

НАУЧНЫЕ СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТЕВЫЕ СЕРВИСЫ КАК СРЕДСТВО ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ И ИНТЕГРАЦИИ НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА

Рассматриваются научные социальные сетевые сервисы, появление которых в виде сайтов научных социальных сетей, сайтов социальных закладок и научных блогов обнажило глобальные процессы социальной дифференциации и интеграции научного сообщества. Научные социальные сетевые сервисы выявили автономный от авторов механизм накопления и публикации их научного социального капитала, показали дифференциацию учёных и циркулирующих информационных потоков в научном мире, а также предложили новые возможности интеграции учёных для совместной творческой деятельности.

Научные социальные сетевые сервисы, научное сообщество, социальная дифференциация и интеграция

N.I. Melnikova

SCIENTIFIC SOCIAL NETWORK SERVICES AS THE TOOLS FOR DIFFERENTIATION AND INTEGRATION OF THE ACADEMIC COMMUNITY

The article deals with scientific social network services, which initiated the global processes of social differentiation and integration of the academic community. These services are sites of scientific social networks, social bookmarking sites and scientific blogs. Scientific social network services have revealed the differentiation of scientists and information flows circulating in the academic world, and have offered new opportunities for the joint creative activities.

Science social networking services, academic community, social differentiation and integration

Лавинообразный рост научных публикаций приводит к необходимости изменения форм сотрудничества и информационного обмена в научной среде. Разнообразные технологии взаимодействия исследователей рассматриваются как возможность расширения их научных горизонтов, а поиск новых вариантов научного сотрудничества является одним из возможных путей достижения успеха. Новые формы научной интеграции основываются, прежде всего, на компьютерных базах данных публикаций. Выходные данные публикаций содержат большое количество сведений для последующего семантиче-

ского анализа. На основе этих баз данных создаются системы управления знаниями, которые, как правило, имеют мощную геоинформационную компоненту и позволяют выявлять и анализировать деятельность научных сообществ по формальным критериям. Первоначально возникшие за пределами академического сообщества современного вида социальные сетевые сервисы начали адаптироваться в различных профессиональных кругах. На сегодняшний момент существует много социальных сетевых сервисов в области науки. К таковым следует отнести сайты научных социальных сетей, сайты социальных закладок, научные блоги. По наименованиям наиболее известными в мире являются сервисы Academia, BioMedExperts, Citeulike, Connotea, Mendeley, ResearchGate, SocialScienceSpace, UniPHY и ряд других. В России примерами социальных сетевых сервисов являются такие проекты, как научная сеть SciPeople, научная электронная библиотека eLIBRARY. Количественное сравнение пользователей этих сервисов можно выполнить с помощью сетевого инструмента Complete [3].

В 2008 г. компания Collexis запустила сайт социальной сети BiomedExperts, предназначенный для исследователей в области наук о жизни [2]. Collexis была основана в 1990-х гг. в рамках европейского проекта по созданию сети экспертов в области здравоохранения. С 2010 г. Collexis вошла в издательство Elsevier, являющееся мировым лидером в издании научной, технической и медицинской информации, а также поставщиком инновационных решений в области науки и образования. Технологии Collexis применяются в различных предметных областях и способствуют развитию научных исследований и инноваций по всему миру. Объем баз данных, ассоциированных в BiomedExperts, и созданные программные решения мгновенно дали сетевой эффект, который характерен для сайтов социальных сетей. Пользователям социальных сетей общего назначения известно, что если при регистрации в ней предоставляется доступ к адресной книге почтового ящика, то сразу же программными методами формируется виртуальное сообщество. Ни одной минуты в этом случае человек не является одиноким в социальной сети. Для BiomedExperts такой «адресной книгой» послужили ассоциированные базы публикаций. BioMedExperts использует свободно доступную информацию различных баз данных, таких как PubMed, NIH RePorter, Scopus, NSF, DoD, ClinicalTrials, VA, SciVa Funding, MedLine для построения собственной базы данных за последние 10 лет. Интерфейс BiomedExperts является интуитивно понятным, что также способствует быстрой адаптации этой социальной сети.

В настоящее время в BioMedExperts зарегистрировано более 1.8 млн исследователей в области наук о жизни из 150 стран. Информация об учёном, описывающая его исследовательский профиль, представлена в различных разрезах: перечень публикаций; перечень соавторов с указанием количества совместных публикаций; перечень публикаций с конкретным соавтором; распределение публикаций по временной шкале; граф соавторов, отражающих их профессиональное взаимодействие в глобальном масштабе с указанием городов, связанных с соавторами, на карте мира и пр. Исследователям не требуется самостоятельно актуализировать свой профиль ввиду того, что эта информация обновляется из ассоциированных баз данных. Использование BioMedExperts является бесплатным для учёных всего мира. Членство в BioMedExperts бывает двух видов: member и computer member. Можно либо сознательно принять участие в деятельности сети и стать её членом (member), либо попасть в сеть в результате исключительно анализа публикаций, т.е. стать «вычисленным» членом этой сети (computer member). Но в обоих случаях профили исследователей работают как небольшие вики-системы, которые обеспечивают стандартное представление их научной деятельности. Разнообразные способы представления информации позволяют пользователям BioMedExperts найти необходимых исследователей в той или иной области научной деятельности. Комплексная система профилей в сочетании с возможностью анализа профессиональных связей позволяет обмениваться данными и сотрудничать способами, не доступными ранее.

В сети BioMedExperts в качестве единицы представления и оценки научной деятельности могут быть представлены не только отдельные исследователи, но и научно-исследовательские организации как отдельные научные коллективы. Учёные, не имеющие самостоятельного профиля ввиду отсутствия необходимых публикаций, могут ассоциировать себя с организациями, в которых работают, а также с городом либо страной. В ряде университетов США, например университете Мичигана (University of Michigan), университете Иллинойса и Чикаго (UIC), университете Джона Хопкинса (Johns Hopkins University) сеть BioMedExperts официально используется для представления научной деятельности своих сотрудников. На сайтах этих университетов каждый желающий может посмотреть их исследовательские профили, перейдя по ссылке на соответствующую страницу в BioMedExperts. В Институте наук о жизни (Life Science Institut) университета Мичигана подобное представление своих сотрудников является обязательным правилом [5].

Как же представлена российская наука в BioMedExperts? Здесь представлено всего 10 научных организаций из 7 городов: Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН (Москва), Ин-

ститут прикладной физики Российской академии наук (Нижний Новгород), Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН (Красноярск), Институт цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск), Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН (Санкт-Петербург), Казанский государственный университет, Московский государственный университет им. Ломоносова М.В., Саратовский государственный университет. Традиционно Россию сравнивают с такими странами, как США, Франция, Германия и Великобритания, от которых в сети представлены 690, 141, 195, 212 научных организаций соответственно. Вероятной причиной данной ситуации является то, что деятельность значительной части научных организаций России не отражена в международных научных базах данных публикаций. Отметим, что равным с Россией числом организаций в BioMedExperts представлен Сингапур. В сети BioMedExperts зарегистрировано 31 277 публикаций российских ученых. Для сравнения США, Франция, Германия и Великобритания имеют 3 150 493, 374 030, 589 767 и 658 611 зарегистрированных публикаций в этой сети. Количество публикаций, сравнимое с Россией, имеет Сингапур – 31 038. Но географический охват по публикациям у России значительно шире, чем по организациям, – вместо 7 в данном случае исследовательская деятельность представлена 33 городами. Отметим при этом, что в сети BioMedExperts представляются только города, в которых опубликовано более 25 работ. Явным лидером по числу публикаций является Москва (23 859), далее идут Новосибирск (2 745) и Санкт-Петербург (963). Для сравнения соответствующей тройкой лидеров во Франции являются Париж (109 600), Марсель (20 008) и Лион (19 103), в Германии – Берлин (50 638), Мюнхен (47 595), Гейдельберг (35 393), а в Великобритании – Лондон (164 875), Кембридж (42 148) и Оксфорд (34 445). Эти данные показывают, насколько российское научное сообщество отделено от глобального научного сообщества на уровне как представления научных организаций и публикаций, так и географического представления научной деятельности. Научные социальные сервисы обнажили существующую дифференциацию учёных и циркулирующих информационных потоков в научном мире.

На семантических технологиях Collexis также функционирует социальная сеть в области физики UniPHY [8], которая была запущена в 2009 году Американским институтом физики (AIP). В настоящее время эта социальная сеть охватывает более 2 400 организаций со всего мира, в том числе 25 российских. В этой сети регистрируются исследователи, являющиеся авторами не менее трёх статей в журналах AIP за последние 10 лет. Таковых сейчас зарегистрировано в UniPHY более 300 000. Пополнение профиля организации и учёных осуществляется автоматически на основе анализа баз данных публикаций. Пока эта социальная сеть значительно меньше, чем BioMedExperts, но она ещё только набирает силу. Сервис Academia используется для обмена материалами между учёными, анализа влияния выполненных исследований, отслеживания последователей (френдов) учёных. В настоящее время в Academia участвуют 1 262 600 учёных, разместивших 1 271 526 документов по 426 076 областям научных интересов. Сервис Academia привлекает свыше 3.5 млн уникальных посетителей в месяц. Особенностью Academia является иерархическая организация информации, тем самым происходит объединение концепции социальных сетей с аспектами академической генеалогии. Проект The Mathematics Genealogy является первопроходцем в осуществлении идеи сетевого представления академических связей [6]. Эта проект явился точкой отсчёта создания генеалогических древ в других научных областях, а в проекте Academia предпринимаются попытки представить всемирное академическое древо. Возникшие научные социальные сети становятся совершенно новым инструментом для анализа исторических аспектов развития науки. Так, к UniPHY были подключены 32 журнала в области физики издательской группы Taylor&Francis, начиная с 1910 г. Сервис Mendeley также является весьма известным в мире. В отличие от BioMedExperts и UniPHY регистрироваться в этой сети необходимо самостоятельно. Для наполнения собственного профиля можно экспортировать данные из различных баз данных или научных социальных закладок. Mendeley включает систему управления ссылками (Reference Management Software) и позволяет формировать базы научных работ для чтения, цитирования и распространения. Mendeley применяет уникальный подход для поиска сотрудников и проведённых исследований. На основе имеющихся публикаций и ключевых слов осуществляется поиск исследователей, которые публиковались в некоторой научной области или использовали схожие ключевые слова для определения своих научных интересов.

На основе баз данных публикаций выстраиваются социальные сетевые научные сервисы другого типа, например социальные научные закладки. Наиболее популярными сервисами социальных научных закладок являются Citeulike и Connotea. Ежемесячное количество уникальных посетителей Citeulike составляет около 100 000. Эти сервисы используются для поиска, просмотра и сохранения публикаций, к которым был проявлен интерес со стороны коллег. Подобные сервисы в глобальном масштабе обеспечивают мягкое рецензирование научных работ и тем самым становятся инструментом распределённой научной оценки. Также популярными в научной среде являются блоги, например ge-

searchblogging.org. Большую часть сообщений в этих блогах составляют обзоры литературы, конференций.

Совместная сетевая творческая деятельность исследователей проявилась удивительным образом – одним из инструментов совместного научного творчества оказались игры. Геймерам FoldIt удалось построить пространственную модель фермента, что не удавалось сделать в течение многих лет в профессиональных лабораториях [7], где было проведено множество теоретических исследований и поставлен ряд экспериментов. Наконец, возникла идея воспользоваться краудсорсингом, т.е. обратиться к некоему кругу лиц, в данном случае геймеров, и воспользоваться их коллективным разумом и интуицией. Рекламным титром для игры FoldIt явилась фраза «Solve Puzzles for Science» - «Разгадай научные головоломки». Игра привлекла сотни людей со всего мира, а непосредственная работа выглядела как соревнование команд по трёхмерному моделированию. Коллективный разум и интуиция геймеров FoldIt превзошли логику и опыт профессиональных учёных. Выводов из этой истории можно сделать много, в том числе подвергнуть сомнению квалификацию сотрудников профессиональных лабораторий, предположить существование психологической усталости и профессионального выгорания от повседневной рутинной работы. Можно говорить и о некотором элементе случайной удачи, которая сопутствовала геймерам. Но в итоге был получен научный результат на новых организационных принципах, и эта данность может повлечь перемены в организации научных исследований и, возможно, приведёт к некой научной антрепризе, возникновению научных групп быстрого реагирования в удалённом варианте работы. Уже появились такие термины, как «сетевая наука» и «открытая наука», которые описывают формы научной интеграции, предполагающие свободный доступ к профессиональной информации и средствам для совместной деятельности.

Научные социальные сетевые сервисы сделали, по сути дела, научные биографии прозрачными. Появился автономный от автора формальный механизм обчёта и представления общественности его научного социального капитала, реализованный в BioMedExperts и UniPHY. Запущенные процессы дифференциации, перегруппирования в научном сообществе потенциально позволяют изменить механизм поиска требуемых в данный момент исследователей, способных решить необходимые задачи. Однако выходных данных публикаций подчас бывает недостаточно, чтобы планировать долгосрочное сотрудничество. Для эффективного решения такой сложной задачи необходимы семантические технологии, которые позволяют добавить новые информационные слои к научным социальным сервисам. Известный американский социолог Ренделл Коллинз, показывая развитие интеллектуальных сетей и анализируя характер межличностных взаимосвязей, выделял личные знакомства, вероятные знакомства, конфликтные связи, связи типа «учитель-ученик», направление критики [1]. Поскольку сетевые пользователи оставляют много «цифровых следов», это даёт возможность оцифровать особенности их социального окружения и профессиональной деятельности. Значительная часть исходной информации для таких расчётов берётся из профилей пользователей социальных сервисов. Изначально профили создаются таким образом, чтобы они были информативными, лёгкими в управлении и обработке. При наличии нескольких профилей одного пользователя семантические технологии значительно уточняют информацию о нём. Семантически обработанная информация позволяет решать более сложные задачи поиска необходимых коллег, включая задачи оценки совместимости личностей, стилей работы для установления «неинтуитивных» взаимоотношений между исследователями, а также анализировать семантически связанные онлайн-научные сообщества и онтологии предметных областей. Об объёме данных, которые можно собрать в социальных сетях, позволяет судить пример австрийского студента Макса Шремса. На требование предоставить ему его описание в Фейсбуке после ряда отказов он всё-таки получил досье – объёмом более 1200 страниц! Какого рода информация накапливается и хранится в подобных досье, можно только догадываться. Протестуя против чрезмерного накопления персональных данных в социальных сетях, он создал сайт под названием «Европа против Фейсбука» [4].

Технически добавить новые информационные слои в научные социальные сервисы вполне возможно, но непременно возникнут вопросы морального свойства, связанные с интегральным представлением исследователей. Уже известны попытки затормозить накопление информации в компьютерных сетях. Например, в Германии запретили использование популярного плагина сети Фейсбук, известного как кнопка «Like», поскольку при её нажатии происходил сбор и анализ информации о тех или иных предпочтениях пользователей и её коммерческое применение. В Европе также запрещен сервис сети Фейсбук по распознаванию лиц на фотографиях Tag Suggestions. Но существуют другие похожие сервисы, и с большой долей вероятности можно предположить, что в том или ином варианте они будут использоваться. Со временем они появятся и в научных социальных сервисах. В научной среде циркулирует огромное количество фотографий, связанных с профессиональной деятельностью, например, участие в конференциях, защита диссертаций, и систематическая обработка этой информации может

существенно насытить научные социальные сервисы. Научная информация различного типа пока рассредоточена по различным научным социальным сервисам. Но информационно-коммуникационные технологии, появившись на стыке различных наук, являются интеграционными по своей сути, в т.ч. в социальных аспектах. Противостоять этой интеграции можно пытаться, но это равносильно отказу от использования этих технологий и выпадению из современного контекста. Новые сетевые технологии, новые сервисы столь быстро видоизменяются, что необходимо заботиться не об их запрете, а о создании прозрачных правил использования персональных данных пользователей социальных сетевых сервисов и культуре их использования.

Многие работодатели приняли социальные сетевые сервисы в качестве инструмента поиска сотрудников. Эти сервисы развиваются стремительно и в корне меняют профессиональное общение, способы собственного представления профессиональному сообществу. Это означает, что исследователям следует тщательно выстраивать профессиональное присутствие в Интернете, чтобы оно действительно отражало их исследовательский потенциал. Сутью замысла, который стоит за взаимодействием в научных социальных сервисах, является попытка найти новые формы обработки научной информации и выстраивания взаимодействий учёных. Социальные сервисы координируют совместное использование информации. Тем самым они осуществляют решающий функциональный переход от пассивного к активному восприятию информации. Исследователи получают совершенно новые возможности информационного обмена и самоорганизации. А организаторы науки получают новые возможности поиска научных кадров с помощью научных социальных сервисов, которые инициировали в глобальном масштабе процесс социальной дифференциации и интеграции научного сообщества на новых принципах. Научные социальные сервисы неизбежно будут видоизменять методы оценки деятельности исследователей, механизмы дифференциации, интеграции, перегруппировки научного сообщества. Успехи геймеров на научном поприще могут являться предвестниками возникновения исследовательских сообществ, действующих в новой организационной матрице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коллинз Р. Социология философий. Глобальная теория интеллектуального изменения / Р. Коллинз. Новосибирск: Сибирский хронограф, 2002. 1275 с.
2. BiomedExperts. Доступен: URL <http://www.biomedexperts.com/Portal> (дата обращения 15.11.12)
3. Complete. Доступен: URL <http://www.compete.com> (дата обращения 15.11.12)
4. Europe versus Facebook. Доступен: URL <http://www.europe-v-facebook.org> (дата обращения 15.11.12)
5. Faculty/Lab Overviews. Доступен: URL <http://www.lsi.umich.edu/facultyresearch/profiles> (дата обращения 15.11.12)
6. Mathematics Genealogy Project. Доступен URL <http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/> (дата обращения 15.11.12)
7. The Science Behind Foldit. Доступен: URL <http://fold.it/portal/info/science> (дата обращения 15.11.12)
8. UniPhy. Доступен: URL: <http://www.aipuniphy.org/Portal/Portal.aspx> (дата обращения 15.09.12)

Мельникова Нина Ивановна –
доктор социологических наук, профессор
кафедры «Социология, социальная антропология
и социальная работа»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Nina I. Melnikova –
Dr. Sc., Professor
Department of Sociology, Social Anthropology
and Social Work,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 316.42

А.В. Ручин, М.А. Дюндина

РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РОССИЙСКИХ СМИ

*Представлены результаты контент-анализа федеральных и региональных
СМИ на предмет особенностей репрезентации образа предпринимательства в*

контексте влияния информационного потока на формирование доверия к сфере предпринимательства.

Предпринимательство, бизнес, формирование образа, средства массовой информации, контент-анализ

A.V. Ruchin, M.A. Dyundina

PRESENTATION OF ENTREPRENEURSHIP IN THE RUSSIAN MASS MEDIA

The article describes the results of the content analysis relating the national and regional Mass Media. It is focused on the presentation of the entrepreneurship image in the context of information flow influence on establishing confidence towards the business sphere.

Entrepreneurship, business, image formation, mass media, content analysis

Институт предпринимательства выступает в роли важного структурного элемента, обеспечивающего стабильное существование и развитие современных обществ. При этом институт предпринимательства находится в постоянном взаимодействии с другими элементами социальной системы, непрерывно трансформирует в условиях рынка социальную среду и сам находится под влиянием внешних условий. Одно из таких условий – общественное мнение, которое в информационном обществе испытывает детерминирующее воздействие целого комплекса факторов. Особый интерес в рамках исследования представляют средства массовой информации (СМИ), которые «участвуют в производстве и воспроизводстве значений, укладываемых в типизированные схемы» [1], в создании и трансформации образа предпринимательства. Очевидно, СМИ в настоящее время приобретают все большую роль в формировании социального сознания, «изменяя отношения между людьми, воздействуя на условия и образ жизни» [2]. Указанное обстоятельство нельзя не учитывать в целом при анализе современных социальных институтов.

В данной работе представлены результаты контент-анализа материалов СМИ, проведенного в рамках исследовательского проекта «Институт предпринимательства как фактор формирования социального доверия в российских регионах (пример Саратовской области)». Цель контент-анализа – определение частоты и характера статей, затрагивающих вопросы предпринимательства, выявление особенностей влияния информационного потока на общественное мнение и, в конечном итоге, на социальное доверие. Социальное доверие, по мнению Ф. Фукуямы, – «возникающее у членов сообщества ожидание того, что другие его члены будут вести себя более или менее предсказуемо, честно и со вниманием к нуждам окружающих, в согласии с некоторыми общими нормами» [3, с. 52]. Методология проведенного авторами анализа предполагала систематизацию и занесение в базу данных параметров статей, согласно разработанной анкете. Основным параметром в анализе был избран параметр *характер статьи* (позитивный, негативный и нейтральный). Отметим, что оценка указанного параметра являлась со стороны авторов субъективной, но в силу небольшой шкалы проблема дифференциации по категориям не возникла. В проведенном анализе учитывались такие параметры, как субъект взаимодействия с бизнесом (государство, предприниматели, сотрудники, бизнес), масштаб предприятия (крупный бизнес, малый и средний бизнес), отрасль и ключевые вопросы, которые затрагивала статья. В базу данных также заносились ключевые цитаты из статей, придающие последним установочный характер. Кроме того, отсутствие публикаций в номере также фиксировалось в базе данных, что позволило произвести поэлементный анализ как статей, так и выпусков.

Решение отнесения статьи к вопросам предпринимательства базировалось на законодательно закреплённом определении предпринимательской деятельности как «самостоятельной, осуществляемой на свой риск деятельности, направленной на систематическое получение прибыли от пользования имуществом, продажи товаров, выполнения работ или оказания услуг лицами, зарегистрированными в этом качестве в установленном законом порядке» [4]. В качестве близких использовались понятия «предпринимательство», «бизнес», «предприятие».

Отбор изданий в печатном и электронном виде был определен по принципу значимости тиража для территорий распространения. К анализу привлечены номера изданий федерального и регионального (Саратовская область) уровней: газета «Аргументы и факты», выпускаемая один раз в неделю тиражом около 2,3 млн. экземпляров, газета «Комсомольская правда», выпускаемая один раз в неделю тиражом около 2,5 млн. экземпляров, газета «Московский комсомолец», выпускаемая ежедневно тиражом около 2 млн. экземпляров, газета «Новые времена», выпускаемая один раз в неделю тиражом 5 тыс. экземпляров, журнал «Общественное мнение», выходящий один раз в месяц тиражом 4 тыс. экземпляров.

Всего из вышеуказанных изданий проанализировано 190 номеров, выпущенных с января по сентябрь 2012 года, из них 152 выпуска из федеральных источников и 38 выпусков из региональных. Доля номеров, в которых содержатся статьи по вопросам предпринимательства, составила 43,7% (в федеральных изданиях – 41,5%, в региональных – 52,6%). Из общего объема просмотренных номеров количество статей, затрагивающих тему предпринимательства, составило 154 единицы. Таким образом, в среднем на один номер приходится 0,82 статьи по указанной теме (на региональном уровне этот показатель составляет 1,18, в то время как на федеральном – 0,72 статьи в номере). Наименьшая концентрация статей по предпринимательству – в газетах «Комсомольская правда» и «Московский комсомолец», соответственно 0,43 и, 0,41. Наибольшая (несопоставимая) концентрация – в региональном журнале «Общественное мнение»: 3,22 статьи на один номер.

Негативный характер определен у 46,8% статей, связанных с предпринимательством. Это намного выше, чем нейтральный и положительный, соотношение которых примерно совпадало, а именно 24 и 29,2% соответственно. Существенно различаются доли статей с негативным характером в разрезе территории распространения изданий: у федеральных СМИ этот показатель 58,9%, у региональных СМИ – 19,6%. Позитивный характер статей в большей степени присущ региональным СМИ: 47,8%, против 21,3% у федеральных (табл. 1). Подчеркнем, что больший процент позитивной информации на региональном уровне приходится на статьи, в которых существует завуалированная рекламная информация, связанная с расширением спектра услуг, улучшением качества обслуживания или с изменением в управлении предприятием. Например, статьи с позитивной окраской видны даже из названий и первых фраз статей: «Промсвязьбанк: универсальная финансовая платформа», «Новый офис БКС Премьер открылся в Саратове в начале июня». Расхождение долей нейтральных статей незначительно: 32,6 и 20,4% на региональном и федеральном уровнях соответственно.

Таблица 1

Характер статей, связанных с предпринимательством, в разрезе масштаба издания (% по столбцам)

Характер статьи		Издаия		Всего
		Федеральные	Региональные	
Негативный	%	58,30%	19,60%	46,80%
	Std. Residual	1,8	-2,7	
Нейтральный	%	20,40%	32,60%	24,00%
	Std. Residual	-0,8	1,2	
Позитивный	%	21,30%	47,80%	29,20%
	Std. Residual	-1,5	2,3	

Основываясь на полученных данных, можно сказать, что больше всего (57,2%) в статьях рассматривается взаимодействие бизнеса с клиентами, что является вполне закономерным процессом предпринимательской деятельности (рис. 1). Следующая по распространенности категория – «взаимодействие с государством» – 32 %. Взаимодействие предпринимательства с сотрудниками в статьях представлено незначительной долей, лишь 9,2%, несмотря на то, что бизнес напрямую связан с привлеченной рабочей силой.

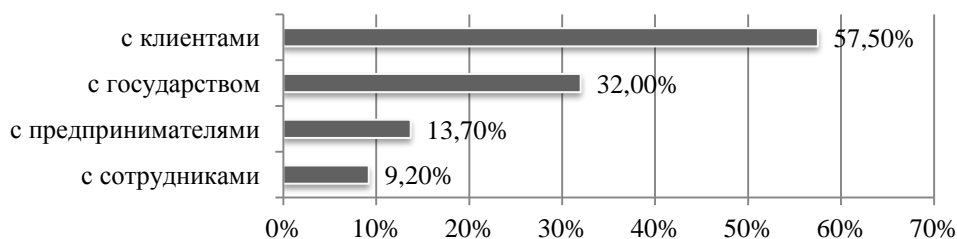


Рис. 1. Доля статей, затрагивающих взаимодействие предпринимателей

Анализируя характер статей в разрезе объектов взаимодействия, можно говорить о следующем. Негативный характер преобладает в статьях, связанных с взаимодействием бизнеса с государством (57,1%), бизнеса с клиентами (47,7%). Позитивные статьи более распространены в вопросах взаимодействия предпринимателей между собой – 52,4%. Сбалансированный характер (при этом с уклоном в сторону позитивного) свойственен статьям, в которых затрагиваются отношения между предпринимателями и их сотрудниками: 42,9% позитивных и по 28,6% негативных и нейтральных (табл. 2).

Таблица 2

Характер статей, связанных с предпринимательством, в разрезе объектов взаимодействия
(% по столбцам)

Характер	с государством	с предпринимателями	с сотрудниками	с клиентами
Негативный	57,10%	33,30%	28,60%	47,70%
Нейтральный	12,20%	14,30%	28,60%	27,30%
Позитивный	30,60%	52,40%	42,90%	25,00%

С точки зрения освещенности различных аспектов предпринимательской деятельности в средствах массовой информации чаще всего встречаются материалы по качеству продукции – 42,9%, чуть меньше рассматривается эффективность деятельности и управления предприятий – 35,1%. И это несмотря на то, что государство стремится создавать условия для формирования социальной ответственности бизнеса, улучшения экологической ситуации и уменьшения вредных воздействий на окружающую среду. Данные, полученные в ходе анализа, показывают, что социальные потребности общества почти не находят свое отражения в СМИ. Так, вопросам социальной ответственности бизнеса посвящено лишь 4,5% статей, а экологии/воздействия на окружающую среду и того меньше, лишь 3,2% (рис. 2). Количество статей, затрагивающих вопросы повышения цен, составило 11%. (Следует отметить, что данный вариант изначально не попал в анкету, забываясь в поле «другое», но был выделен в отдельную категорию в силу значительной распространенности).

В разрезе территориального охвата изданий выделяются следующие различия в освещении различных аспектов предпринимательской деятельности. В федеральных СМИ почти каждая вторая статья посвящена качеству продукции (45,4%), в то время как на региональном уровне данный показатель составляет 37%. Статьи, связанные с эффективностью деятельности/управления, наоборот, чаще встречаются в региональных СМИ – 45,7%, в то время как в федеральных изданиях данному аспекту посвящено 30,6%. Оценивая положение на рынке/рейтинги компаний, СМИ на региональном уровне уделяют гораздо больше внимания (17,4% статей), чем федеральные (3,7%). Примечателен тот факт, что статьи, посвященные повышению цен, нашли свое отражение лишь в публикациях федеральных СМИ.

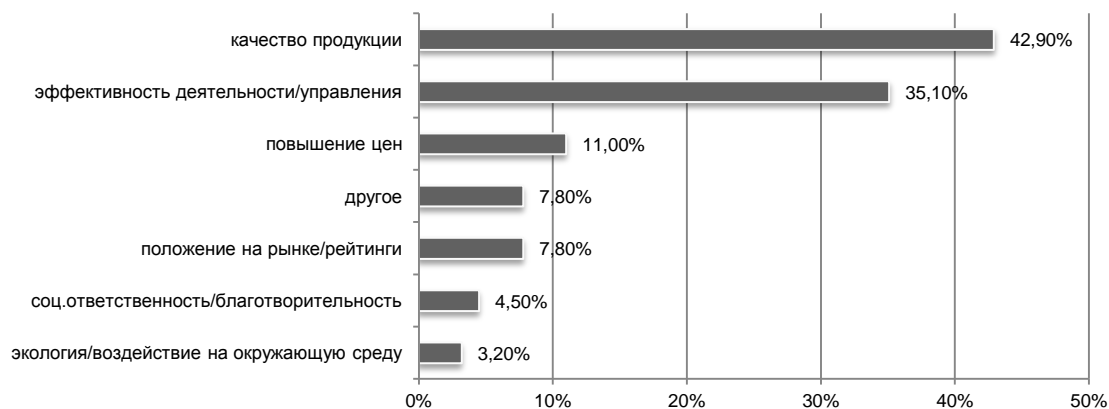


Рис. 2. Аспекты предпринимательской деятельности, затрагиваемые в статьях

Анализ, проведенный по отраслям экономики, показал, что больше всего статей посвящено проблемам ЖКХ – 15,6%; финансам, страхованию посвящено 14,9% статей, торговле – 13,6%. Остальные отрасли (строительство, общественное питание, медицина, образование, IT технологии) были представлены в незначительном количестве статей. На федеральном уровне доля статей про ЖКХ занимает 18,5% и превалирует над региональными изданиями (8,7%). Ситуация, складывающаяся в отраслях, отнесенных к финансам и страхованию, противоположная: на федеральном уровне отрасль занимает лишь 7,4%, на региональном – 32,6%, что составляет одну треть от всех статей местных издателей. Проблемы ЖКХ – одна из самых популярных тем, но зачастую три статьи из четырех, связанные с этой темой, носят негативный характер, в основном вызванный жалобами граждан.

Подчеркнем, что большая часть материалов посвящена крупному бизнесу – 70,1% (рис. 3). Репрезентация крупного и малого бизнеса в статьях в федеральных и региональных СМИ сопостави-

ма. При этом значительных различий в статьях, посвященных малому бизнесу, по наличию позитивной и негативной информации в рассмотренных изданиях не выявлено. Негативная информация (45,4%) имеющаяся в публикациях, связанных с крупным бизнесом, в основном затрагивает проблемы в сфере ЖКХ, сокращения штата персонала на крупнейших предприятиях и повышения цен на энергоресурсы.

Резюмируя полученные данные, мы можем утверждать о преобладании в российских СМИ негативного характера статей, связанных с предпринимательством, и в большей степени это выражено в федеральных изданиях. При этом негативный характер отмечается во взаимодействии бизнеса с государством или с клиентами, что позволяет говорить о формировании в общественном мнении посредством СМИ отрицательных ассоциаций, связанных с предпринимательством. Следовательно, на сегодняшний день отчетливо видно недоверие к институту предпринимательства. Низкий уровень доверия, как известно, ограничивает выход на рынок и рост предприятий, поощряя при этом непродуктивные формы предпринимательства [5]. Исследование не включило вопрос о характере влияния позиции автора статьи в СМИ на содержание, а поэтому мы можем говорить лишь о характере анализируемой статьи, но не об источнике данного характера (т.е. о том, на чьей стороне автор в случае негативного характера статьи).

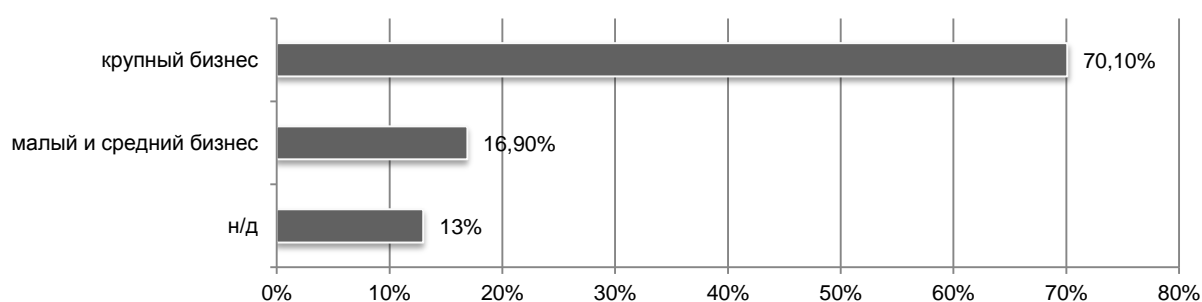


Рис. 3. Репрезентация масштаба предпринимательской деятельности

При интерпретации полученных результатов следует учитывать, что сложившаяся картина информационного поля СМИ определяется множеством факторов как реально сложившейся ситуации, так и политики СМИ, связанной с реализацией потребностей издателей, а также ориентацией на целевую группу читателей. Нельзя говорить о безусловном влиянии проанализированного информационного потока СМИ на формирование доверия к предпринимательству. Кроме того, в исследовании присутствовала субъективная оценка характера статьи, а «различные социальные группы не одинаково понимают, а потом и оценивают полученную информацию» [6]. Вместе с тем в контексте формирования эффективных институтов общественной системы существует необходимость создания их положительных образов, что, в свою очередь, определяет общественную потребность в формировании социально ответственной политики СМИ, в том числе и в адрес института предпринимательства.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 12-33-01294).

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов П.В. Методы прикладных социальных исследований: учеб. пособие / П.В. Романов, Е.Р. Ярская-Смирнова. 2-е изд., доп. М.: Вариант, ЦСПГИ, при участии ООО «Норт Медия». 2008. 215 с.
2. Задоркина С. Развитие средств массовой информации в контексте инновационного развития современного общества / С. Задоркина // Власть. 2012. №10 С. 32-34.
3. Фукуяма Ф. Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию: пер. с англ. / Ф. Фукуяма. М.: ООО «Издательство АСТ»: ЗАО НПП «Ермак», 2004. 730 с.
4. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 06.12.2011, с изм. от 27.06.2012) (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.07.2012) – КонсультантПлюс
5. Hans-Hermann Høhmann and Friederike Welter (eds), Trust and Entrepreneurship: A West-East Perspective. Cheltenham and Northampton, MA: Edward Elgar, 2005. 320 p.
6. Шарков Ф. И. Аудитория и мониторинг СМИ / Ф. И. Шарков, В. И. Баранова // Социологические исследования. 2005. № 10. С. 106-111.

Ручин Алексей Владимирович –
кандидат социологических наук, доцент кафедры

Alexey V. Ruchin –
Ph. D., Associate Professor

«Учет, финансы и банковское дело»,
Саратовского института (филиала)
Российского государственного торгово-
экономического университета

Дюндина Мария Алексеевна –
соискатель кафедры «Социология, социальная
антропология и социальная работа»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Department of Accounting, Finance and Banking,
Gagarin Saratov State Technical University

Mariya A. Dyundina –
Postgraduate
Department of Sociology, Social Anthropology
and Social Work
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.08.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК: 316.444

Д.И. Фёдоров

УЧАСТИЕ В МОЛОДЕЖНЫХ ОБЪЕДИНЕНИЯХ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ И СРЕДСТВО ДОСТИЖЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО КАПИТАЛА

Последнее десятилетие характеризуется усилением роли общественных объединений в процессе реализации государственной молодежной политики. Современное российское общество содержит богатую палитру молодежных сообществ и гражданских инициатив самой разной направленности. В статье общественные объединения рассматриваются сквозь призму понятий социальной мобильности и социального капитала. Автор анализирует выбор активистами направленности движения с точки зрения привлекательности для молодых граждан, преследующих различные цели.

Молодежная политика, общественные объединения, активизм, социальная мобильность, социальный капитал

D.I. Fyodorov

PARTICIPATION IN YOUTH MOVEMENTS AS A FACTOR OF SOCIAL MOBILITY AND MECHANISM OF SOCIAL CAPITAL ATTAINMENT

The last decade is marked by the growing importance of social movements in the Russian youth policy. Contemporary Russian society features a rich palette of various youth communities and civic initiatives. In this article the social movements are described in the light of social mobility and social capital concepts. The author analyses the targets of the young people movements in terms of attractiveness of each movement for the young people pursuing certain goals.

Youth policy, social movements, activism, social mobility, social capital

В современных условиях, когда молодежь уже осуществила переход к постмодернистским практикам, адаптировалась к рыночным отношениям, давлению массовой культуры и перенасыщенной информационной среде, старые представления о ней, равно как и старые способы привлечения ее в сферу активизма, уже не столь эффективны. Государство, а также любые социальные и политические силы, рассчитывающие привлекать молодых людей в качестве действующих агентов, должны признать, что не только молодежь является для них ресурсом, но и они сами должны выступать ресурсом для своих потенциальных участников, предоставлять им возможности и преимущества, иначе они рискуют лишиться притока новых людей.

В советский период легитимный гражданский активизм мог реализовываться преимущественно в жестко заданных институциональных формах, что существенно ограничивало выбор молодежных стилей в этой сфере, а цепочка установленных молодежных движений представляла возможности как для кон-

структивного участия в социально значимой деятельности и развитии общества, так и для получения конкретной и осязаемой личной выгоды. Так, в нарративах того времени неизменно обнаруживаются описания практик, построенных на «манипуляции системой» и «игре с государством» [1]. Сейчас, в условиях существования множества общественных объединений, актор обладает возможностью выбора по мере того, как различные объединения предоставляют возможности для реализации практик, относящимся к разным жизненным стратегиям.

«Третий сектор», формирование которого после распада СССР долгое время шло низкими темпами [2, 3] к середине 2000-х уже успел оформиться в качестве значимого элемента российского общества. Современная молодежная политика уже в гораздо большей степени, чем прежде, нацелена на взаимодействие государства с общественностью и включение молодых граждан в общественные объединения [4]. Сегодня система общественных организаций отнюдь негетерогенна и включает большое количество организованных объединений, каждое из которых преследует определенные цели – они могут быть социально одобряемыми, приемлемыми или даже деструктивными, оказывать большое значение на общество или затрагивать интересы лишь отдельных индивидов [5]. Наличие такой дифференциации неизбежно порождает вопрос о том, что именно заставляет действующего субъекта ориентироваться на те или иные конкретные формы активности. Мы отталкиваемся от того, что потенциальный активист, выбирая сферу самовыражения в публичном пространстве, основывается на ожиданиях от того, как участие в конкретном объединении отразится на его социальном статусе и темпах его социальной мобильности. Вопросы социального статуса, социального пространства и движения в нем наиболее ярко отражены в творчестве П.А. Сорокина, К. Дэвиса и У. Мура, П. Бурдье. Участие в определенных молодежных движениях с точки зрения данных авторов будет восприниматься как специфический ресурс в ходе осуществления социальной мобильности и борьбе за разные типы капитала.

Характер и динамика социальной мобильности молодых граждан в российском обществе за последние 30 лет претерпевали серьезные изменения. Наиболее сильные различия обнаруживаются при сравнении советской модели молодежной политики с ее постсоветскими практиками. Существовавшая в СССР установка на уравнивательность отражалась и на характере социальной мобильности – прежде всего это заключалось в активном влиянии государства (Ярская-Смирнова, Романов). Характерной чертой советского менталитета было «предположение, что государство позаботится обо всем» [6, с. 456]. Вертикальная мобильность, связанная с приобретением нового статуса, образования и дохода в доперестроечный период носила стандартизированный характер – движение в социальном пространстве, осуществляемое за счет бесплатного образования, гарантированного трудоустройства и четко сформулированных идеологических посылов, становилось устойчивым настолько, что можно было говорить о его жесткой привязанности к временным этапам жизненного пути каждого конкретного гражданина. Согласно концепции П. Бурдье [7], это можно описать как движение в социальном пространстве по схожему вектору, т.к. большинство людей встречало один и тот же жизненный этап с примерно равным количеством социального, культурного и экономического капитала. А следовательно, в одинаковые этапы жизненного пути они, за редким исключением, приходили к близким друг к другу координатам в социальном пространстве. Различия, безусловно, существовали, но в значительной степени сглаживались усилиями государства. Активизм в общественной и политической сфере был также в высокой степени институционализированным и предполагал выражение активности в четко установленных рамках [8]. Несмотря на массовый характер, участие в молодежном движении способствовало не только горизонтальной, но и вертикальной социальной мобильности. Дифференциация внутри системы работы с молодежью возрастала в зависимости от возрастной группы: если в октябрятское и пионерское движение централизованно включались практически все, и как следствие различия в социальной мобильности практически отсутствовали, то на этапе включения в комсомол уже происходил минимальный отсев участников – исключенными оказывались наиболее пассивные или инакомыслящие [9]. Следующим этапом было вступление в КПСС, в отношении которого уже существовали более жесткие критерии отбора. Именно активная деятельность в комсомольском движении и последующее включение в партийную систему выступали основной формой «социального лифта», хотя темпы вертикальной мобильности были относительно невысокими – предлагаемый путь к более высоким статусным позициям в рамках деятельности общественно-политических объединений был хотя и относительно стабильным, но жестко регламентированным, и нередко ограничивался сверху, так как высшее партийное руководство не стремилось к постоянному обновлению кадров [10, с. 50].

В постсоветский период дифференциация молодежи существенно усилилась, и движение молодых людей в социальном пространстве стало менее равномерным. Неравенство проявилось даже в привычных категориях «детства» и «молодости» – тогда как затянувшееся взросление некоторых молодых людей достигло количественных показателей, позволяющих говорить о существовании в российском обществе феномена кидалтов [11], другие их сверстники, в частности из групп риска, были

обречены на ускоренное взросление и укороченное детство, встречая совершеннолетие с мизерным количеством социального, экономического и культурного капитала [12]. Активность молодежи также стала более разноплановой, однако институциональные основы активизма серьезно пошатнулись, а влияние активизма на социальную мобильность существенно снизилось. После 2000 года в России стали динамично развиваться политические молодежные движения. Именно они стали той формой активизма, которая давала гражданам дополнительный ресурс для осуществления социальной мобильности, так как активность в досуговой сфере и участие в неполитических объединениях этой возможности практически не давали. Социальный капитал в прочих движениях мог накапливаться в рамках выстраивания сети контактов с другими участниками, однако, в политических движениях он аккумулировался на другом качественном уровне за счет публичной активности, фиксируемой в СМИ и поддержки со стороны административного ресурса. Кроме того, участие в объединении, не имеющем политической специфики, редко влияло на социальную мобильность. За последние несколько лет ситуация несколько изменилась – неполитические формы активизма, например волонтерство, стали поощряться государством и служить для молодых граждан инструментами борьбы за различные формы капитала. Примером этого служит введение волонтерских книжек, введенных для систематизации данных о деятельности участников волонтерских проектов, которые они затем смогут использовать в качестве дополнительного ресурса. В терминологии Бурдые это можно охарактеризовать как символический капитал, который затем может быть конвертирован в другие формы [13]. Так, приобретенный символический капитал может способствовать получению экономического и культурного капитала (например, за счет льготных условий при трудоустройстве или поступлении в вуз), а также социального капитала.

Помимо перечисленных, способствовать получению специфических форм капитала могут и другие молодежные объединения. К примеру, реконструкторский клуб, помимо досуга, ориентирован и на культурное обогащение своих участников, а экологический активизм может поощряться как в социальной форме – посредством признания и одобрения, так и в экономической – например, через получение грантов от международных организаций.

Очевидно, что, несмотря на очевидные различия, все формы активизма предлагают молодому человеку ресурс для достижения целей, развития или иного способа возмещения вложенных усилий. Воспроизводство этих практик требует от субъекта определенных затрат, по крайней мере в форме времени, умственных и физических усилий – больших, чем если бы он не проявлял этой активности. Это отсылает нас к функциональной теории стратификации, предлагаемой К. Дэвисом и У. Муром. Согласно этой концепции социальная стратификация и неравенство между различными статусно-ролевыми позициями являются естественными механизмами, благодаря которым поддерживается оптимальное состояние социальных систем [14, с. 210]. Отправной точкой является представление о том, что более высокие позиции имеют большую важность для функционирования общества, однако при этом они менее привлекательны для людей, так как для их достижения требуется значительное количество усилий. Очевидно, что проявление активности – не только в гражданской сфере или в социально значимой деятельности – важно для общества, тогда как всеобщая пассивность ведет к стагнации и, в конечном счете, приводит к негативным последствиям в масштабе всей социальной структуры. Соответственно, общество вынуждено генерировать систему поощрений и вознаграждений, чтобы «мотивировать нужных членов общества на занятие необходимых ему позиций» [15, р. 387]. Мотивация поддерживается с помощью различных групп поощрений – экономических, эстетических и символических. Если рассматривать участие человека в каком-либо объединении, то можно обнаружить воздействие всех трех типов. В роли экономических выгод выступает либо прямое вознаграждение, либо содействие обучению, трудоустройству и карьерному росту, в роли эстетических – удовольствие от общения с другими людьми, сопутствующего участию в объединении, а в роли символических – самоуважение, основанное на осознании важности и полезности своей деятельности. Баланс между типами поощрения будет варьироваться в зависимости от специфики формы активности. Так, стремление к взаимодействию и объединению с другими людьми на основе общности взглядов находит отражение во всех типах общественных объединений, однако совершенно естественно, что в досуговых объединениях удовлетворение аффилиативных и эстетических потребностей занимает центральное место. В молодежном крыле политической партии во главе угла находится установка на вертикальную социальную мобильность, а в волонтерском или экологическом движении – то, что авторы функциональной теории называют «символическим» типом. Многие крупные общественные объединения могут заниматься разноплановой деятельностью (например, одновременно политической, и волонтерской или одновременно экологической и правозащитной), поэтому бывает трудно классифицировать то или иное движение. Однако следует учитывать, что большинство обществен-

ных объединений, как правило, позиционирует себя как носителя конкретных функций, и в данном контексте будут формироваться ожидания от этих объединений в обществе. Именно ожидания, в числе которых и представления о том, какие ресурсы и возможности предоставляет то или иное движение, в конечном счете, определяют выбор молодыми людьми различных форм активизма и регулируют приток новых участников в эту сферу. Поэтому, несмотря на важность воспитания в молодых людях гражданской ответственности, нельзя забывать и об их общих интересах и особенностях мотивации, непосредственно влияющих на жизненный выбор. Только при наличии адекватной системы поощрений и вознаграждений, стимулирующих молодежный активизм, возможно достижение функционального равновесия в обществе. Поэтому развитие и дальнейшая оптимизация этой системы, в том числе посредством административного и законодательного ресурса, являются важным требованием для формирования эффективной молодежной политики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветаева Н.Н. Биографические нарративы советской эпохи / Н.Н. Цветаева // Социологический журнал. 2000. №1 // URL: <http://www.socjournal.ru/article/399>; дата обращения к ресурсу: 24.07.2011.
2. Алексеева Л.М. «Третий сектор» и власть / Л.М. Алексеева // Общественные науки и современность. 2002. № 6. С. 52-58.
3. Багуцкий Н.В. Проблематика гражданского общества: ограничения и механизмы развития / Н.В. Багуцкий // Вестник СГТУ. 2006. № 3 (15). Вып. 2. С. 203-207.
4. Blum D. Current Trends in Russian Youth Policy / D. Blum // PONARS Policy memo. 2005. № 384. P. 107-112.
5. Божок Н., Масычев П. Еще раз о «проблемной» молодежи / Н. Божок, П. Масычев // Журнал исследований социальной политики. 2011. Т. 9. №3. С. 417-420.
6. Салменниemi, С. Теория гражданского общества и постсоциализм / С. Салменниemi // Журнал исследований социальной политики. 2009. Т. 7. №4. С. 439-464.
7. Бурдые П. Социальное пространство и символическая власть // Бурдые П. Начала. М.: SocioLogos, 1994.
8. Ковалёва А. И. Социология молодежи: теоретические вопросы / А.И. Ковалёва, В.А. Луков. М.: Социум, 1999. 325 с.
9. Суслов И.В. Диссиденты, шестидесятники и «общественность» в СССР, 1953–1975 годы / И.В. Суслов // Общественные движения в России: точки роста, камни преткновения / под ред. П. Романова и Е. Ярской-Смирновой. М.: ООО «Вариант», ЦСПГИ., 2009. С. 83-95.
10. Крыштановская О.В. Элита и возраст. Путь наверх / О.В. Крыштановская, Ю.В. Хуторянский // Социологические исследования. 2002. № 4. С. 49-60.
11. Ярская-Смирнова Е. «Веселые, непонимающие и бессердечные?» О феномене Питера Пэна / Е. Ярская-Смирнова, Г. Карпова, М. Ворона // Неприкосновенный запас. 2008. № 6 (62). С. 161-177.
12. Ярская В.Н. Молодежная политика: разные и пока не равные / В.Н. Ярская, Н.И. Ловцова // Журнал исследований социальной политики. 2010. Т. 8. № 2. С. 151-164.
13. Радаев В.В. Понятие капитала, формы капиталов и их конвертация / В.В. Радаев // Экономическая социология. 2002. Т. 3. № 4. С. 20-32.
14. Коллинз Р. Четыре социологических традиции / Р. Коллинз; пер. В. Россмана. М.: Изд. дом «Территория будущего», 2009. 320 с.
15. Tumin M. Some principles of stratification: a critical analysis / M. Tumin // American Sociological Review. 1953. Vol. 18. P. 378-394. // URL: <http://ssr1.uchicago.edu/PRELIMS/Strat/stmisc1.html>; дата обращения к ресурсу: 09.01.2011

Фёдоров Денис Игоревич –
аспирант кафедры «Социология, социальная
антропология и социальная работа»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Denis I. Fyodorov –
Postgraduate
Department of Sociology, Social Anthropology
and Social Work,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.08.12, принята к опубликованию 20.02.13

В.В. Щепланова

**ТЕРРОРИСТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ
В РАКУРСЕ КОНЦЕПЦИЙ СОЦИАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Представлен фрагмент анализа феномена терроризма и его последствий, моделирующего присущие ему черты и характеристики. Автор проблематизирует всесторонний учёт, изучение последствий террористических действий и привлекает к анализу концепции социальных действий и их непредвиденных последствий, скрытых, явных функций и интегральную социологическую парадигму.

Террористические действия, социальная структура, социальные действия, социальные практики, социальные последствия, функции, социальные факты

V.V. Scheblanova

**TERRORIST ACTIONS AND THEIR CONSEQUENCES REGARDING
THE CONCEPTS OF SOCIAL ACTIONS**

The article presents a fragment of analysis referring the phenomenon of terrorism and its consequences, creating the specific features and characteristics of the phenomenon. The author presents a comprehensive account and consequences of terrorist actions, and analyzes the concept of social actions and their unforeseen consequences, as well as the concept of the hidden or obvious functions, and the integrated sociological paradigm.

Terrorist actions, social structure, social actions, social practices, social consequences, functions, social facts

В условиях глобализационных процессов, возрастания всеобщей взаимозависимости общество всё более состоит из индивидов, испытывающих воздействие последствий чужих рискованных транзакций. Актуальное исследование проявлений современного терроризма обращает нас к ключевым концепциям социологического знания, что вызывает необходимость систематизации социологических ресурсов в объяснениях террористических действий и их последствий в условиях интенсивной событийности, изменяющихся реалий современной жизни, неизбежно трансформирующих перспективу научной рефлексии.

Преднамеренные и непреднамеренные последствия террористических действий. По словам М. Вебера, определившего категорию социального действия, задачи социологии заключаются в интерпретативном понимании осмысленно ориентированных действий [4]. В ряду террористических действий – действия, произведённые сознательно, опосредованные определённым мотивом или намерением (мотивом революционной борьбы; борьбы за власть или свободу). Поскольку в их основе «лежит ожидание определённого поведения предметов внешнего мира и других людей и использование этого ожидания в качестве «условий» или «средств» достижения рационально поставленной и продуманной цели» [4], то, согласно веберовскому анализу мотивов социальных действий, такие террористические действия относятся к целерациональным. Формула «креативность действия» Х. Йоса [10] подчёркивает возможность креативной спецификации ценностей и норм в ситуациях действия.

Продолжая следовать логике М. Вебера, в разных типах террористических действий можно выделить и иные мотивы. Террористические акты основываются на ценностно-рациональной вере в безусловную эстетическую или религиозную ценность поведения (теракты, отстаивающие конфессиональные ценности). Они совершаются и в состоянии аффекта, обуславливаясь эмоциональным состоянием индивида (теракты шахидов). Террористические действия можно отнести к традиционным, основанным на длительной привычке (например, на привычке стратега террористических актов, длительное время разрабатывавшего и планировавшего их в качестве целедостижительной формы намеченных рубежей).

Г.В. Гегель полагал, что «во всемирной истории благодаря действиям людей вообще получают ещё и несколько иные результаты, чем те, к которым они стремятся и которых они достигают, чем те результаты, о которых они непосредственно знают и которых они желают» [5]. В свою оче-

редь, Т. Парсонс в работе «О структуре социального действия» отмечает, что конкретное явление в процессе научной концептуализации расчленяется на составные части, единичные акты или «акты действия», осуществляемые индивидуальным или коллективным актором. Социальное действие, оказывающееся бесконечно расширяющимся *конструктом*, имеет ориентацию (объекты ориентации), которую ему приписывают акторы, соотнося его со своими целями и интересами. Но, кроме потребностей и интересов, действие включает в себя средства действия, приложение усилий, а также ориентацию на будущие события, ожидания воздействия [15]. В социальное действие втягиваются и отношения с другими людьми, целыми группами, а в конечном счёте – со всем обществом, упорядочивающим все эти отношения и создающим возможность коллективных действий.

К исследованию коллективных действий распространены подходы на основе рационалистической теории действия. Внимание ресурсно-мобилизационного подхода направлено на доступность таких ресурсов, как время, деньги и шансы мобилизации для целей той или иной организации, движения. Если движение способно привлечь мощные (формирующие) ресурсы, то повышается и его готовность к действиям [10]. Мобилизация – важнейший процесс, с помощью которого собираются, используются ресурсы для достижения террористических целей. М. Олсон также проблематизирует возможности коллективного действия на основе рационалистической теории действия (не рассматривая неэкономические организации с низким уровнем рациональности), но рекрутирование и мобилизация ресурсов – для него проблема второстепенной значимости. Как считает автор, размер группы – один из определяющих факторов в решении вопроса о возможности согласованного действия группы благодаря рациональному, добровольному, индивидуальному интересу участника группы. Малые группы оптимальнее служат коллективным интересам, чем большие [14]. Не ставя целью анализ движений, в частности становления, развития, величины террористических групп, отметим, что бывает сложно прийти к консенсусу в малой группе, и индивиды, входящие в её состав, могут обнаруживать разные уровни рациональности в практиках.

Организованные коллективные усилия, способствующие или препятствующие переменам, воплощаются в социальных движениях, представляющих собой как группы, пользующиеся хотя бы символической общественной поддержкой, так и объединения, применяющие незаконные средства [18]. Как пишет П. Штомпка, социальные движения – это наиболее мощные субъекты, вызывающие социальные изменения, это средства в причинной цепи социальной практики, продукты более ранних изменений и вместе с тем производители дальнейших преобразований, объединяющие социальный процесс и отличающиеся по масштабам (реформистские, радикальные), качеству (стремятся создать новые институты, ввести новые законы, новый образ жизни, новые верования) *предполагаемых (непредполагаемых)* изменений. Хотя, как отмечает автор, у большинства социальных движений вектор изменений позитивен, и в рамках современного подхода рационального выбора социальные движения фигурируют как *нормальные* средства достижения политических целей [22], в отличие от использующих вооружённые методы борьбы (насильственных движений).

Фундаментальная проблема соотношения общества и индивида обострилась в результате протестных движений молодёжи в конце 60-х гг.: студенческий марш 1968 г. в Париже, студенческие бунты, прокатившиеся по ряду стран Западной Европы и сыгравшие существенную роль в становлении левотеррористических организаций. Стало очевидно, что молодёжь, социализированная в развитии буржуазном обществе, уже не удовлетворена этим обществом как недостаточно гибкой системой. Социологи стали исходить из факта кризиса этой формы общества, которое наиболее адекватно описывали структурно-функциональный анализ и другие концепции социальных систем [11]. По словам Э. Гидденс, в заявленной Т. Парсонсом *концепции социального действия* объект (общество) преобладает над субъектом (разумным человеческим существом).

Предложенная же Э. Гидденс *теория структуризации* исходит из предположения о том, что дуализм (противоречие между объектом и субъектом) следует переосмыслить с позиции двойственности структуры. Структура в своём значении представляет генеративные (порождающие) правила и ресурсы. Но структуру нельзя отождествлять с принуждением, она всегда как ограничивает, так и создаёт возможности для *действия*. Социальные акторы в своей повседневной деятельности используют и воспроизводят структурные характеристики глобальных социальных систем. Их *социальные практики*, разворачивающиеся во времени и пространстве, считаются источником, основой образования и субъекта, и социального объекта [7]. В свою очередь, П. Бергер, Т. Лукман, интегрируя идеи М. Вебера и Э. Дюркгейма, создали теоретическую конструкцию, в соответствии с которой общество обладает объективной фактичностью и создается благодаря деятельности индивидов, имеющих субъективные значения. Именно в терминах объективной фактичности и субъективных значений образуется двойственный характер общества [1].

Стремясь преодолеть поверхностный детерминизм, стихийный субъективизм и их антитезу, найти средний путь между *действием и структурой*, П. Бурдые предлагает *теорию практики*, в которой настаивает как на деятельном присутствии в мире субъекта, так и на необходимости избегать реализма структуры вне индивидуальной или групповой истории. Практический мир конституируется в отношении с габитусом, который, с одной стороны, является продуктом структуры (управляющей практикой через принуждения и ограничения), порождает и организует индивидуальные и коллективные практики, представления, а с другой – он позволяет «обжить» институции, практически их присвоить и поддерживать в активном, жизненном, деятельном режиме [3]. Практика же – это всё то, что социальный агент делает сам и с чем он встречается в социальном мире. Она оказывается и объективным, автономным, необходимым, это изменение социального мира, производимое агентом в рамках объективных и субъективных структур [21].

Н.И. Лапин, рассуждая об обретении современным обществом новых системных качеств, предлагает подход, соответствующий новому состоянию этих систем – антропосоциетальный подход. Социетальное сообщество [16] – это сложная сеть взаимопроникающих коллективов и коллективных лояльностей, система, для которой характерны дифференциация и сегментация. А антропосоциетальный подход ориентирован на понимание общества как гибкой антропосоциетальной системы, порождаемой противоречивыми взаимодействиями людей и способной изменяться в ответ на угрозы рисков. Такое понимание опирается на основание *релятивно-деятельностного реализма*: общество реально, поскольку реальны социальные действия и взаимодействия индивидов и социальных общностей [11].

Осмысление взаимоотношения между структурной детерминантностью и индивидуальной волей относительно современных террористических действий можно проиллюстрировать следующим рассуждением. Если раньше государства и культурно доминирующие демографические большинства представлялись источником проблем и насилия, а меньшинства и внесоциетальный сектор – страдающими и требующими защиты, международной поддержки, то сегодня местные активисты, представители меньшинств в союзе с другими организациями и международными структурами осуществляют гораздо большие акции и силовые воздействия, в том числе становятся инициаторами террористического насилия. С одной стороны, державы знают, как использовать их против геополитических соперников, с другой – и сами местные радикалы в Чечне, Дагестане умеют использовать геополитическое соперничество в своих интересах, начиная с трибуны ООН и кончая Государственным департаментом США [20].

Важное значение в дискуссии о структурировании социальных действий имеет вопрос о непредвиденных последствиях социальных действий. Э. Гидденс отмечает значимое различие между целями действий – когда мы преднамеренно что-то делаем – и непреднамеренными последствиями, к которым действия приводят. Непрерывность и перемены в общественной жизни автор представляет в виде «смеси» преднамеренных и непреднамеренных последствий человеческих действий. Большинство крупных перемен в истории, как утверждает автор, было, вероятно, непреднамеренными, мы не предвидим реально происходящих процессов, социальных трансформаций, оказывающихся гораздо более радикальными, чем кто-либо мог предполагать [6]. Посредством механизмов обратной связи эти непреднамеренные последствия могут систематически превращаться в непознанные условия дальнейших поступков [7]. Отличительным признаком современных опасностей и катастроф является то, что их негативные последствия не ограничены ни пространственными, ни временными, ни социальными рамками, причём возникновение катастрофы может означать уничтожение большей части человечества [2]. Доказательство тому можно обнаружить, обратившись к исследованию социальных условий и последствий террористических действий – рискогенных, обладающих перераспределительным потенциалом.

Последствия террористических актов: социальные факты, функциональный характер. Важный теоретический подход, необходимый при анализе терроризма и его последствий, апеллирует к объяснениям особенностей социальных структур с позиции их вклада в поддержание социальной системы. Значимая тема, инициированная Э. Дюркгеймом, состоит в том, что общество, регламентирующее деятельность индивидов принудительным образом, зависит от кооперации его членов, их согласия: «Социальным фактом является всякий способ *действий*, устоявшийся или нет, способный оказывать на индивида внешнее принуждение; или иначе: распространённый на всём протяжении данного общества, имеющий в то же время своё собственное существование, независимое от его индивидуальных проявлений» [9]. Согласно первой части определения, можно интерпретировать терроризм как способ действий, но не всеобщий, а присущий институту государства (террор при тоталитарных режимах) или свойственный лишь некоторым группам, членам общества. Также терроризм как угроза

или применение насилия оказывает на индивидов внешнее принуждение созданием страха, ужаса, ущерба. Рассуждая в соответствии со второй частью определения, заметим, что терроризм, предстающий на протяжении истории существования обществ в разнообразных формах, в то же время зависит от индивидуальных проявлений, но имеет своё собственное существование в форме угрозы. Угроза терроризма – в ряду страхов, постоянно фиксируемых опросами общественного мнения [19].

К социальным фактам можно отнести некоторые последствия терроризма – страх, ужас, социальную напряжённость, потребность в безопасности, социальной защите – состояния, которые могут повторяться у индивидов, потому что навязываются им террористическими структурами. Террористические акты относятся, скорее, к формам [9] социальных фактов, в них облекаются коллективные состояния, передаваясь индивидам, и эти формы в действительности довольно точно изображаются цифрой (статистика даёт нам средство изолировать их). К формам могут быть причислены те последствия терроризма, которые выразимы цифрами [23], например, количество жертв, пострадавших, разрушенных объектов.

Понятия «явных и латентных функций», ставших значимым вкладом в функциональный анализ, определил Р. Мертон. Явные функции имеют осознанный намеренный характер, латентные функции – ненамеренный [13]. И эта концепция связана с другой его концепцией непредвиденных последствий. Хотя все осознают преднамеренные последствия, но требуется социологический анализ, чтобы обнаружить непреднамеренные последствия. Ведь непредвиденные последствия и латентные функции – не одно и то же. Латентная функция есть вид непредвиденного последствия, имеющего для определённой системы *функциональный* характер [17]. Например, существует практика заведомо ложного сообщения об акте терроризма в форме звонков, писем. Преднамеренным последствием здесь, очевидно, могут стать розыгрыш, шутка, срыв контрольной, экзамена, месть за увольнение, в то время как ещё целый ряд последствий, также функциональных для задуманного (эвакуация людей, возникновение страха, паники, вовлекающие не причастных к розыгрышу или мелкой мести граждан) не являются целевыми и преднамеренными.

Структура по отношению к системе может иметь дисфункциональный характер и всё же продолжать своё существование [17]. Ведь терроризм функционален для определённой части социальной системы. Наряду с исполнителями терактов, идеологами, террористическая структура включает и третью заинтересованную силу, получающую от террористической деятельности экономические и (или) политические дивиденды [12]. Для исполнителя, преследующего свои цели-функции (борьба за этнорелигиозную идею, свободу или получение денег за оплачиваемый теракт) и выступающего инструментом в руках более значимых структур, решающих глобальные задачи, их дивиденды являются непреднамеренными последствиями его террористических действий. То есть терроризм можно рассматривать как дисфункцию социальных институтов. Осознание же того, что не все структуры необходимы для функционирования социальной системы, и некоторые элементы этой системы можно элиминировать, открывает путь для существенных социальных изменений [17]. Наше общество может продолжать своё существование (и улучшится) с устранением разных форм террористических действий.

Таким образом, в статье представлен фрагмент анализа феномена терроризма и его последствий, моделирующий присущие ему черты и базирующийся на теориях социальных действий (М. Вебер, Д. Дьюи, Х. Йоас, М. Олсон, Т. Парсонс, Н. Смелзер) и их непредвиденных последствий (Г.В. Гегель, Э. Гидденс), скрытых, явных функций Р. Мертона и интегральной социологической парадигмы (П. Бергер, П. Бурдьё, Э. Гидденс, Н. Лапин). Современное общество состоит из всех тех, кто испытывает воздействие косвенных последствий чужих трансакций до такой степени, что возникает насущная необходимость держать их под систематическим контролем, упорядочивать их [8]. И суть проблемы в тщательном и всестороннем учёте и изучении последствий социальных действий, а также в выработке мер и средств контроля за этими последствиями. Террористическое действие, которое общественно по своей сути, влияет на социальную ситуацию, положение, перспективы общества и одновременно является безусловным социальным вредом, угрозой, бедствием. Терроризм влечёт за собой обширные, далеко идущие последствия (события, ситуации, состояния), сила же социальной системы проявляется в её возможности принять террористический вызов или отвергнуть его, преодолеть трудности благодаря адаптивным модификациям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер П. Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания / П. Бергер, Т. Лукман. М.: Медиум, 1995. С. 35.

2. Бехман Г. Современное общество как общество риска / Г. Бехман // Вопросы философии. 2007. № 1. С. 40.
3. Бурдые П. Практический смысл / П. Бурдые; пер. под ред. и послесл. Н.А. Шматко. М., СПб., 2001. С. 100-105.
4. Вебер М. Избранные произведения / М. Вебер; под ред. Ю.Н. Давыдова. М., 1990. С. 607-628.
5. Гегель Г.В. Собрание сочинений / Г.В. Гегель. М.: Госиздат, 1934. Т. VII. С. 27.
6. Гидденс Э. Социология / Э. Гидденс. М.: Эдиториал УРСС, 1999. С. 32-33.
7. Гидденс Э. Устроение общества: очерк теории структуризации / Э. Гидденс. М.: Академический Проект, 2005. С. 59-70.
8. Дьюи Д. Общество и его проблемы / Д. Дьюи. М.: Идея-Пресс, 2002. С. 15-19.
9. Дюркгейм Э. Социология: её предмет, метод, предназначение / Э. Дюркгейм. М.: Камин, 1995. С. 34-39.
10. Йоас Х. Креативность действия / Х. Йоас. СПб.: Алетейя, 2005. С. 7, 225-226.
11. Лапин Н.И. Общая социология / Н.И. Лапин. М.: Высш. шк., 2006. С. 26-30.
12. Лось А. Маркетинг терроризма / А. Лось // Человек и закон. 2006. №12. С. 77.
13. Мертон Р.К. Явные и латентные функции / Р.К. Мертон // Американская социологическая мысль: тексты / под ред. В.И. Добренькова. М.: Изд. Междунар. Ун-та Бизнеса и Управления, 1996. С. 428.
14. Олсон М. Логика коллективных действий: общественные блага и теория групп / М. Олсон; под ред. Р.М. Нуреева. М.: ФЭИ, 1995. С. 46-47.
15. Парсонс Т. О структуре социального действия / Т. Парсонс. М.: Академический Проект, 2000. С. 94, 428.
16. Парсонс Т. Система современных обществ / Т. Парсонс. М.: Аспект Пресс, 1997. С. 25.
17. Ритцер Дж. Современные социологические теории / Дж. Ритцер. СПб.: Питер, 2003. С. 134-135.
18. Смелзер Н. Социология / Н. Смелзер. М.: Феникс, 1998. С. 595-596.
19. Страхи и тревоги россиян: сб. статей. СПб.: РХГИ, 2004. С. 67-107.
20. Тишков В.А. Социально-культурная природа терроризма / В.А. Тишков // Неприкосновенный запас. 2002. № 6 (26). С. 56.
21. Шматко Н.А. На пути к практической теории практики // Бурдые П. Практический смысл / под ред. пер. и послесл. Н.А. Шматко. М., 2001. С. 551-552.
22. Штомпка П. Социология социальных изменений / П. Штомпка; под ред. В.А. Ядова. М., 1996. С. 336-362.
23. Щербаков А. Терроризм. Война без правил / А. Щербаков. М.: Олма Медиа Групп, 2012. 464 с.

Щебланова Вероника Вячеславовна – доктор социологических наук, профессор кафедры «Социология, социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Veronika V. Scheblanova – Dr. Sc., Professor
Department of Sociology, Social Anthropology and Social Work,
Gagarin Saratov State technical University

Статья поступила в редакцию 10.07.12, принята к опубликованию 20.02.13

ЭКОЛОГИЯ

УДК 628:661

Е.А. Татаринцева, А.В. Карпенко, В.А. Лемаев, Л.Н. Ольшанская

МОДИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ ТЕРМОПЛАСТОВ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработаны составы полимерных композиций из отходов термопластов (полиэтилен и полиэтилентерефталат), терморасширенного графита (ТРГ) и порофора для создания адсорбционных материалов. Исследованы адсорбционные и физико-механические свойства (истираемость, измельчаемость, плотность, пористость, удельная поверхность).

Отходы, термопласты, наполнители, вспенивающие агенты, адсорбция

E.A. Tatarintseva, A.V. Karpenko, V.A. Lemaev, L.N. Olshanskaya

MODIFICATION OF THERMOPLASTIC WASTES AS A MEANS FOR PRODUCING ADSORPTION MATERIALS

Polymeric compositions have been developed from thermoplastic wastes (polyethylene and polyethylene-terephthalate), expanded graphite (TEG), and blowing agent for the creation of adsorption materials. The adsorption and physic-mechanical properties (abrasion, grind ability, density, porosity, surface area) have been explored.

Waste, thermoplastics, fillers, foaming agents, adsorption

Одним из наиболее осязаемых результатов антропогенной деятельности является образование отходов, среди которых отходы пластмасс занимают особое место в силу своих уникальных свойств. Ежегодный вклад России в образование пластиковых отходов – 1 млн тонн, которые, однако, пригодны для переработки и могут использоваться как вторичные полимерные ресурсы. Поэтому проблема утилизации отходов из них является сегодня наиболее актуальной, но и проблема очистки промышленных сточных вод тоже достаточно острая [1].

Наиболее распространенными методами очистки сточных вод являются сорбционные. Простота аппаратного оформления, малая энергоёмкость и высокая эффективность технологий делают их привлекательными. Но они являются дорогостоящими процессами, высокая стоимость обусловлена дороговизной адсорбционных материалов.

Целью настоящей работы являлся поиск новых путей использования отходов пластмасс с получением продукции, имеющей народно-хозяйственное значение, и создание новых композиционных адсорбционных материалов, отличающихся высокой эффективностью при очистке сточных вод и низкой стоимостью.

С этой точки зрения использование отходов полиэтилентерефталата (ПЭТ) и полиэтилена (ПЭ) при создании новых адсорбционных материалов для очистки вод, обладающих высокой эффективностью и низкой стоимостью, очень перспективно, т.к. материалы доступны, легко перерабатываются, модифицируются наполнением и имеют хороший комплекс физико-химических свойств [1]. Отходы термопластов перерабатываются традиционными методами – литьем под давлением, прессованием, выдуванием, экструзией и т.д. [1,2].

В качестве наполнителя использовали терморасширенный графит (ТРГ). ТРГ является материалом нового поколения и обладает всеми положительными качествами графита (химическая инертность, гидрофобность, большая удельная поверхность, устойчивость к агрессивным средам).

Использование углеродных сорбентов как катализаторов и поглотителей для очистки питьевой и сточной воды известно давно [3]. В промышленности широко применяются активные угли, графеновый сорбент, фуллерены, углеродные волокна (вискум, бусофит, перлит и др.).

Резкое увеличение цен на полимерные материалы активизировало производителей продукции на поиски путей снижения затрат материалоемкости изделий. Оптимальным решением является создание микроячейной структуры полимерных материалов. Известна возможность использования вспененных полимерных и волокнистых материалов в качестве сорбентов для очистки воды и воздуха, сорбции нефтепродуктов, извлечения тяжелых металлов и других ценных компонентов [3]. Полимерные пористые материалы становятся конкурентами традиционным фильтрующим материалам, таким как керамика и металлокерамика, фильтровальные ткани, бумага и др. Это обусловлено рядом преимуществ, которые присущи пористым полимерным материалам: дешевизной (по сравнению с керамикой или металлокерамикой), возможностью достижения более высокой производительности, возможностью довольно точного регулирования размеров пор. Кроме того, полимерные фильтры можно формовать, придавая им практически любую форму. Разработка разнообразных методов получения пористых полимерных материалов на основе широкого ассортимента полимеров, наличие у них комплекса ценных свойств определяют широкое применение полимерных фильтров в промышленности, системах водоподготовки и водоочистки, медицинской и микробиологической промышленности [4].

Вспенивание таких пластиков как полистирол (ПС), полиуретан (ПУ) давно применяется и достаточно распространено [1, 4]. Вспенивание же ПЭТФ и ПЭ весьма затруднительно и используется крайне редко.

Перспективным способом получения пористых материалов является вспенивание с помощью специальных химических добавок, вводимых в полимер, – порофоров [1, 4]. Порофоры – это химические соединения, которые при нагревании разлагаются, выделяя газ CO_2 , вспенивающий полимер.

В качестве объектов исследования при получении адсорбентов были выбраны вторичные полиэтилен (ВПЭ), полиэтилентерефталат (ВПЭТ), вспенивающие агенты (порофоры) – HYDROCEROL CF 40E и HYDROCEROL BM 70, в качестве наполнителя использовали терморасширенный графит (ТРГ).

Определялись оптимальные составы и технологические параметры вспенивания ВПЭ и ВПЭТ. Вспененная композиция готовилась простым механическим перемешиванием компонентов с последующим литьем под давлением при температурах 160-190 °С для ВПЭ и 240-270 °С для ВПЭТ. Порофоры вводились в количестве от 0,5 до 2,0 % (масс.) (табл. 1) [4].

Таблица 1

Состав и физические свойства композиций

№	Состав композиции, г	Соотношение компонентов, масс. ч.	Плотность, г/см ³	Пористость, %
1	10 г ВПЭТ + 0,05 г CF40E	100:0,5	1,2	2,5
2	10 г ВПЭТ + 0,1 г CF40E	100:1,0	1,0	18,7
3	10 г ВПЭТ + 0,15 г CF40E	100:1,5	0,9	26,8
4	10 г ВПЭТ + 0,2 г CF40E	100:2,0	0,8	34,8
5	10 г ПЭТ + 0,2 г CF40E	100:2,0	0,9	31,0

Полученные образцы имеют пористую структуру, заметную невооруженным глазом (рис. 1), и более низкую плотность.



Рис. 1. Структура вспененного ВПЭТ

Для получения адсорбционного материала дополнительно в полимер вводился ТРГ в количестве 10 % (масс.), было установлено, что при меньшей концентрации ТРГ в композиции он экраниру-

ется полимерной матрицей, что уменьшает удельную поверхность образцов, а большее количество приводит к затруднению совмещения полимера и ТРГ из-за его маленькой плотности.

Полученный композиционный материал механически измельчался до размера зерен ~ 2 мм, рис. 2, и проводилось исследование его физико-механических свойств (табл. 2) (плотность, насыпная плотность, объем пор, удельная поверхность, истираемость, измельчаемость, поглощенная влага).



Рис. 2. Композиционный адсорбент

Таблица 2

Физико-механические свойства адсорбционных материалов

Состав композиции, % (масс.)	Истираемость, %	Измельчаемость, %	Объем пор, %	Плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Насыпная плотность после уплотнения г/см ³	Поглощенная влага, %	Удельная поверхность, м ² /г
ВПЭТ+10 ТРГ +2 CF 40E	0,037/0,5*	0,027/4*	29,5	0,958	0,530	0,556	2,1	22,0
ВПЭ+10 ТРГ +2 BM 70	0,026/0,5*	0,040/4*	25,5	0,934	0,366	0,376	1,5	16,5

*ГОСТ Р 51641-2000, истираемость не должна превышать 0,5 %, а измельчаемость – не более 4 %.

Как видно из результатов исследования, композиции 1 и 2 обладают достаточными прочностными свойствами (истираемость, измельчаемость) согласно требованиям, предъявляемым к адсорбционным материалам. Адсорбент, полученный по данной технологии, имеет насыпную плотность, сравнимую с активированным углем (0,46-0,53 г/см³).

Данные ИК спектроскопии показали, что в композиции ВПЭТ+10 ТРГ+2 CF 40E имеются активные гидроксильные –ОН, карбонильные –С=О и карбоксильные группы, образующиеся в результате вторичной переработки полимера и разрыва полимерных цепей. В этом случае можно говорить не только о физической, но и о химической адсорбции веществ. Эффективность очистки воды данными адсорбентами оценивали на модельных растворах фенола и меди.

Эффективность очистки воды данным адсорбентом оценивали на модельных растворах фенола и меди.

С увеличением равновесной концентрации фенола адсорбционная емкость рассматриваемых адсорбентов возрастает. Изотермы адсорбции фенола (рис. 3), относятся к изотермам типа Лэнгмюра или I типа по классификации БЭТ, что свидетельствует об адсорбции данных веществ в микропорах. Эффективность очистки составляет 52%.

Сорбцию ионов меди (II) из растворов различных концентраций изучали в статических условиях при комнатной температуре (60 мин, V=50 мл, m_c=1,0 г). После проведения сорбции осадок отфильтровывали и определяли содержание ионов металла в равновесной жидкой фазе вольтамперометрическим методом. Степень извлечения (R, %) рассчитывали по формуле

$$R = \frac{(Q_{\text{исх}} - Q_{\text{к}}) \times 100}{Q_{\text{исх}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{к}}$ – количество ионов металла в исходном растворе; $Q_{\text{к}}$ – количество ионов металла, найденное после сорбции в водной фазе.

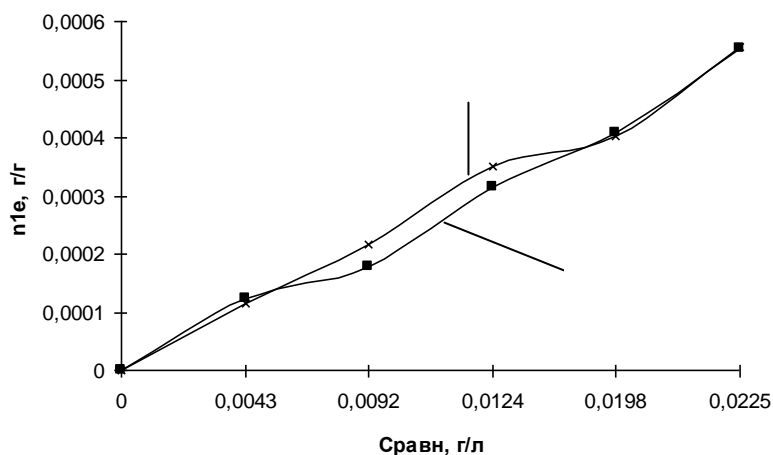


Рис. 3. Изотермы адсорбции фенола на углеродных адсорбентах: 1 – ВПЭ+10 ТРГ+2 ВМ 70; 2 – ВПЭТ+10 ТРГ+2 СФ 40Е

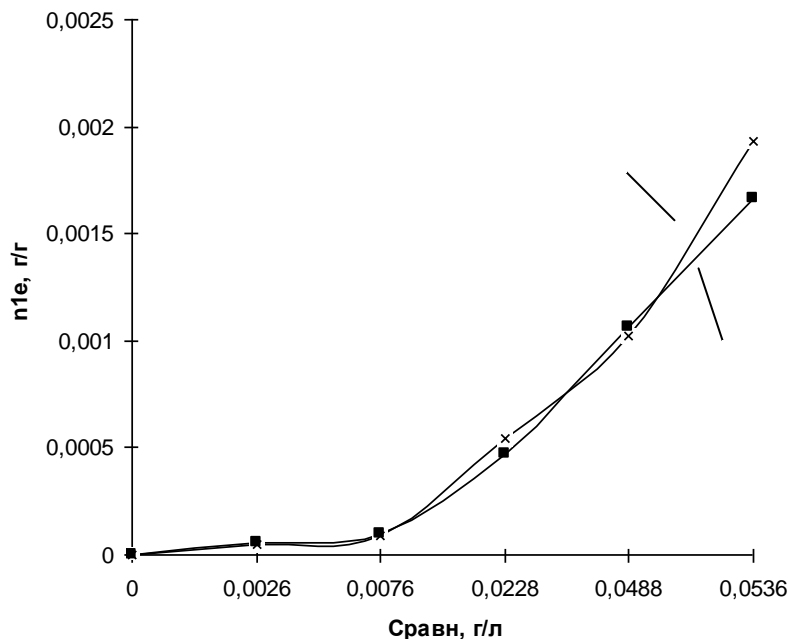
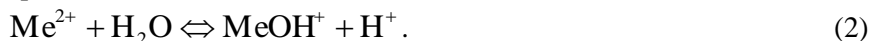


Рис. 4. Изотермы адсорбции меди на углеродных адсорбентах: 1 - ВПЭ+10 ТРГ+2 ВМ 70; 2 - ВПЭТ+10 ТРГ+2 СФ 40Е

При изучении закономерностей сорбции ионов металлов анализируют влияние различных факторов на емкость ионита, из которых важное значение имеет зависимость равновесной емкости по ионам металла от равновесной концентрации его в растворе. Установлено, что количество поглощенных ионов Cu^{2+} возрастает по мере увеличения концентрации исходного раствора и достигает 0,002 г/г при содержании ионов меди в нем 0,15 г/л ($V=50$ мл, $m_c=1,0$ г). При этом степень извлечения составляет 64,0 %.

Хорошо выраженная зависимость степени извлечения катионов металла от рН обуславливается типом иона металла и поверхностными характеристиками сорбента. В некоторых случаях это связано с равновесной константой реакции иона металла [5]:



В большинстве случаев зависимость степени сорбции от кислотности среды определяется стабильностью комплексов катионов металла с поверхностными группами сорбента. Извлечение ионов меди (II) из раствора исследуемым материалом, содержащим на поверхности карбоксильные группы, может осуществляться за счет образования как ионной, так и координационной, а в некото-

рых случаях только координационной связи [6]. Для адсорбции меди характерна изотерма адсорбции II типа по классификации БЭТ (рис. 4).

В результате проделанной работы созданы композиционные адсорбенты для очистки промывных и сточных вод и выбраны технологические параметры их получения: температура литья композиций – 260 °С. При этом оптимальный состав композиций (масс. %) – ВПЭТ+10 ТРГ+2 СФ 40 Е и ВПЭ+10 ТРГ+2 ВМ 70. Показано, что полученные материалы являются механически прочными, обладают низкой насыпной плотностью, хорошей пористостью, что позволяет рекомендовать их в качестве адсорбционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вторичная переработка пластмасс / под ред. Франческо Ла Мантии. СПб.: Профессия, 2007. 520 с.
2. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс / С.В. Власов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 239 с.
3. Собгайда Н.А. Ресурсосберегающие технологии применения сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов: монография / Н.А. Собгайда, Л.Н. Ольшанская. Саратов: Наука, 2010. 148 с.
4. Клемпнер Д. Полимерные пены и технологии вспенивания / пер. с англ. под ред. А.М. Чеботаря. СПб.: Профессия, 2009. 600 с.
5. Ергожин Е.Е., Акимбаева А.М., Габдулина Ю.Р. // Металлургия цветных и редких металлов: материалы 2 Междунар. конф. Красноярск, 9-12 сентября 2003 г. Красноярск, 2003. Т. 2. С. 87-88.
6. Акимбаева А.М. Сорбция ионов меди (II) органоминеральным катионитом на основе бентонита / А.М. Акимбаева, Е.Е. Ергожин, А.Д. Товасаров // Успехи современного естествознания. 2006. № 4. С. 27-29

Татаринцева Елена Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena A. Tatarintseva – Ph.D., Associate Professor
Department of Ecology and Environmental Protection,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Карпенко Андрей Вадимович – аспирант кафедры «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Andrei V. Karpenko – Postgraduate
Department of Ecology and Environmental Protection,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Лемаев Владимир Алексеевич – аспирант кафедры «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir A. Lemaev – Postgraduate
Department of Ecology and Environmental Protection,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Ольшанская Любовь Николаевна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Lyubov N. Olshanskaya – Ph. D., Professor,
Head: Department of Ecology and Environmental Protection,
Engels Technological Institute:
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 20.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

ЭКОНОМИКА

УДК: 338.23:336.74

В.А. Гросул, Е.В. Антонова

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ФИНАНСОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ

Осуществлен критический обзор существующих подходов к анализу денежных потоков на микроуровне. Определены преимущества и недостатки, возможности и ограничения использования денежных потоков как методического инструментария оценки финансовой безопасности предприятия.

Финансовая безопасность, методический подход, модель, оценка, предприятие, денежные потоки, идентификация

V.A. Grosul, Y.V. Antonova

BASIC APPROACHES TO ESTIMATION OF THE FINANCIAL SAFETY OF AN ENTERPRISE BASED ON THE CASH FLOW STUDY

The article provides a critical survey of the available approaches to the analysis of the cash flow on the microlevel. The advantages and disadvantages, including the possibility and restrictions for using the cash flow as a methodological tool for estimation of financial safety of an enterprise.

Financial safety, methodical approach, model, estimation, enterprise, money streams, authentication

Развитие экономики Украины на современном этапе характеризуется множеством переходных процессов, когда кризисы и критические ситуации являются неотъемлемой характеристикой функционирования экономических систем всех уровней. При этом, очевидно, что экономическую безопасность государства невозможно обеспечить без стабильного функционирования субъектов хозяйствования на микроуровне. Это актуализирует проблему усовершенствования системы методов оценки состояний финансовой безопасности предприятия, которая позволяет на основе полученной и соответствующим образом обработанной информации не только идентифицировать состояние предприятия, но и определить предпосылки возможного ухудшения ситуации в будущем, а также выявить необходимые резервы обеспечения финансовой безопасности в перспективе.

Как самостоятельный объект исследования финансовая безопасность начала рассматриваться относительно недавно. Теоретические основы финансовой безопасности и практические подходы относительно реализации механизмов управления нею на уровне предприятия исследованы в работах И.А. Бланка, К.С. Горячевой, О.В. Арефьевой, О.А. Кириченко, Т.Б. Кузенко, Л.С. Мартюшевой, О.В. Грачевой, О.Ю. Литовченко.

Несмотря на то, что вопросы финансовой безопасности предприятия освещаются в монографиях, учебной литературе, материалах периодических изданий, сборниках научных трудов, на данный момент недостаточно разработаны методические подходы к оценке уровня финансовой безопасности субъектов хозяйствования. В частности, не уделяется надлежащего внимания исследованию денежных потоков предприятия как инструменту снижения риска неплатежеспособности, обеспечения высокой оборачиваемости капитала, ритмичности деятельности, что в конечном итоге способствует укреплению финансовой безопасности субъекта хозяйствования.

Целью исследования является критический обзор существующих методик исследования денежных потоков как методического инструментария оценки финансовой безопасности предприятия, выявление их преимуществ и недостатков, возможностей и ограничений.

Тесная связь уровня финансовой безопасности предприятия с эффективностью организации операционной деятельности и принятых инвестиционных и финансовых решений обуславливает необходимость и целесообразность использования анализа денежных потоков как методического инструментария оценки финансовой безопасности субъектов хозяйствования на микроуровне.

Методические предложения относительно оценки финансовой безопасности предприятия на основе исследования его денежных потоков как таковые на сегодня не нашли надлежащего отображения в экономической литературе [1-3]. Вместе с тем анализ научных трудов [4-8] свидетельствует о наличии как определенных принципиальных подходов к анализу денежных потоков, которые могут быть полезными при оценке финансовой безопасности предприятия, так и определенных предложений относительно показателей оценки, которые должны быть приняты в расчет.

Так, если Савчук В.П., освещающая проблемы управления финансами предприятия, ограничивается только аналитическим исследованием отчета о движении денежных средств [8], то Головки В.И. и Мисака Г.В. акцентируют внимание на системе показателей эффективности использования денежных средств предприятия [9]. Колесник М. вместе с индикаторами эффективности предлагает рассчитывать и показатели достаточности денежного потока [10].

Наиболее детализированным является подход к анализу денежных потоков предприятия, предложенный Лигоненко Л.О., Сытник Г.В. В соответствии с этим подходом система показателей отображает такие этапы исследования как анализ объема и динамики денежных потоков, источников их формирования и направлений использования, равномерность и сбалансированность, ликвидность и синхронность денежных потоков, эффективность управления ими [7]. Данный подход является достаточно громоздким, так как содержит более 30 индикаторов, что затрудняет однозначный вывод по рекомендации его применения для оценки финансовой безопасности предприятия.

Преследуя цель обоснования информационно-аналитического инструментария мониторинга денежных потоков предприятия, Костырко Л.А. и Перловская Н.В. предлагают систему показателей, которые отражают два направления оценки – обеспечение платежеспособности и прирост капитала [11]. Предложенная система показателей, на наш взгляд, позволяет получить формализованную оценку качества управления денежными потоками, однако, не позволяет учесть в полной мере стратегический интерес – обеспечение финансовой безопасности субъекта хозяйствования, учитывая инвестиционное и финансовое направления его деятельности.

В свою очередь, классик финансового анализа А.Д. Шеремет в своих научных трудах разных лет издания справедливо отмечает, что во время комплексного исследования деятельности предприятия финансовые результаты должны анализироваться с учетом данных о движении денежных средств [5].

По мнению А.Д. Шеремета, «в нормальной ситуации текущая деятельность организации должна обеспечивать приток денежных средств, полностью покрывающий либо отток средств по инвестиционной деятельности, либо большую часть оттока средств по инвестиционной деятельности с привлечением притока средств от финансовой деятельности для покрытия оставшейся части «инвестиционной оттока» (формула (1)) [5].

Иначе говоря, источником расширения деятельности, модернизации и компьютеризации основных процессов, что приводит к оттоку денежных средств, как справедливо считает А.Д. Шеремет, должно быть превышение денежных поступлений над расходами по операционному направлению. Однако в условиях рыночной экономики для большинства субъектов хозяйствования не исключением является ситуация, когда чистого денежного потока от операционной деятельности, как и совокупности всех источников собственных финансовых ресурсов, оказывается недостаточно как для функционирования, так и развития предприятия. В этом случае субъект хозяйствования прибегает к привлечению кредитных ресурсов, объемы получения которых и определяют денежные потоки по финансовому направлению.

$$\begin{cases} \Delta^{OP} d + \Delta^{ФИН} d > |\Delta^{ИНВ} d| \\ \frac{\Delta^{OP} d}{\Delta^{ИНВ} d} = \varphi > 0,5 \end{cases} \quad (1)$$

где $\Delta^{OP} d$, $\Delta^{ФИН} d$, $\Delta^{ИНВ} d$ – чистое движение денежных средств, соответственно, по операционным, инвестиционным и финансовым направлениям деятельности предприятия за период.

В этом контексте следует отметить, что вопрос приемлемого уровня заемного капитала в структуре имущества предприятия не имеет однозначного ответа и определяется уровнем развития и особенностями экономической системы страны, менталитетом и личностными характеристиками фи-

нансового менеджмента, размерами предприятия и отраслью его деятельности. Так в большинстве стран Европейского союза и США в среднем величина заемного капитала по предприятиям составляет 64%-68%, в Японии данный показатель выше – примерно 80% [12]. Нижний же предел соотношения чистого потока денежных средств к чистому потоку денежных средств от инвестиционной деятельности, определен А.Д. Шереметом на уровне 0,5, что значительно выше по сравнению с другими странами. Это может объясняться непредсказуемостью экономической ситуации, дороговизной отечественных кредитных ресурсов (стоимость беззалогового кредита наличными составляет до 45% годовых) и низким уровнем рентабельности операционной деятельности предприятий (по видам экономической деятельности в 2011 году: 15% торговля; 4,7 – промышленность; 0,8 – строительство; 0,1% – деятельность гостиниц и ресторанов [13]).

На наш взгляд, предложенный А.Д. Шереметом подход заслуживает внимания, так как позволяет идентифицировать состояние финансовой безопасности предприятия. Вместе с тем возможности его использования в предложенном виде чрезвычайно ограничены. Нарушение базовых условий или даже одного из них делает невозможной идентификацию уровня финансовой безопасности предприятия из-за отсутствия выделения ситуаций, которые могут возникнуть.

Следует отметить, что в последние годы интеграционные процессы приобретают всепроникающий характер, можно даже сказать, что они становятся отличительным признаком эпохи. Как часть этих процессов – тенденция к интеграции разных видов и отраслей менеджмента, обусловленная необходимостью постоянного повышения эффективности системы управления. При этом все больше актуализируется мысль о том, что эффективный менеджмент невозможен без реализации действующих механизмов надлежащего управления денежными потоками экономической системы. Как известно, основной целью финансового менеджмента является повышение рыночной стоимости предприятия. Ввиду того, что последнее составляет основной финансовый интерес предприятия, в данном контексте целесообразно отметить работу Иваниенко В.В. и Яценко Л.С. «Финансовый анализ», на страницах которой исследуется зависимость качества управления предприятием от структуры денежных потоков и на основе полученных результатов осуществляется идентификация финансового состояния [6].

По мнению названных ученых, качество управления предприятием может быть охарактеризовано как хорошее в случае, если «по результатам отчетного периода чистое движение денежных средств в результате операционной деятельности имеет положительное значение, в результате инвестиционной и финансовой – отрицательное... При этом чистое движение средств в результате всех видов деятельности предприятия также имеет положительное значение» [6, с. 103]. Трудно не согласиться с тем, что если от реализации продукции предприятие получает достаточно средств для осуществления инвестиционных вложений и возврата процентов по кредитам, то уровень финансовой безопасности такого субъекта хозяйствования является высоким.

В случае, когда движение денежных средств в результате операционной и финансовой деятельности имеет положительное значение, а в результате инвестиционной – отрицательное, по мнению Иваниенко В.В. и Яценко Л.С., речь идет о нормальном качестве управления предприятием. По нашему мнению, с точки зрения оценки финансовой безопасности, идентификация её уровня как нормального, требует положительного значения по статье «Чистое движение денежных средств за отчетный период», на что в целом и делается акцент авторами. Как отмечалось выше, финансирование инвестиционной деятельности за счет поступлений от финансовой деятельности не всегда является негативным моментом, наоборот, это достаточно распространенное явление, которое имеет объективные предпосылки. По нашему мнению, о нормальном уровне финансовой безопасности отечественного предприятия можно утверждать лишь в том случае, когда весомым источником осуществления инвестиционной деятельности являются собственные финансовые средства, полученные в результате осуществления эффективной операционной деятельности, а полученные займы играют роль дополнительного источника и по объему не превышают собственные ресурсы. Во время оценки, безусловно, должны учитываться индивидуальные особенности бизнеса, однако если «финансовый приток» не содержит долгосрочные кредиты и в то же время является основным источником «инвестиционного оттока», то предприятие должно рассматривать такую тенденцию как достаточно опасную (которая с высокой вероятностью толкает предприятие в «кредитную ловушку»). Позиция может быть смягчена, если предприятие относится к отрасли с высокой оборачиваемостью капитала.

Состояние предприятия, в котором чистое движение средств в результате инвестиционной и финансовой деятельности имеет положительное значение, а в результате операционной – отрицательное, противоречит представлению о финансовой безопасности и может быть охарактеризовано как финансовый кризис.

Оценивая предложенную модель с точки зрения определения практической целесообразности её применения в деятельности предприятий, следует отметить следующие моменты. Предложенный подход ориентирован, прежде всего, на отражение зависимости качества управления предприятием от структуры его денежных потоков и выполняет данную функцию, учитывая весь спектр финансовых отношений и основных финансовых решений. Данная особенность отражает характер распределительных отношений предприятия, связанных с формированием и использованием его финансовых ресурсов и охватывает все направления финансовой деятельности – инвестирование, финансирование, управление активами, которые реализуются в движении денежных средств. Однако использование приведенного подхода как методического инструментария оценки финансовой безопасности предприятия требует не только акцентирования внимания на направленности денежных потоков, но и доработки теоретических положений и их реализацию в математическом измерении или внедрении в конкретном программном обеспечении с определением четких пределов и разграничением возможных ситуаций.

Не лишена данного недостатка и другая более конкретная система анализа движения денежных средств, построенная с целью осуществления управления, планирования поступлений и использования денежных средств, а также обеспечения их сбалансированности [14]. В отличие от предыдущего подхода данная методика, которая основывается на взаимосвязи движения денежных средств между хозяйственными операциями (относящимся к операционной, инвестиционной и финансовой деятельности) получила последующее развитие в работе Е.В. Виноградовой, А.В. Ластовенко и Т.В. Белополюской. В данной работе разработана ситуативно-аналитическая модель «достаточность – способность к финансированию – рациональность» [4].

Данная модель представляет собой трехмерную систему координат, пространство которой является совокупностью разнообразных значений трех коэффициентов:

- 1) покрытие платежей финансовой деятельности;
- 2) способности денежных потоков к финансированию расходов инвестиционной деятельности;
- 3) рациональности использования денежных средств.

Предприятие, имеющее определенное соотношение величин указанных показателей после сравнения с базой (которая для всех коэффициентов равняется 1), занимает соответствующую позицию из девяти возможных.

Очевидным преимуществом такого подхода является выделение системы позиций идентификации состояния субъекта хозяйствования и графическая визуализация результатов. Вместе с тем по смысловой нагрузке задачи ситуативно-аналитической модели – определение достаточности, способности к финансированию и рациональности, скорее, напоминают подходы к оптимизации структуры капитала, чем претендуют на критерии оценки уровня финансовой безопасности предприятия. Подтверждением этого являются работы И.А. Бланка, А.А. Мазараки, Л.А. Лигоненко и Н.Н. Ушаковой, в которых предложено осуществлять оптимизацию структуры капитала по критериям политики финансирования активов, минимизации стоимости, эффективности использования [15, 16].

Подводя итог, отметим, что, на наш взгляд, все перечисленные выше подходы к анализу денежных потоков на микроуровне имеют ряд недостатков, которые серьёзно усложняют и ограничивают их применение как инструмента оценки финансовой безопасности предприятия.

1. Предлагаемые системы показателей анализа денежных потоков необоснованны и недостаточны для комплексной оценки финансового состояния предприятия, в связи с чем не обеспечивают точность оценки уровня финансовой безопасности предприятия.

2. Методические подходы к оценке эффективности управления денежными потоками являются универсальными и не учитывают отраслевые особенности, которые могут существенно влиять на определение критериальных пределов индикаторов.

3. Отсутствие выделения системы ситуаций и четких критериальных пределов идентификации уровня финансовой безопасности предприятия не позволяют охарактеризовать уровень её потери и определить источники и пути укрепления.

4. Невозможно получить комплексную оценку уровня финансовой безопасности из-за того, что комплексный показатель не рассчитывается, а оцениваются только значения отдельных индикаторов, что, кроме этого, усложняет оценку динамики финансового состояния предприятия при изменении значений отдельных индикаторов в противоположных направлениях.

Учет отмеченных недостатков существующего методического обеспечения оценки финансовой безопасности предприятия на основе исследования его денежных потоков в условиях изменчивости и неопределенности рыночной среды является предметом дальнейших исследований авторов этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храпкина В. Анализ подходов и методов определения финансовой безопасности предприятия / В. Храпкина // Экономический анализ, 2011. Вып. 8. Ч. 2. С. 359-364.
2. Барановський О.І. Фінансова безпека в Україні (методологія оцінки та механізм забезпечення): монографія / О.І. Барановський. К.: Київ. нац. торг-екоп. ун-т, 2004. С.759.
3. Фінансова безпека підприємства: навч. посібник / Т.Б. Кузенко, Л.С. Мартюшева, О.В. Грачов, О.Ю. Литовченко. Харків.: ХНЕУ, 2010. 300 с.
4. Виноградова Е. В. Оптимизация управления денежными потоками предприятия : монография / Е.В. Виноградова, А.В. Ластовенко, Т.Б. Белопольская. Донецк : ДонДУЕТ, 2007. 194 с.
5. Шеремет А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности / А.Д. Шеремет. М.: ИНФРА – М, 2006. 415 с.
6. Іваниенко В. В. Финансовый анализ : учеб. пособие / В.В. Іваниенко, Л.С. Яценко. Х.: ХГЕУ, 2001. 192 с.
7. Лігоненко Л. О. Управління грошовими потоками : навчальний посібник / Л.О. Лігоненко, Г.В. Ситник. К. : КНТЕУ, 2005. 255 с.
8. Савчук В. П. Управление финансами предприятия / В.П. Савчук. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 480 с.
9. Головка В.І. Економічний аналіз грошових потоків у підвищенні ефективності використання фінансових ресурсів підприємства / В.І. Головка, Г.В. Мисака // Економіка. Проблеми економічного становлення. Вісник. 2010. №1. С. 55-71.
10. Колесник М. Методы финансового анализа или денежный поток как панацея бизнеса / М. Колесник // Стратеги финансов. 2003. № 9. С. 37-44.
11. Костирко Л.А. Інформаційно-аналітичний інструментарій моніторингу грошових потоків підприємств / Л.А. Костирко // Науковий вісник ДАСОА, 2007. №2. С. 105 – 111.
12. Власова Н. О. Формування оптимальної структури капіталу підприємств роздрібної торгівлі / Н.О. Власова, Л.І. Безгінова. Харків: ХДУХТ, 2006. 160 с.
13. Рентабельність операційної діяльності підприємств за видами економічної діяльності у 2011 році [Електронний ресурс] <http://www.ukrstat.gov.ua>
14. Ластовинко А.В. Анализ денежных потоков предприятия в условиях перехода к рыночной экономике / А.В. Ластовинко // Економіка промисловості. 2002. № 2(16). С. 108-116.
15. Мазаракі А.А. Економіка торговельного підприємства. Підручник для вузів / А.А. Мазаракі, Л.О. Лігоненко, Н.М. Ушакова; під ред. Н.М. Ушакової. Київ: Хрещатик, 1999. 800 с.
16. Бланк И.А. Основы финансового менеджмента: в 2 т. / И.А. Бланк. Киев: Ника-Центр, 1999. Т. 1. 592 с.

Гросул Викторія Анатольевна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри «Економіка підприємств харчової та торгівлі» Харківського державного університету харчової та торгівлі, Україна

Антонова Елена Викторовна – соискатель кафедри «Економіка підприємств харчової та торгівлі» Харківського державного університету харчової та торгівлі, Україна

Victoriya A. Grosul – Dr. Sc., Professor
Department of Economy of Enterprises,
Food Technology and Trade,
Kharkov State University of Food Technology
and Trade, Ukraine

Yelena V. Antonova – Postgraduate
Department of Economy of Enterprises
of Food Technology and Trade,
Kharkov State University of Food Technology
and Trade, Ukraine

Статья поступила в редакцию 20.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 658.7

А.Е. Ерина, Ю.А. Ананкина

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРОЕКТ-МЕНЕДЖМЕНТА

Рассмотрены методологические основы формирования логистической системы с применением проект-менеджмента, использования работы в проектных

группах. Предложены рекомендации по применению принципов работы в группах, сформулированы условия их эффективной работы, обоснованы правила работы в группах как условие успешного проектирования логистической системы.

Логистическая система, проект-менеджмент, процесс, информационный поток

A.E. Erina, Yu.A. Anankina

METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATING THE LOGISTICS SYSTEM BASED ON THE PROJECT MANAGEMENT

The article considers the methodological basics for creating the logistics system with application of the project management and using work in the project groups. Recommendations for application of the principles of team work are given, and conditions for their effectiveness are formulated. The rules of team work as a condition for the successful design of the logistics system are presented.

Logistics system, project management, process, information flow

Центральной проблемой многих проектов создания логистических систем является своевременное, всеобъемлющее, необходимое и экономичное информационное обеспечение реализации потоковых процессов в этой системе. При проектировании должны быть применены такие методы, которые позволяют, с одной стороны, снизить затраты, с другой – систематически получать сравнимые данные. Для содержательного определения хода подготовки данных необходимо определить информационную потребность подготовки процесса проектирования. Как известно, при использовании логистического подхода объектом управления становится поток [3]. Чем четче будет определено, на какие вопросы при исследовании мы должны ответить, тем лучше можем определить необходимые данные, степень информационной детализации, а также объем и время исследования. Исходя из этих предпосылок, выбираются подходящие методы.

В качестве примера можно назвать метод «глазами посетителя». Речь идет о том, чтобы вскрыть «узкие места», которые можно увидеть при посещении предприятия, являющегося объектом формирования логистической системы. Из результатов вытекают такие методы как причинно-следственные связи или диаграммы Ишикавы, используемые для систематизации причин проблем. Организация работы в проектных группах по созданию логистических систем базируется на определенных методологических принципах. Проведем более подробно содержание и реализацию этих принципов на примере логистических систем.

Проекты логистических систем создаются для решения проблем, которые порождаются влиянием внешней и внутренней среды в условиях видения текущей сложности и повышения требований к цели, качеству и затратам в рамках эффективных групп. Это, однако, не означает, что все работы по проектированию должны передаваться группам. Напротив, через улучшение координации и согласования достигается то, что многие из задач могут быть делегируемы отдельным сотрудникам. Именно декомпозиции по задачам и методам проект-менеджмента поддерживают процесс решения проблем, так как они позволяют в заданных рамках лучше использовать располагаемые ресурсы. Методы работы в группах делают возможным, прежде всего, быстрее изучать проблему и реакцию на отклонения, улучшать координацию подзадач, а также обеспечить дисциплинированную ориентацию на заданную цель. Однако методы не могут улучшить сами по себе социальные процессы, т.е. качество коммуникации и кооперации. Это должно достигаться благодаря определенным принципам работы в группах.

Для того чтобы фактически реализовать преимущество работы в группах, необходимо конкретизировать, что понимать под эффективной группой и какие условия должны быть созданы для успешной её работы. Можно ли считать, что многие люди, которые работают вместе, уже творческая группа? Скорее всего, нет. Группа обозначается, прежде всего, через общую цель, совместную организацию работы и через особые коммуникационные и координационные структуры.

Эффективная группа должна отвечать следующим требованиям:

- обязана работать на общую главную цель;
- организуется и организует работу самостоятельно;
- ответственна за свою работу и ведет её сама;

- открыта «вовне и внутрь»;
- работает на совместных доверительных отношениях;
- получает результат больший, чем её отдельные участники группы.

Далее определим условия для успешной работы в группе.

Для того чтобы начать плодотворно работать в группе, должна быть задана некоторая предпочтительная основа, которая уже заложена в философии проектной работы: это доверие к ответственным руководителям, способным быть лидером группы. Лидер призван создавать сотрудникам игровое пространство для действий и решений, использовать его для проведения соответствующее обучение сотрудников, чтобы они могли вписаться в это пространство группы и соблюдать общие интересы.

Для эффективной работы группы должны быть выполнены следующие условия (рис. 1).

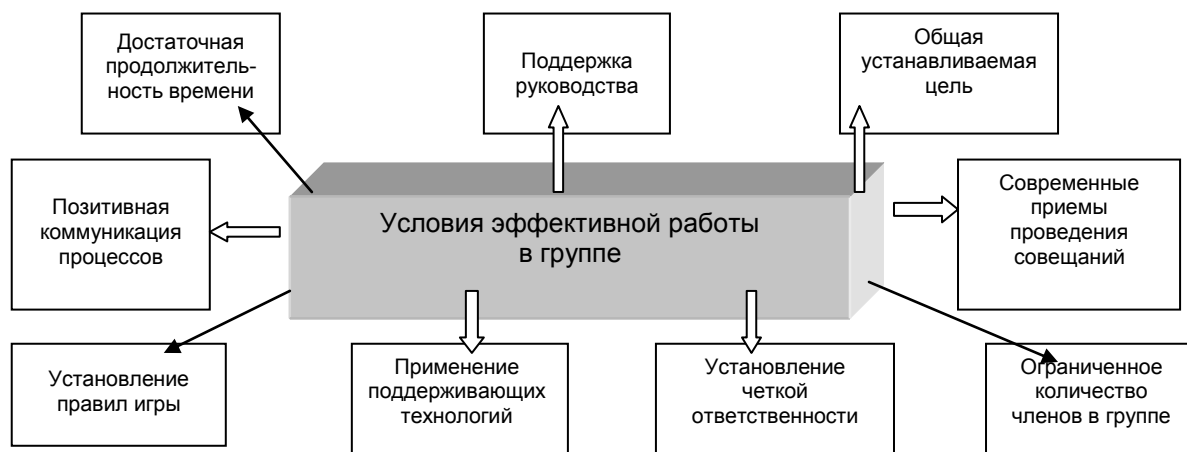


Рис. 1. Условия эффективной работы в группе

Одним из условий работы в группе является общее (совместное) понимание плановой цели и необходимой для этого работы. Это должно быть решено с самого начала, так как члены группы обычно имеют разные интересы и точки зрения. Поэтому сначала надо сформировать базис работы, для чего должны быть определены временные рамки.

Если ответственность за проект не установлена, не представлены временные рамки для работы над проектом, то нельзя добиться снижения калькулируемых затрат и могут возникнуть дополнительные затраты. Члены группы будут перегружены и не мотивированы, а планируемые показатели неточными или ошибочными. Это скажется затем на реализации решений по проекту. Далее возникают также значительные некалькулированные затраты, обусловленные трудностями протекания процессов, потребностью в улучшении. Время, которое дополнительно требуется для планирования работы, связано с обеспечением дополнительных инвестиций.

Поддержка руководства

Процессы в группе протекают по определенным фазам, например фазы работы с клиентами или фазы, ориентированные на отдых. Поэтому результат проектной группы не является краткосрочным и быстро определяемым. Это зависит от поддержки, например, своего руководителя. Если у группы нет поддержки и интересы в результате своей работы незначительны, то в группах развивается очень быстро апатия, так что члены группы не мотивированы и работа в группе непроизводительна.

Общая устанавливаемая цель

Члены группы отличаются по их мотивации, интересам, способностям, подготовленности, знаниям и – как важнейший признак – по их статусу. Поэтому различные способы выполнения заданий и обработки данных для членов группы становятся проблемой. Потенциал решения проблем группы только тогда будет оптимально использован, когда цель совместно установлена и воспринята, а также проводимые акции (активности) по отдельности и в целом должны быть согласованы. Это особенно важно как для эффективности плановой работы, так и для внутрипроизводственной цели проекта и его результатов.

Позитивное протекание процессов коммуникации

Чтобы согласовать и упорядочить различные мотивы, цели, интересы членов группы, необходимо позитивное протекание процессов с учетом того, что коммуникация является главной предпосылкой компетентного профессионального руководства группой. Правильно построенная структура заседаний, например через визуализацию дискуссий, важнее, чем защита от конфликтов и их нейтра-

лизация. Результаты сравнения интересов и решения конфликтов должны быть документированы и служить основой для дальнейшей совместной работы.

Поддержка модератора

Именно на начальной фазе организации проектной работы специально, пока еще конфликтные ситуации не стали выходить из под контроля, модератор должен построить работу так, чтобы возможные колебания, ошибочные рассуждения или скептические представления были противопоставлены кооперативному способу работы. Модератору следует обратить особое внимание на то, чтобы члены группы, обладающие индивидуальными особенностями, например способностью к риторике или организаторскими возможностями, не могли использовать работу в группе для достижения только персональной цели. Как правило, эффективный модератор в противоположность производственнику должен быть объективнее в оценке каждого участника группы и располагать специфичными знаниями проблемы. Его задача состоит в том, чтобы быть более нейтральным, а его критика должна иметь более конструктивный характер. Поэтому в большинстве случаев привлечение эффективного модератора ведет к повышению дисциплины труда и объективности.

Формальная точка зрения

Работа в группе требует соблюдения формальной точки зрения на что-либо. Так, например, численность групп или продолжительность заседаний – важнейшие рамочные условия для создания продуктивной доверительной атмосферы. Именно с учетом этих условий должны обсуждаться в группе отдельные точки зрения и предложения, обобщаться мнения участников при соблюдении требования транспарентности. Важным является также протоколирование работы в группе, установление определенных правил игры, чтобы поддерживать ход заседаний группы.

Основные техники работы в группе

Главная цель большинства техник работы в группе – создание большего пространства для идей и суждений благодаря структуризации и систематизации. К основным техникам относятся игровые правила коммуникации, визуализация и модерирование. Правила игры образуют базис совместной работы, и их необходимо соблюдать, постоянно проверять и приводить в соответствие с задачами. Сформулируем правила игры для групповой работы:

- Каждый признает другого как равноправного партнера.
- Роли, например, руководитель дискуссии, должны постоянно меняться.
- Мнения должны постоянно высказываться и озвучиваться: молчание означает несогласие и неодобрение.
- Слушать важнее, чем говорить.
- Никаких резких, критичных фраз при сборе идей.
- Конфликты «не раздувать», а погашать.
- Различия мнений – это источник информации, но не факторы помех.
- Внутри группы нужно критиковать, но не отвергать идеи сразу.
- Быть готовым периодически на все предложения о решении ставить вопросы и высказывать также собственные представления.
- Идеи других участников группы развивать дальше, но не копировать.
- Снижать различия в понимании информации, новые знания постоянно сообщать группе.
- Все необходимые данные (документация) должны быть представлены в группу в любое время.
- Решения должны быть максимально согласованы.
- Никто не вводит новых активностей, которые не были ранее совместно обсуждены.
- Содержание правил игры постоянно контролируется и при необходимости корректируется.

Визуализация

Главным вспомогательным средством заседаний группы является визуализация. Идеи, мнения и решения должны быть наглядно – письменно или графически – представлены для всех участников группы на доске или экране. Благодаря этому создаются условия для лучшего обзора, повышается восприятие материала, создаются условия для обобщения и дальнейшей обработки отдельных задач. Хороший пример для этого – техника карточек. Для этого каждому участнику группы выдаются карточки, на которых они кратко, емко, четко («как пословицу») записывают свои идеи по отдельным поставленным целевым вопросам. Карточки через заранее определенное установленное время собираются и прикрепляются на доску, где они по определенным, заранее разработанным критериям и основным понятиям упорядочиваются. Эта структуризация идей позволяет затем узнать большинство значимых задач, последовательное решение которых может привести к цели.

Модерирование

Модерирование – процесс осуществления контроля за поведением аудитории какого-либо сетевого ресурса, созданного для интерактивного общения. Как правило, это имеет отношение к размещаемой пользователями информации [5]. Модерирование осуществляет человек, который обобщает высказывания членов группы в рамках тематики дискуссии по проекту.

Для того чтобы выработанные при работе в группе правила игры соблюдались, эффективно применялись вспомогательные средства и инструменты, соблюдался ход работы, а также обеспечивалось раннее распознавание неясностей и конфликтов, собрания группы должны быть лучшим образом модерированы. Для этого необходимо обучение модераторов, обусловленное выполнением задач, требованиями специальных знаний и готовностью решения инновационных задач. Правила модерирования предложены на рис. 2.

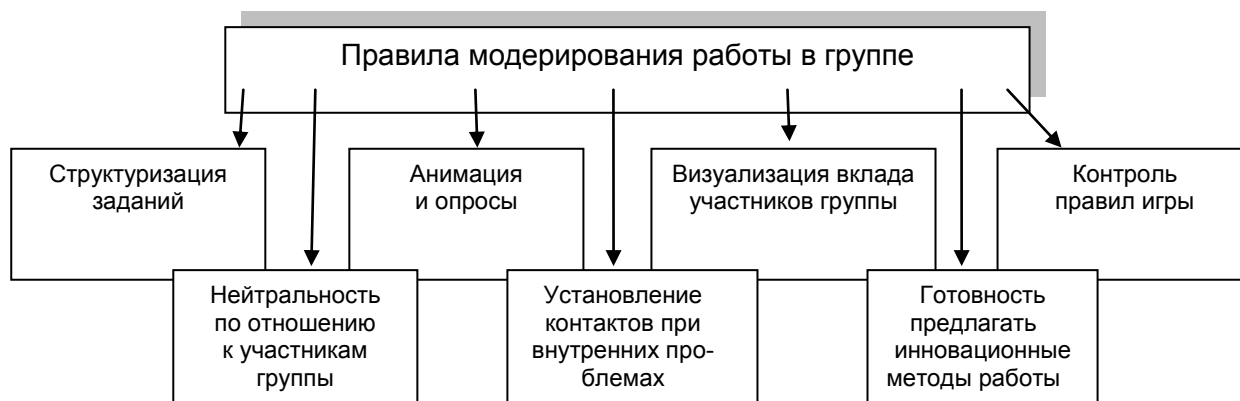


Рис. 2. Правила модерирования работы в группе

В современных условиях при проектировании логистических систем или цепей поставок применяется инновационная модель оптимизации сети (network optimization model, NOM) как средство, позволяющее выбирать оптимальные источники материалов, инфраструктуры производственных и логистических мощностей, характеристик процессов и потоков в масштабах всей цепи [4]. Это развивает методологические основы формирования логистической системы с использованием проектных групп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пахомова А.В. Логистика научно-технической организации / А.В. Пахомова, В.В. Долбилов; ред. А.В. Пахомова; Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов: СГТУ, 2005. 160 с.
2. Санков В.Г. Процедура и инструменты оптимального прогнозирования потоков капиталов в инновационно-логистических сетях / В.Г. Санков, Е.А. Юфин // Вестник СГТУ. 2011. №1. С. 240-245.
3. Систематизация логистических потоков и их аналитическое описание / В.И. Бережной [и др.] // Коммерция и логистика: сб. науч. тр. Вып. 6/ под ред. В.В. Щербакова, А.В. Парфенова и Е.А. Смирновой. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2007. С. 20-24.
4. Управление цепями поставок: справочник издательства Gower / под ред. Дж. Гатторны (ред. Р. Огулин, М. Рейнольдс); пер. с 5-го англ. изд. М.: ИНФРА-М, 2008. 670 с.
5. <http://glossary.ccteam.ru/m/moderirovanie.html>

Ерина Анна Евгеньевна – аспирант кафедры «Менеджмент туристического бизнеса» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anna E. Erina – Postgraduate Department of Tourism Business Management Gagarin Saratov State Technical University

Ананкина Юлия Александровна – аспирант кафедры «Менеджмент туристического бизнеса» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Yulia A. Anankina – Postgraduate Department of Tourism Business Management Gagarin Saratov State Technical University

Ю.В. Евсева

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНОЙ КОРПОРАЦИИ

В настоящее время изучению транснациональных корпораций уделено большое внимание. Но тем не менее единого понятия ТНК пока нет. Рассмотрены различные подходы к определению транснациональной корпорации. Определено понятие ТНК.

Мировая экономика, транснациональные корпорации, трансграничные операции, инвестиции, национальная экономика

Yu.V. Evseva

APPROACHES TO DEFINING THE TRANSNATIONAL CORPORATION

The study of transnational corporations is at the focus of the current research. However so far there has been no uniform concept of the transnational corporation. The article deals with the various approaches to the definition of the transnational corporation. The concept of the transnational corporation has been defined.

World economy, transnational corporations, cross-border operations, investments, national economy

Одной из наиболее значимых тенденций развития мировой экономики в современном мире является нарастание процессов интеграции, углубления взаимодействия воспроизводственных структур разных стран на различных уровнях и в различных формах, чему особенно активно способствует деятельность транснациональных корпораций.

Изучению деятельности транснациональных корпораций уделено значительное внимание со стороны отечественных и зарубежных ученых. Подходы к изучению различных аспектов деятельности ТНК сформировались в 60-х гг. XX в., авторы этих подходов пытались объяснить сущность транснациональной корпорации, особенности их развития и влияние на международные экономические отношения и национальную экономику в целом.

Но все же в силу сложности и многогранности рассматриваемого явления единого понятия транснациональной корпорации до сих пор не сформировано. Корпорации называют многонациональными, транснациональными, планетарными, глобальными, мировыми, межнациональными, супернациональными, наднациональными, интернациональными, международными и др. Такое многообразие терминологии отчасти объясняется тем, что при анализе деятельности корпораций для их характеристики используются различные критерии как количественного, так и качественного порядка. Кроме того, западные ученые, стремясь подчеркнуть тот или иной аспект деятельности корпораций, используют определение, которое концентрирует внимание на выбранном аспекте анализа. Однако практически во всех определениях транснациональные корпорации рассматриваются как корпорации, осуществляющие деятельность международного характера и следовательно являющиеся субъектами международных экономических отношений.

В отечественной и зарубежной экономической литературе существуют различные подходы к определению транснациональной корпорации.

Зарубежные исследователи при определении сущности транснациональной корпорации повышенное внимание уделяют их монополистической природе. Например, Ч.П. Киндлебергер непосредственно связывает теорию роста фирмы с теорией монополии и приходит к выводу о необходимости выхода деятельности корпорации за рамки национальных границ, поскольку фирма должна постоянно расти за счет усиления своих монополистических преимуществ [1].

Исследователь Дж. Гэлбрейт связывает необходимость трансграничных операций ТНК технологическими причинами и отмечает, что из-за повышенной сложности современной продукции по сравнению с традиционной ее производство, сбыт и обслуживание требуют создания за рубежом со-

ответствующих сетей производственных, сбытовых и других функциональных филиалов. Решение данной задачи по силам лишь транснациональным корпорациям [2].

Дж. Даннинг представляет ТНК как предприятие, осуществляющее прямые зарубежные инвестиции и владеющее или контролирующее механизмы получения сверхприбыли более чем в одной стране [3].

Существуют и другие подходы, учитывающие количество стран, в которых корпорации образуют свои филиалы, величину оборота филиалов в общем объеме продаж корпорации в целом, национальную принадлежность капитала и т.д. Например, по мнению американского экономиста Дж. Макдональда, если 20% капитала корпорации инвестированы в заграничные предприятия, то она может считаться не международной, а транснациональной, поскольку при достижении именно этого уровня происходит критический поворот в управлении от национальной к глобальной ориентации [4].

Ряд ученых-экономистов учитывает общую сумму прямых заграничных инвестиций по отношению к активам корпорации в целом, количество работающих в зарубежных филиалах, склонность высших управляющих к национализму или глобализму, характер собственности и контроля над филиалами и т.д. К примеру, американский экономист Г. Перлмуттер считает, что решающим фактором, определяющим принадлежность корпорации к категории ТНК, является уровень глобального топ-менеджмента, т. е. способность мыслить и руководить компанией в глобальном масштабе, что определяет соответствующий стиль и методы управления [5].

Существуют и другие точки зрения. По определению Р. Вернона, «институт такой сложности и разносторонности, как многонациональная корпорация, не может быть охарактеризован как имеющий четкие, ясно очерченные намерения. Подобное предприятие представляет коалицию интересов, члены которой сотрудничают в ряде случаев в достижении общих целей, а в других конфликтуют по поводу различных приоритетов» [6]. При таком подходе невозможно выделить категорию ТНК как таковую и определить, принадлежит ли данная рассматриваемая корпорация к ТНК.

Р. Робинсон относит к ТНК корпорацию, в которой зарубежное предпринимательство, как с точки зрения организационной структуры, так и осуществляемых операций, становится равнозначным деятельности материнской корпорации в стране ее происхождения [7]. В этом случае руководство корпорации стремится распределить ресурсы корпорации без учета национальных границ, с тем, чтобы только обеспечить достижение намеченных целей корпорации. Однако принятие решений осуществляется в интересах одной страны, поскольку управление головной корпорацией и владение активами продолжают оставаться национальными. Следует отметить, что последнее обстоятельство имеет большое значение, поскольку источником многочисленных острых конфликтов ТНК с принимающими странами являются действия филиалов (получающих распоряжения от материнской компании), когда они противоречат национальным интересам принимающей страны.

В большинстве публикаций советских и российских исследователей при определении понятия транснациональной корпорации за основной признак принимается осуществление ими трансграничных экономических операций.

Советский экономист А.Ю. Юданов под транснациональной корпорацией понимает фирму, имеющую зарубежные подразделения, причем все элементы международного комплекса ТНК рассматриваются как составные части единого механизма, функционирующего в глобальном масштабе в рамках единой стратегии. Целью формирования ТНК является достижение повышенной устойчивости корпорации в целом к кризисным явлениям в мировой и национальной экономиках [8].

И.В. Зубарев, И.К. Ключников определяют транснациональные корпорации как корпорации, осуществляющие деятельность глобального характера и оказывающие позитивное влияние на международные экономические отношения, активизирующие процессы транснационализации и интеграции экономик отдельных стран. ТНК действуют на основе диверсификации деятельности и расширения сферы деятельности в мировой экономике (по сравнению с национальной) [9].

Российский ученый Э.А. Грязнов определяет ТНК как «фирмы, владеющие или контролируемые производственные активы в двух и более странах» [10].

В.Д. Щетинин особое внимание уделяет системе принятия внутрифирменных решений, которая позволяет успешно осуществлять согласованные действия в различных подразделениях ТНК, работать в соответствии с выработанной единой стратегией, эффективно распределяя между филиалами ресурсы, технологии, ответственность. Согласно Щетинину, «ТНК – это крупные фирмы, построенные на таких финансово-экономических связях между входящими в их состав в различных странах предприятиями, при которых обеспечивается контроль головной компании над всеми сторонами деятельности предприятий ТНК в целях обеспечения наибольшей прибыли» [11].

Из вышеприведенных определений ТНК видно, что каждое из них имеет как различные, так и схожие критерии. В связи с этим единой точки зрения пока не сформировано, и исследователи продолжают предлагать новые формулировки.

Таким образом, основываясь на приведенных выше подходах, в исследовании предложена следующая формулировка понятия транснациональной корпорации. Транснациональные корпорации – это международные фирмы, которые осуществляют деятельность не только в своей стране, но и имеют зарубежные филиалы в нескольких странах и управляют этими филиалами на основе единого механизма принятия решений для достижения конечного результата – получения прибыли и максимизации рынка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щетинин В.Д. Международные экономические отношения: курс лекций / В.Д. Щетинин. М.: Научная книга, 1996. С. 77-78.
2. Гэлбрейт Дж. Экономические теории и цели общества / Дж. Гэлбрейт. М.: Прогресс, 1979. С. 285.
3. Dunning J.H. Economic Analysis and the Multinational Enterprise / J.H. Dunning. London: Allen and Unwin, 1974. P. 13.
4. McDonald J.C., Parker H. Creating a Strategy for International Growth / J.C. McDonald, H. Parker // International enterprise. N.Y., 1962. P. 17-19.
5. Perlmutter H.V. The Tortuous Evolution of the Multinational Corporation / H.V. Perlmutter // Columbia Journal of World Business. Jan. 1969. P. 17-19.
6. Vernon R. Economic Sovereignty in Bay / R. Vernon // Foreign Affairs. Oct. 1968. P. 114.
7. Robinson R.D. International Management / R.D. Robinson. N.Y., 1966. P. 153-154.
8. Юданов А.Ю. Секреты финансовой устойчивости международных монополий / А.Ю. Юданов. М.: Финансы и статистика, 1991. С. 7-8.
9. Зубарев И.В. Механизм экономического роста транснациональных корпораций / И.В. Зубарев, И.К. Ключников. М.: Высш. шк., 1990. С. 15.
10. Грязнов Э.А. ТНК в России. Позиции крупнейших в мире транснациональных корпораций в российской экономике / Э.А. Грязнов. М.: Инограф, 2000. 168 с.
11. Щетинин В.Д. Опыт транснациональных корпораций на пути к мировому рынку / В.Д. Щетинин. М.: МГИМО, 1988. С. 28.

Евсеева Юлия Владимировна – аспирант кафедры «Общая экономическая теория» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова

Yuliya V. Evseeva – Postgraduate Department of General Economic Theory, Saratov Socio-Economic Institute: Plekhanov Russian Economy University

Статья поступила в редакцию 10.08.12, принята к опубликованию 20.02.12

УДК 338.24

О.И. Кузнецов, А.Е. Махметова

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Исследуются теоретико-прикладные аспекты применения инновационных технологий в управлении бизнес-процессами предприятий. Выявлены ключевые инновационные технологии в контексте процессно-ориентированного подхода в деятельности предприятия. Обоснована необходимость развития инновационных технологий в управлении бизнес-процессами на регулярной основе.

Инновации, технологии, бизнес-процесс, управление, предприятие

O.I. Kuznetsov, A.E. Makhmetova

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT OF BUSINESS PROCESSES OF ENTERPRISES

The article explores the theoretical and applied aspects of utilizing innovative technologies in the management of business processes at enterprises. The key innovative

technologies have been identified in the context of process-oriented approach to business. The reasons are provided for the necessity of developing innovative technologies in the management of business processes on a regular basis.

Innovation, technology, business process management, enterprise

Использование инновационных технологий в управлении бизнесом современных предприятий предполагает применение новых форм и способов в развитии производственно-сбытовой деятельности, позволяющие обеспечить повышение их эффективности посредством применения передовых методов и инструментов управления или научных знаний. Эффективное развитие различных систем зависит от происходящих процессов в инновационной деятельности, затрагивающих области науки, технико-технологической сферы посредством социально-экономических преобразований. Появление нововведений носит циклично-волнообразный характер, который обеспечивает постоянное развитие системы, связанный с фазами экономических научно-технических циклов (концепция волн Н.Д. Кондратьева), экономической динамикой воспроизводственных процессов (концепция экономической динамики и циклов Й. Шумпетера), типами инновационного поведения (Л.Г. Раменский), концепцией инновационного прорыва (Ю.В. Яковец).

Под термином инновация (от лат. *innovato* – обновление или улучшение) подразумевают выведение на рынок совершенно нового или усовершенствованного продукта и услуг интеллектуальной деятельности человека, которые обладают высоким научно-техническим потенциалом и новыми потребительскими качествами. То есть инновационные технологии в прикладном аспекте позволяют серьезно повысить эффективность существующей системы.

Отметим, что жизненный цикл инновации включает фазы внедрения, коммерциализации и диффузии, рутинизации (стабильной реализации нововведений) и повсеместного распространения и превращения в традиционный продукт. Говоря об инновациях, в большинстве случаев подразумевают внедрение высоких или наукоемких технологий в деятельности предприятий, тесно взаимосвязанные с серьезными научно-прикладными исследованиями. Однако инновационные технологии требуют огромных затрат в реализации перспективных разработок.

Отметим, что существующая парадигма Ф. Тейлора к началу XXI в. во многом выработала свой потенциал. Следует отметить, что первые принципы функционально-ориентированного подхода были предложены Ф.Тейлором, когда сложные процессы были разделены на простые с выделением функций планирования и контроля. Наряду с этим подобное разделение процессов в деятельности современных промышленных предприятий становится сложным и затратным подходом; к примеру, на производственном предприятии по видам технологических цепочек выделено около 25 процессов, за которыми требовалось закрепить соответствующее количество ответственных руководителей (владельцев процесса).

В этих целях в каждом процессе целесообразно выявить ключевые процессы, что приведет к упрощению модели в целом. Так, авторы (Н.М. Абдикеев, Т.П. Данько, С.В. Ильдеменов, А.Д. Киселев) полагают, что даже автоматизация управления процессами предприятия позволит лишь повысить производительность работ по учету и отчетности, но никак не повлияет на принципы организации управления процессами.

Поэтому есть основания полагать, что утверждения Г. Хамела о том, что нужны новые идеи в подходах к управлению бизнесом, которые могли бы радикально обновить практику менеджмента, являются вполне уместными и своевременными. В частности, Г.Хамел в своих работах выделяет следующие ключевые управленческие проблемы, которые позволят специалистам в полной мере использовать возможности внедрения суперинноваций и создать прочный фундамент для получения необходимых конкурентных преимуществ:

- способность стратегической адаптации бизнеса предприятий к быстро меняющейся бизнес-среде;
- превращение инноваций в каждодневные заботы персонала;
- создание благоприятной атмосферы, способствующей максимальному вовлечению персонала в инновации.

Как показали исследования передовых компаний, занимающихся разработкой и реализацией инновационных проектов, на первоначальном этапе конструирование технико-управленческих решений производится с применением специального программного обеспечения, а затем осуществляется изготовление опытных образцов на средних предприятиях, тем самым оптимизируя затратную составляющую. В этих целях на базе предприятий создаются специальные технопарки под руковод-

ством высококвалифицированных специалистов и разработчиков. Создание технопарка способствует созданию новых рабочих мест, развитию новых технологий, а для предприятий – переходу на инновационное развитие и повышение конкурентоспособности.

Очевидно, что проблематика качественного управления инновационной деятельностью предприятия решается посредством привлечения высококвалифицированных управленцев на основе их непрерывного обучения, что в ряде случаев оказывается недостаточно эффективным. Причины неэффективного использования инновационных технологий в управлении бизнесом предприятия определяются сложностями в их содержании и использовании, а также в восприятии и практическом использовании их из-за принципиальной недостаточности полученных знаний. В этой связи применение инновационных социальных технологий, включающих новые формы электронной коммуникации (Интернет, голосовая почта, рассылка видеопосланий, IP-телефония и т.д.), управление корпоративными знаниями способствуют реализации стоящих перед предприятиями инновационных задач в процессе реорганизации или качественных преобразований системы управления на основе новых управленческих технологий.

Многочисленные исследования показывают, что инновационные технологии сравнивают с передовым методом, в частности с реинжинирингом бизнес-процессов, который радикально перестраивает бизнес-процессы предприятия, синхронизируя цели предприятия и потребительские требования. В противовес реинжиниринговым технологиям многие исследователи рассматривают природу совершенствования ключевых бизнес-процессов на основе системы менеджмента качества. То есть инновационные технологии коренным образом способствуют преобразованию структуры бизнес-процессов, изменяя и моделируя их в соответствии с требованиями среды.

Понимание процессно-ориентированного подхода к управлению предприятиями сведено, во-первых, к системному рассмотрению деятельности организации как совокупности процессов, базирующихся на системе менеджмента качества (ISO 9000:2000); во-вторых, к выделению «сквозных» процессов с последующим их описанием и реорганизацией (Work Flow – IDEF3, ARIS ePC). Отметим, что бизнес-процесс, реализуемый на предприятии, представляет собой набор взаимосвязанных процессов (видов деятельности), которые потребляют ресурсы (материальные, финансовые, трудовые, интеллектуальные и пр.), в результате которых производится определенная группа продукции (промышленная продукция, построенный объект, информационная продукция, управленческое решение и пр.), товаров и услуг, ценная для потребителей.

Важной технологией в управлении бизнес-процессами предприятий промышленности является автоматизация производственной деятельности, что позволяет обеспечить комплексный подход к развитию и совершенствованию бизнеса в целом, в частности снижение рискового профиля, интеграция программных продуктов (Парус, 1С, Oracle E-business suite, ERP, SAP и др.), тем самым повышая надежность и достоверность информационного поля. Безусловно, система автоматизации управления бизнес-процессами предприятий является лишь инструментом, который обеспечивает оперативное получение управленческой, финансовой и иной информации, что в конечном итоге позволяет принимать правильные решения. Следует отметить, что на предприятиях смежных отраслей существуют принципиальные различия в организации и управлении бизнес-процессами, что зачастую делает непригодным использование стандартных технологий типа ERP-систем, поэтому каждое предприятие предъявляет различные требования к информационной поддержке процессов. Подобные задачи решаемы на базе использования и разработок собственных информационных модулей на основе интеграции программного обеспечения (биллинговые системы, САПР) и использования инструментария для создания дополнительных приложений.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что использование IT-технологий в качестве инновационного инструмента в управлении бизнес-процессами с использованием процессного подхода, системы сбалансированных показателей, ITIL позволят решить ряд стратегических задач и повысить эффективность деятельности предприятия на регулярной основе.

В ходе исследования инновационных технологий с позиций процессно-ориентированного подхода к управлению возникает необходимость построения на предприятии процесс поиска, освоения и распространения инноваций. В этой связи уместно четкое определение целей управления инновациями, выделения ответственных (владелец процесса); создание регулярной и регламентированной работы по созданию новой продукции/услуг; оптимизация бизнес-процессов деятельности (ресурсы процесса). Практика инновационных проектов показывает, что зачастую на российских предприятиях процесс управления инновациями отсутствует или работает неэффективно, вследствие чего наблюдается снижение конкурентоспособности.

Итак, для внедрения инновационных технологий на предприятиях необходим регулярный и непрерывный процесс, включающий следующие этапы:

- поиск новых идей, технологий, решений;
- апробация технологий в деятельности предприятия на небольшом участке;
- применение технологии в масштабах всего предприятия;
- оценка окупаемости от применения инновационной технологии (на основе метода дисконтирования).

Отметим, что применение инновационных технологий должно быть синхронизировано со стратегическим планированием и системой бюджетирования предприятия на основе разработки эффективного механизма управления бизнес-процессами с учетом ресурсных возможностей и ограничений, что позволит предприятию перейти на новый качественный уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Госстандарт. ГОСТ Р ИСО 9001-96. Система качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании. М.: ИПК «Изд-во Стандартов», 1997.
2. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента / И.И. Бажин. М.: Изд-во Гос. ун-та «Высшая школа экономики», 2009.
3. Бригхем Ю. Финансовый менеджмент. Полный курс. Т. 1 / Ю. Бригхем, Л. Гапенски. М.: Экономическая школа, 2007.
4. Козырев А.А. Информационные технологии в экономике и управлении: учебник / А.А. Козырев. СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2008
5. Ковалев Г.Д. Основы инновационного менеджмента / Г.Д. Ковалев. М.: Юнити, 2009.
6. Медынский В.Г. Инновационный менеджмент: учебник для вузов / В.Г. Медынский. М.: ИНФРА-М, 2009.
7. Реинжиниринг бизнес-процессов: учебник / Н.М. Абдикеев, Т.П. Данько, С.В. Ильдеменов, А.Д. Киселев. 2-е изд., испр. М.: Эксмо, 2007.
8. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпораций: Манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи. СПб.: Изд. С.-Петербур. ун-та, 1997.

Кузнецов Олег Иванович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского государственного социально-экономического университета

Oleg I. Kuznetsov – Ph. D., Associate Professor Department of Labor Economics and Personnel Management, Saratov State Socio-Economic University

Махметова Айна-Жан Ербулатовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского государственного социально-экономического университета

Aina-Jan E. Makhmetova – Ph. D., Associate Professor Department of Labor Economics and Personnel Management, Saratov State Socio-Economic University

Статья поступила в редакцию 11.09.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 33.81

Ю.П. Куликова

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ВУЗАМИ РОССИИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Одним из условий инновационного развития высшей школы в субъектах РФ является наличие системной региональной политики в области образовательной, научной и инновационной деятельности, определяющей цели, траектории развития данных сфер, ресурсы, требуемые для достижения целей, и механизмы контроля. Развитие межвузовского взаимодействия в регионах может осуществляться по инициативе и при поддержке органов власти.

Инновации, инновационная политика, инновационное развитие, модернизация экономики, управление инновационным развитием

Yu.P. Kulikova

EFFICIENCY OF PERFORMING THE TARGET PROGRAM FOR THE DEVELOPMENT OF NATIONAL EDUCATION BY THE RESEARCH INSTITUTIONS OF HIGHER LEARNING IN RUSSIA

Existence of a whole scale regional policy in the field of education, science and innovation activities is one of the conditions for innovative development of higher education in the Russian Federation. This policy defines the goals, the development trends, the resources required for achieving the objectives, and assessment mechanisms. The development of inter-university cooperation in the regions can be initiated and supported by the government authorities.

Innovation, innovation policy, innovation development, modernization of the economy, the management of innovation development

Осознавая актуальность развития инновационного развития российских вузов, а также необходимость государственной поддержки инноваций в вузах в 2010 г. была создана ассоциация ведущих вузов, ведущих деятельность в области инновационных исследований и разработок. В состав ассоциации ведущих вузов РФ вошли:

1. МГУ им. М.В. Ломоносова
2. Санкт-Петербургский государственный университет
3. Федеральные университеты – 9
4. Национальные исследовательские университеты – 29

Территориальное расположение ведущих инновационных исследовательских центров на базе вузов России представлено на рис. 1.

Особая роль в развитии инновационного потенциала российских вузов отводится национальным исследовательским университетам. Профильное распределение национальных исследовательских университетов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Профильное распределение национальных исследовательских университетов [11]

Профиль	Вузы
Классические университеты	ННГУ, НГУ, ТГУ, ПГУ, МордГУ, БелГУ, ЮУрГУ, МФТИ, СГУ
Вузы технического профиля, в том числе:	
1. Многопрофильные (политехнические)	СПбГУ, МГТУ, ТПУ, ИргТУ
2. Авиационно-технические	МАИ, СамГАУ, КНИТУ (КАИ)
3. Энергетические	МИФИ, МЭИ
4. Электроники и ИКТ	МИЭТ, СПбГУИТМО
5. Минерально-сырьевые	РГУНГ, СПбГГИ
6. Химико-технологические	КНИТУ (КХТИ)
7. Строительные	МГСУ
Медицинский	РГМУ
Экономический	ГУ-ВШЭ
Академический	НОЦ РАН

Концепция национальных исследовательских университетов заключается в новом подходе к модернизации науки и образования, к новым формам выстраивания научной и образовательной деятельности. Принцип интеграции науки и образования, лежащий в основе деятельности высших учебных заведений, позволяет работникам этих заведений совмещать образовательную деятельность с научной, обеспечивая активное внедрение создаваемых при этом новых технологий в экономику, повышение уровня подготовки высококвалифицированных кадров, создание развитой системы переподготовки и повышения квалификации.

Главенствующая цель создания национальных исследовательских университетов – проведение исследований по специализированным научным направлениям, подготовка сбалансированных по численности и квалификации кадров для конкретных высокотехнологичных секторов экономики.



Рис. 1. Территориальное расположение ведущих вузов, вошедших в ассоциацию [9]

Одной из приоритетных целей федеральной целевой программы развития образования на 2011-2015 гг. является поддержка инновационной сферы в деятельности российских вузов. Достижение данной цели предполагает достижение следующих показателей [13]:

1. Доля выпускников вузов, трудоустроившихся на инновационных предприятиях, созданных вузами, от общей численности выпускников вузов (до 20%).
2. Доля студентов, обучающихся по программам, в которые включена возможность реализовать часть программы (в т.ч. стажировки) в зарубежных вузах, от общей численности студентов вузов (до 30%).
3. Доля преподавателей, которые работают в вузах, участвующих в межвузовской кооперации, и имеют возможность проводить исследования на базе других учреждений, от общей численности преподавателей вузов (до 52%).

Финансирование программ инновационного развития вузов, входящих в состав ассоциации ведущих вузов, характеризуется устойчивой тенденцией роста, что отражено на рис. 2.

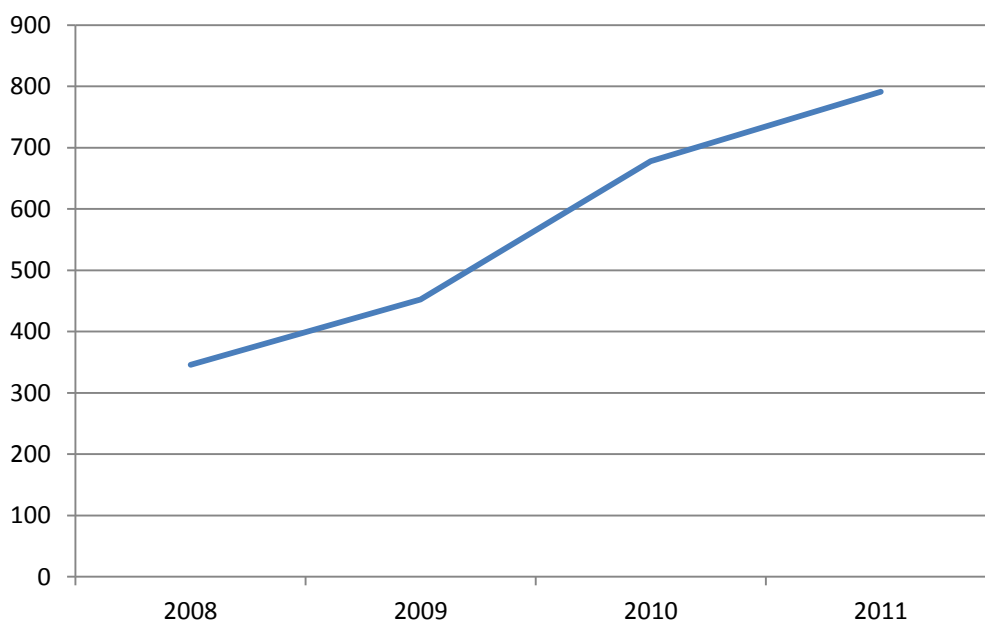


Рис. 2. Динамика объемов финансирования программ инновационного развития вузов РФ, млрд. руб. [15]

Анализируя особенности финансирования инновационной деятельности российских вузов, отметим, что выделяют два основных источника:

1. Государственное финансирование – финансирование в рамках реализации целевых программ и государственной поддержки образовательного и инновационного процессов.
2. Софинансирование – совместное финансирование из внутренних источников вуза и сторонней коммерческой организации.

При этом, распределяя финансирование, выделяют приоритетные вузы (1 очередь финансирования, представленная на рис. 3) и вузы и более низким приоритетом (2 очередь – рис. 4).

Как видно из рис. 3, в структуре затрат на осуществление инновационной деятельности преобладают затраты, финансируемые государством.

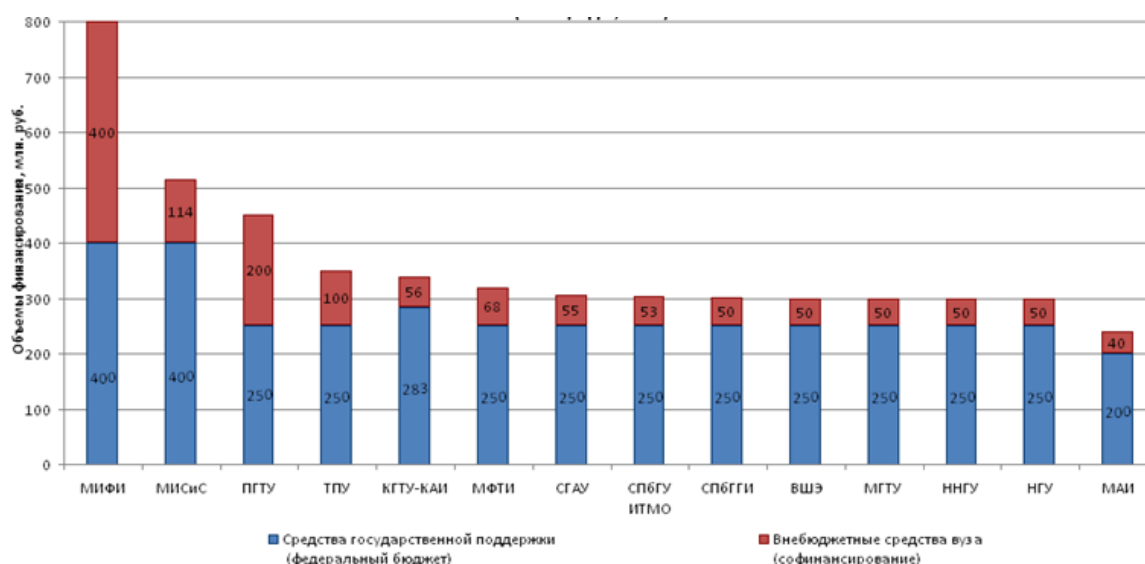


Рис. 3. Структура финансирования программ развития сети НИУ в 2011 г. (1 очередь) [15]

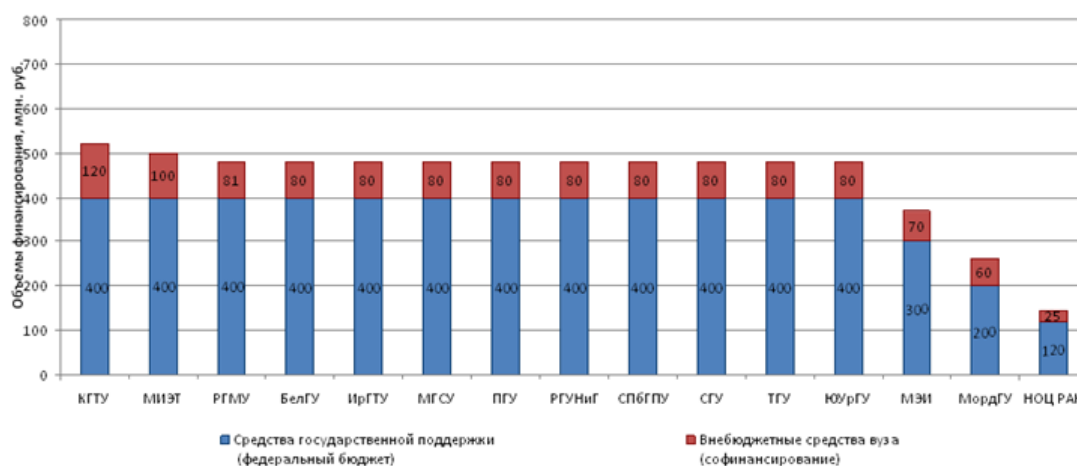


Рис. 4. Структура финансирования программ развития сети НИУ в 2011 г. (2 очередь) [15]

Кроме того, принята концепция развития исследовательской и инновационной деятельности в российских вузах, предусматривающая:

- удвоение объема заказов вузам (включая МИП) на НИОКР со стороны реального сектора экономики;
- удвоение объема высокотехнологичной продукции, выпускаемой МИП;
- не менее 35% ППС участвуют в заказных НИОКР и/или являются профильными сотрудниками высокотехнологичных компаний, и среднестатистический индекс цитируемости ППС в ведущих вузах вырос в 1,5 раза (не менее чем для 50 ведущих вузов страны);
- стажировки не менее 25% студентов в других вузах.

В рамках данной статьи не представляется возможным детально рассмотреть все 29 национальных исследовательских университетов. Поэтому остановим свой выбор на трех наиболее привлекательных:

1. НИУ ВШЭ.
2. Новосибирский государственный университет, где сейчас функционируют бизнес-инкубаторы.
3. СПбГУ.

Данные вузы являются ведущими российскими образовательными университетами.

В рамках мер по совершенствованию механизма государственного регулирования инновационной деятельности в высших учебных заведениях РФ необходимо осуществить следующие мероприятия:

1. Разработать концепцию государственной поддержки малого инновационного предпринимательства в рамках взаимодействия с высшими учебными заведениями как инициаторами и соисполнителями инновационных проектов.

2. Разработать и внедрить единую государственную систему мониторинга инновационной деятельности высших учебных заведений. При проектировании заложить механизм оценки состояния инновационного процесса в вузах РФ, выявлять и фиксировать причины низкой инновационной активности на всех стадиях инновационного процесса, предлагать меры по их нейтрализации на основании бенчмаркинга (исследования лучшей инновационной практики зарубежных и российских вузов).

3. Создать банк данных инновационных проектов вузов, позволяющий распространять передовой опыт управления инновационными проектами в высшей школе, «импортировать» технологии управления инновационными проектами в высших учебных заведениях.

4. На основании полученных результатов мониторинга рассмотреть возможность развития и совершенствования законодательства в сфере инновационной деятельности РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евгеньева А. Консорциум томских вузов и НИИ – по любви или по расчету / А. Евгеньева // Томский обзор. 24.11.2011. URL: <http://obzor.westsib.ru/article/357690>
2. Критерии университета инновационного типа // Нац. исслед. Томск. политехн. ун-т: официальный сайт. URL: <http://past.tpu.ru/html/innov-criteria.htm>
3. Майер Г.В. Инновации и миссия университетов / Г.В. Майер, М.Д. Бабанский // Университетское управление: практика и анализ. 2006. №6 (46). С. 11-16;
4. Обсуждение закона 217-ФЗ о малых предприятиях при вузах и НИИ. ТПП РФ. ИА «Альянс Медиа» http://www.rsci.ru/innovations/small_innovative_enterprises/62181.php
5. Палкин Е.А. Индикаторы инноваций / Е.А. Палкин. М.: Аккредитация в образовании, 2009.
6. Положение о Координационном Центре кадровой поддержки инновационной деятельности. М.: ГОУ ВПО МО «Академия социального управления», 2006.
7. Профессиональное образование в условиях инновационного развития экономики: материалы конф. М., 2008.
8. Путин В.В. О наших экономических задачах / В.В. Путин // Ведомости. Власть. 30.01.2012. URL: <http://www.putin2012.ru/events/149>
9. Рейтинг инновационной активности в России в 2011 году // Ассоциация инновационных регионов России: официальный сайт. URL: i-regions.org/events/Reiting2.doc
10. Российский инновационный индекс / под ред. Л.М. Гохберга. М.: Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2011
11. Управление высшим учебным заведением: учебник / под ред. д-ра экон. наук, проф. С.Д. Резника и д-ра физ-мат. наук В.М. Филиппова. 2-е изд., перераб. М.: ИНФРА-М, 2010. С. 277-295.
12. Современная модель образования: пути реализации. http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d_no=16760

Куликова Юлия Павловна –
соискатель
Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте
Российской Федерации, г. Москва

Yuliya P. Kulikova –
Applicant
Russian Academy of National Economy
and Public Administration under the President
of the Russian Federation, Moscow

Статья поступила в редакцию 11.08.12, принята к опубликованию 20.02.13

О.К. Минева, Р.И. Акмаева, Л.В. Усачева

РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

Российские высшие учебные заведения сегодня представляют собой одно из звеньев рыночной цепи, действующий субъект рыночных отношений. Вследствие этого вузы должны располагать всей широтой современного управленческого инструментария. Многие прогрессивные российские вузы уже внедрили практику разработки стратегических карт, системы сбалансированных показателей, ключевых показателей эффективности, что позволяет им индивидуализировать цели и задачи, которые стоят перед каждым конкретным сотрудником. Опыт разработки стратегической карты развития экономического факультета Астраханского государственного университета примечателен тем, что при ее разработке учитывались требования Всемирной инициативы CDIO.

Вуз, система сбалансированных показателей, стратегическая карта, CDIO, управление факультетом, управление университетом

O. Mineva, R. Akmaeva, L. Usacheva

THE UNIVERSITY DEVELOPMENT STRATEGY ON THE BASIS OF CREATING THE STRATEGIC MAP

At present the Russian higher education institutions are one of the market chain links, and the functioning subjects of market relations. Therefore universities should possess a whole range of modern management tools. Many progressive Russian universities have introduced strategic maps, balanced scorecards, and key performance indicators which allow them to individualize goals and objectives set before each employee. Elaboration of the strategic map for the development of the Economy Faculty at the Astrakhan State University is remarkable due to the fact that it was elaborated taking into account the CDIO Global Initiative.

University, balanced scorecards, strategic map, CDIO, faculty management, university management

Каждая организация, по мнению П. Друкера, действует на основе «своей теории бизнеса», выбирая ту или иную стратегию развития как способ достижения своих стратегических целей в практической деятельности. В данном случае речь идет о концепции стратегического управления, предметом которой выступает выявление источников конкурентных преимуществ и эффективных механизмов их достижения для выживания организации в условиях постоянно изменяющегося окружения. По нашему мнению, в свете достигнутого уровня развития данной концепции как синонима теории важно понимание стратегического управления уже не как теоретической концепции, а как метода, являющегося средством воплощения стратегии и отражающего способ достижения цели – направляемого процесса развития организаций «по определенным ориентирам среди действующих императивов с учетом выявленных приоритетов» [1].

В настоящее время большинство организаций мира (как коммерческих, так и некоммерческих) рассматривают стратегическое управление как непрерывный эволюционный процесс и важность стратегического мышления и управления усиливается в условиях, когда динамичные изменения во внешней среде требуют радикального перехода к осмысливанию стратегических процессов в деятельности организаций. Цель стратегического управления состоит в том, чтобы каждая организация, используя в сегодняшней деятельности те или иные конкурентные преимущества, работала и на свое будущее, закладывая его фундамент. В период быстрых изменений и неопределенности выбор стратегии развития любой организации напрямую связан с исследованием и учетом новых реалий окружающего мира. Новые реалии сами по себе не подсказывают организации, какой курс ей выбрать или как этот курс реализовать, но ставят вопросы, ответы на которые будут основанием страте-

гии каждой отдельной организации. Если у организации нет стратегии, то нет и способа определить, какие действия и решения способствуют достижению желаемых результатов, а какие ведут в ложном направлении и только распыляют ресурсы.

Таким образом, действующие совместно силы глобализации, международной конкуренции, телекоммуникаций и Интернета, пересекающие национальные и культурные границы, и другие особенности пространства инновационной экономики вынуждают всех участников глобальных рынков принять те принципы поведения бизнеса и управления, которых требует глобальный потребитель, а, следовательно, делают стратегию и стратегическое мышление основным методом эффективного менеджмента, который должен быть взят на вооружение всеми современными российскими организациями, в том числе некоммерческими организациями и государственными учреждениями.

Реальное формирование систем стратегического управления в российских организациях началось лишь с переходом к рыночной экономике. По экспертным оценкам, значительная часть руководителей российских предприятий сегодня уже осознает важность и необходимость применения инструментов стратегического управления на своих предприятиях, но лишь немногие из них предпринимают реальные шаги для разработки стратегии, а во многих случаях принятые стратегические планы носят формальный характер.

Крупномасштабных исследований, связанных с оценкой количества российских организаций, занимающихся разработкой и реализацией стратегий, найти не удалось. Данные обследования, проведенного ЦЭМИ РАН совместно с «Российским экономическим барометром» в мае 2004 г., показали, что разработку стратегии считают ненужной лишь 12% предприятий, уже разрабатывают стратегию 56%, а планируют начать – 30%. Но подобные оптимистичные оценки резко отличаются от результатов интегрального анализа стратегических процессов, проходящих на российских предприятиях, проведенного в 2007 году известным российским ученым И.Б. Гурковым. По его оценкам, в целом российские компании до сих пор не слишком утруждают себя составлением детальных стратегических планов: 30,9% предприятий довольствуются планом на уровне общих идей либо вообще набором отдельных проектов (27%); лишь 28,2% предприятий имеют общий план высокой степени детализации и 5,8% – детальный план с вариантами действий при различных сценариях развития, а у 8,1% предприятий стратегических планов и проектов нет вообще [2]. Крупнейшие компании, где есть специальные органы управления (общие собрания акционеров, советы директоров), отдают предпочтение детализированным стратегическим планам, а когда стратегические решения в организации принимает один или несколько человек (генеральный директор, мажоритарный акционер), они стараются ограничиваться лишь отдельными проектами либо вообще действуют вне четкого плана.

Хотя в хозяйственной практике России механизм стратегического управления все еще находится в стадии становления, тем не менее, российский рынок вступил в ту стадию, когда отсутствие разработанной стратегии мешает отечественным организациям на каждом шагу. На наш взгляд, под разработкой стратегии организации следует понимать непрерывный процесс поиска некой общей модели коллективных действий менеджеров всех уровней управления по созданию организационных конкурентных преимуществ, самостоятельно осуществляющих инновационные меры реагирования на изменения внешней среды в рамках выбранного топ-менеджментом общего направления и допустимых отклонений от него, основанный на создании и развитии ключевых компетенций и системы организационного знания.

По мнению Б. Хендерсона, основателя Boston Consulting Group, стратегия – это преднамеренный поиск плана действий, которые будут способствовать развитию конкурентного преимущества компании и станут его неотъемлемой частью [3]. Таким образом, развитие стратегического менеджмента в мире связано с усилением внимания к конкуренции как центральной характеристике окружающей среды и конкурентным преимуществам коммерческих и некоммерческих организаций как главной стратегической цели.

В условиях инновационной экономики сдвиг интереса в сторону системы стратегического планирования стал необходимостью и для органов государственного управления многих стран. В государственном секторе России стратегическим планированием и управлением занимается Министерство экономического развития. В настоящее время на государственном уровне России поставлена задача разработки механизма реализации стратегий путем создания системы стратегического управления. Правительство РФ еще с 2004 года начало строить систему стратегического управления в экономике: «Нас ждет кропотливая работа выстраивания системы стратегического управления» [4]. Вначале это была волна разработки стратегий развития тех или иных секторов экономики, реформирование федеральных целевых программ и превращение их в действительно мощный инструмент развития экономики. Затем стартовали национальные проекты. В 2010 году была развернута

работа по правительственным проектам (более 50) в различных секторах экономики. С 2011 года начинается разработка государственных программ. Действующие программы и стратегии охватывают сейчас уже около половины всей экономики, но до сих пор в стране отсутствует система стратегического управления, и перед правительством РФ стоит сложная задача создать работающий инструмент выработки и реализации стратегических приоритетов, выстраивания промышленной политики.

Таким образом, опыт работы эффективных организаций свидетельствует, что реализация подходящей стратегии является одним из важнейших факторов, способствующих успешной деятельности организаций. Вне зависимости от различного рода ресурсов, которыми обладает организация, именно характер предпринимаемых действий определяет ее успех или поражение, т.е. в основе лежит не объем доступных ресурсов или выбранная сфера деятельности, а выработка той или иной стратегии. Причем успех сопутствует тем организациям, чьи стратегии нацелены на активное использование внутреннего потенциала для изменения внешнего окружения, а не простого приспособления к нему.

Многие исследователи в области стратегического менеджмента высказывают мысль о том, что способность осуществлять стратегию может быть более важна, чем непосредственное содержание самой стратегии. Большинство предприятий, формально не занимающихся разработкой и формулированием стратегии, тем не менее придерживаются принципа поддержания динамического равновесия со своим окружением.

По данным некоторых исследователей, в частности эксперта журнала Fortune по вопросам стратегического управления У. Кичела, в начале 1980-х гг. менее 10 % американских корпораций успешно реализовали свои тщательно спланированные стратегии [5]. Как выяснилось, причиной неудач большинства компаний является не низкое качество самих стратегий, а многочисленные ошибки в их реализации, несогласованность стратегических планов с ежедневной деятельностью сотрудников компаний. Согласно статистике, количество неудач и провалов в осуществлении стратегических планов компаний не уменьшается, несмотря на то, что стратегии становятся все сложнее и при этом они стремятся учитывать все больше факторов, влияющих на состояние дел компании. Исследования Harvard Business School среди компаний Global-1000 выявили общие причины провалов в реализации стратегий (таблица):

Главные причины провалов реализации стратегий в компаниях [4]

Причины провалов реализации стратегий	Присутствие фактора у компаний
Неправильная реализация стратегических целей	97 %
Персонал не знает или не связывает стратегические цели компании со своей оперативной деятельностью	93% персонала компаний
Распределение ресурсов в планах и бюджетах не имеет связи с реализацией стратегических целей компании	Бюджет 73% компаний
Существует выборочный, а не комплексный контроль важных для ведения бизнеса показателей	Только 15% показателей соответствуют стратегии
Мотивация сотрудников направлена на обеспечение текущих финансовых показателей	Всего 24% менеджеров мотивированы на достижение стратегических целей компании
Программы развития бизнеса не учитывают фактора реализации стратегии компании	Только 18% программ развития персонала связаны со стратегией развития компании

Практика свидетельствует, что невозможны разработка и осуществление эффективной стратегии, если у организации нет функционирующего механизма обучения и управления организационными знаниями, т.е. отсутствует система организационного обучения.

Следовательно, в связи с новыми фундаментальными изменениями в окружающей среде успех в новой инновационной экономике стал сопутствовать тем организациям, которые все чаще в поисках конкурентного преимущества обращают взгляд вовнутрь себя, стараясь правильно установить свои ключевые компетенции и способности для определения тех видов деятельности, где организация является лучшей по сравнению с конкурентами. В полной мере это относится и к образовательным учреждениям высшей школы, которые в последние годы в целях наращивания своих конкурентных преимуществ стремительно осваивают сферы, относящиеся к предпринимательской деятельности.

Интеграция российского образования в Болонский процесс повлекла за собой кардинальное реформирование системы высшего образования. Изменение системы финансирования на фоне последствий демографического спада 90-х годов XX в. приводит к ужесточению конкуренции вузов на региональном и общероссийском рынке образовательных услуг. В этих условиях вузы становятся одним из звеньев рыночной цепи, субъектом рыночных отношений. Для обеспечения высокой конку-

рентоспособности они, в первую очередь, должны ориентироваться на современные управленческие технологии и концепции.

Необходимость быстро реагировать на социально-экономические изменения в окружающей среде привела к широкому внедрению в управленческую практику высшей школы элементов системы стратегического управления: миссии, видения, стратегических целей, стратегии и пр. Многие российские вузы внедряют в свою деятельность стратегическое управление, которое является одним из методов, определяющих конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность организации в долгосрочном периоде. Подобное участие всего коллектива вуза, а не только высшего руководства, в разработке единой стратегии позволяет объединить весь персонал вокруг общих целей и конкретных задач поиска и создания конкурентных преимуществ, обеспечить распределение ответственности от ректората до руководителей структурных подразделений (деканов, заведующих кафедрами) без потери управляемости и контроля.

В качестве инструмента управления, позволяющего спроектировать (каскадировать) стратегические цели на уровне оперативного управления вузом, обеспечить своевременный контроль за достижением стратегических целей, согласовать между собой как финансовые, так и нефинансовые параметры развития, многими вузами была выбрана технология управления Balanced Scorecard (BSc), или Система сбалансированных показателей (ССП).

Не случайно новую управленческую технологию СПП, разработанную в 1991-1992 гг. профессорами Гарвардской школы бизнеса Робертом Капланом и Дэвидом Нортоном, эксперты называют самым значимым инструментом менеджмента за последние 75 лет. СПП не заменяет разработку стратегии, а служит инструментом ее успешного выполнения, позволяющим реализовать стратегические планы организации, переводя их на язык операционного управления и контролируя реализацию стратегии на основе ключевых показателей эффективности деятельности. Внедрение СПП позволяет изобразить стратегию в виде карты, на которой стратегические цели разных уровней соединены причинно-следственными связями. Разработкой СПП для российских вузов занимались И.Н. Баранов, Е.В. Бурлюкина, Г.К. Гедро, П.Н. Захаров, Е.А. Косова, Г.И. Лазарев, Ю.Н. Лапыгин, Г.И. Мальцева, С.А. Степанов, Л.Е. Чередникова, М.В. Черепанова, Р.Р. Чугумбаев и др. Основоположники СПП утверждают: «Стратегическая карта – это некое наглядное изображение стратегии, которое на одной странице рассказывает, как интегрированные и скомбинированные цели четырех составляющих складываются в единую стратегию» [6].

Прежде чем заниматься разработкой СПП как формализованной системы управления стратегией, необходимо уделить особое внимание созданию самой стратегии и четкому определению ее основных положений, т.е. построению прочного фундамента здания СПП. Процесс постановки СПП в вузе, как и в любой другой организации, включает выполнение следующих этапов:

1. Разработка стратегических целей.
2. Составление стратегической карты (она наглядно в графической форме показывает логическую причинно-следственную связь между целями).
3. Создание показателей (они позволяют судить о продвижении к цели).
4. Установление целевых значений показателей (чтобы их установить на будущий период, следует иметь их базовые значения, достигнутые к настоящему моменту).
5. Разработка стратегических мероприятий (инициатив, проектов, программ, предложений, которые реализуются для достижения стратегических целей).
6. Внедрение СПП.

При разработке СПП определяется комплексный набор показателей, с достаточной полнотой характеризующий положение дел в организации. Частью системы сбалансированных показателей является стратегическая карта.

Применяя стратегическую карту в качестве основного инструмента стратегического планирования, организация получает возможность комплексно подойти к построению стратегии, не упустив ни одного из важных элементов и настроить всех сотрудников на совместную работу для достижения намеченных целей.

Как правило, стратегическая карта состоит из четырех составляющих: финансовой, клиентской, составляющей внутренних процессов и составляющей обучения и развития.

Финансовая составляющая описывает источники поступления денежных средств (финансирования) для достижения стратегических целей. Для вуза это, в первую очередь, поиск внебюджетных источников финансирования. Анализируя финансовую составляющую, разработчики стратегической карты должны изыскать пути привлечения дополнительных финансовых средств. Это могут быть: расширение спектра платных образовательных и иных услуг, гранты, хоздоговоры и др.

Клиентская составляющая определяет предложение потребительной ценности для целевых клиентов. Потребительское предложение в данном случае – условие, при котором нематериальные активы создают стоимость. Для высших учебных заведений клиентами являются три категории: абитуриенты и студенты, их родители и потенциальные работодатели. Вся деятельность образовательного учреждения должна быть направлена, в первую очередь, на удовлетворение потребностей данных групп клиентов. А для того, чтобы этого достичь, необходимо проанализировать, что конкретно ждет от вуза каждая из этих групп. Так, например, абитуриенты ожидают, что обучение в вузе вооружит их теми знаниями и умениями, которые помогут им стать конкурентоспособными на рынке труда и получить престижную профессию. Того же, в принципе, ждут и их родители. Высокое качество образования создает положительный имидж вузу и в среде потенциальных работодателей, которые желают получить высококлассного специалиста.

Составляющая обучения и развития отражает те нематериальные активы, которые являются наиболее важными для стратегии. Цели этой составляющей устанавливают виды деятельности (человеческий капитал), системы (информационный капитал) и моральный климат (организационный капитал), необходимые для поддержки процессов создания стоимости. Все они должны быть взаимосвязаны и соответствовать основным внутренним процессам [7].

Составление стратегической карты начинается с формулировки Миссии учреждения. Миссия представляет собой основную цель деятельности организации. Она должна быть четко и лаконично сформулирована. Миссия и основные ценности, ей сопутствующие, остаются достаточно стабильными на протяжении всего времени. Так, например, миссия Астраханского государственного университета (далее – АГУ) состоит в стремлении стать международным научным и образовательным комплексом на Юго-Востоке России, формирующим в экономике региона новый научно-образовательный и инновационный кластер.

Для того, чтобы миссия могла реализоваться, необходима концепция этой реализации, или видение. Видение – это краткое, четко сформулированное положение, которое определяет средне- и долгосрочные (от трех до десяти лет) цели организации в рамках сформулированной миссии. Видение АГУ состоит в том, чтобы к 2020 г. занять место среди элитных университетов международного уровня, сочетая научно-исследовательскую и образовательную деятельность. На основе сформулированных миссии и видения компания разрабатывает стратегию достижения данных целей. В рамках разработки стратегии организация должна выбрать такие виды деятельности, которые дают ей конкурентные преимущества на рынке. С помощью построения стратегической карты организация определяет конкретные методы и пути достижения поставленных целей. Как уже отмечалось, в современных условиях вузы стали одним из субъектов рыночных отношений. И для повышения конкурентоспособности на рынке образовательных услуг должны иметь эффективную систему управления. Поэтому часть российских вузов уже несколько лет строят свою работу на основе описанной выше ССП, создают стратегические карты.

В мировой практике есть примеры применения ССП в университетах: в Великобритании – это Университет Эдинбурга (University of Edinburgh), Открытый университет (Open University), Каледонский университет Глазго (Glasgow Caledonian University); в США – Калифорнийский университет (University of California), Государственный университет Огайо (Ohio State University), Purdue University; в Австралии – Университет Ньюкасла (University of Newcastle).

В России с 2004 года ССП применяется во Владивостокском государственном университете экономики и сервиса (ВГУЭС). Система внедрялась поэтапно на протяжении нескольких лет. На первом этапе в течение сентября-декабря 2004 г. была разработана карта целей ССП ВГУЭС. В рамках второго этапа внедрения системы сбалансированных показателей (ССП) были проведены 4 сессии стратегического планирования с участием сотрудников учебных и административных подразделений, обладающих экспертными знаниями в областях деятельности университета. Разработаны показатели и мероприятия, отражающие стратегическое видение подразделений университета. Для каждой цели в университете был разработан набор показателей: результирующие показатели характеризуют степень достижения цели, формирующие – усилия, направленные на достижение цели. Таким образом, в разработку ССП была вовлечена большая часть сотрудников [8]. Северный государственный медицинский университет (СГМУ) также использует в своей деятельности ССП. При разработке сбалансированной системы показателей университет использует модель, состоящую из пяти перспектив: «Общество», «Финансы», «Клиенты», «Процессы», «Потенциал». На вершине системы ССП стратегического развития вуза находится перспектива «Общество», которая отражает суть существования университета, его миссию [9].

МИССИЯ	Факультет стремится обеспечить подготовку высокклассных специалистов, востребованных на региональном, национальном и международном уровнях, обладающих предпринимательским типом мышления, представляющих собой гармонично развитую личность с высоким уровнем патриотизма, ориентированных на удовлетворение общественных ценностей
ЦЕННОСТИ	1. Высокая деловая и научная репутация сотрудников факультета; 2. Формирование у студента активной жизненной позиции, высоких профессиональных компетенций; 3. Удовлетворенность родителей студентов, работодателей и общества результатами деятельности факультета
ВИДЕНИЯ	К 2015 году добиться 100%-х показателей по качеству образования и абсолютной успеваемости, социализации, трудоустройству выпускников по выбранным сферам профессиональной деятельности, 1/3 из которых откроет собственный бизнес

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ

Студенты			Сотрудники		Работодатели, общество, родители		
Овладевают практико-ориентированными знаниями и компетенциями, конкурентоспособны на региональном, национальном и мировом уровнях.	Овладевают предпринимательскими приемами и навыками	Формирование потребности в постановке и достижении бизнесом высоких и благородных целей	Преподаватель стремится достичь высокого уровня профессиональных и научных компетенций для обеспечения конкурентоспособных научных и образовательных услуг на региональном, национальном и мировом уровнях.	Каждый преподаватель осуществляет трансфер инноваций в отраслях народного хозяйства в целях коммерциализации научных и педагогических разработок	Активное участие работодателей в научном и образовательном процессе	Общество должно обеспечить равнодоступность получения высшего образования одаренными детьми, в том числе из малообеспеченных и социально незащищенных слоев населения	Участие родителей в воспитательном процессе и высокая заинтересованность и высокая удовлетворенность результатами деятельности факультета

РЫНОК ПОТРЕБИТЕЛИ	Обучающиеся	
	Абитуриенты (новые клиенты) Расширение охвата новых рынков образовательных услуг (национальных и международных); Адресность работы с потенциальными абитуриентами; Выбор траектории обучения абитуриентами	Студенты Создание условий для овладения практическими навыками (договора практики); Обеспечение высокого качества подготовки выпускника; Получение профессиональных сертификатов по рабочим специальностям согласно выбранной траектории; Содействие раннему выявлению и развитию способности обучающихся; Вовлечение обучающихся в мероприятия факультета, направленные на социализацию и гармонизацию личности

Снижение издержек работодателя в процессе адаптации и социализации выпускника	Содействие развитию концепций общих ценностей	Достижение удовлетворенности родителей трудоустройством конкурентоспособного выпускника
---	---	---

ФИНАНСЫ	Планирование роста контингента платных студентов
	Оптимизация издержек структурных подразделений факультета
	Расширение спектра платных образовательных услуг

ВНУТРЕННИЕ ПРОЦЕССЫ	Разработка УМК ООП направлений подготовки и дисциплин	Подготовка и организация учебного процесса в новом формате (командный, проектный, интерактивный методы, инициатива CDIO), учёт выбора траектории обучения	Достижение полной укомплектованности учебных групп на 1-й день учебного года студентами и преподавателями	Создание условий для благоприятной работы всех сотрудников факультета и социализации студентов	Создание информационной базы выпускников образовательных учреждений	Реализация совместных образовательных программ, перевод ООП на иностранные языки	Создание базовых кафедр	Соответствие стандартам: ФГОС, СМК, преподавателя, проведения лекционных и практических занятий	Создание «сквозной» системы подготовки и распределения выпускников
---------------------	---	---	---	--	---	--	-------------------------	---	--

ПЕРСОНАЛ	Создание эффективной системы привлечения и удержания высококвалифицированных кадров	Развитие менеджерских качеств и предпринимательских навыков у сотрудников, профессиональное творческое развитие, выстраивание отношений со студентами	Привлечение зарубежных преподавателей для ведения учебных курсов	Применение передового опыта при создании программ обучения	Участие большинства ППС факультета в грантовой и хозяйственной деятельности для совершенствования инфраструктурных объектов и материально-технической базы	Создание сквозной системы организационного обучения факультета	Совершенствование системы оплаты труда на основе аттестаций персонала
----------	---	---	--	--	--	--	---

Эффективное и своевременное планирование бюджетных средств
--

Особенности применения ССП в сфере высшего профессионального образования проявляются в том, что вузы как государственные, так и негосударственные, являясь некоммерческими организациями, прежде всего, оценивают социальную эффективность своей деятельности, которая ориентирована на «результат», а не на «процесс». Здесь речь идет не о максимизации прибыли, а о максимизации определенного результата в рамках выделенного бюджета [7].

АГУ позиционирует себя инновационным университетом. Уже несколько лет в вузе внедряются новейшие разработки в области управления. В практику внедрены стандарты CDIO, элементы управления по системе Toyota, теории ограничений Голдратта, шести сигм и др. На сессиях организационного обучения, которые проводят еженедельно деканы и заведующие кафедрами, происходит изучение опыта друг друга по внедрению передовых управленческих технологий в практику работы структурных подразделений вуза. Следуя примеру других вузов, АГУ с января 2013 года начал внедрять в рабочий процесс ССП. Определены Миссия, видение и основные ценности. В стадии разработки находится Стратегическая карта университета. Первоначальный её вариант был представлен для ознакомления на совещании деканов и заведующих кафедрами.

Подразделения (факультеты) в рамках общей стратегии университета создают свои стратегические карты. Так, факультетом бизнеса и экономики (ФБиЭ) была составлена стратегическая карта факультета, в которой представлены миссия факультета, ценности, видение и стратегия. Миссия ФБиЭ заключается в стремлении к подготовке высококлассных специалистов, востребованных на региональном, национальном и международном уровнях, обладающих предпринимательским типом мышления и представляющих собой гармонично развитую личность. Видение дано на среднесрочную перспективу (до 2015 года). К этому времени факультет предполагает добиться 100% показателей по качеству образования и полного трудоустройства своих выпускников. Более подробно стратегическая карта представлена на рисунке.

Мы полностью согласны с Луговым Р.А., что процесс стратегического управления требует регулярной оценки и анализа динамики различных аспектов деятельности организации. Необходимо оценивать не только финансовое положение, но и конкурентоспособность, организацию бизнес-процессов, обеспеченность ресурсами, что в комплексе формирует экономическую устойчивость организации. Такая оценка, особенно применительно к деятельности вуза, должна основываться в большей степени на немонетарных показателях. Государство заинтересовано в оценке экономической устойчивости и инвестиционной привлекательности вуза, как агента по оказанию образовательных услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иншаков О.В. О стратегии развития Южного макрорегиона России: методологические и методические проблемы формирования / О.В. Иншаков. Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. ун-та, 2003. 96 с.
2. Гурков И.Б. Факторы формирования и механизмы реализации стратегических целей российских компаний: доклад на Секции экономики Отделения общественных наук РАН 13 марта 2008 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: // www.gurkov.ru, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.
3. Грант Р.М. Современный стратегический анализ / Р.М. Грант; пер. с англ. под ред. В.Н. Фунтова. 5-е изд. СПб.: Питер, 2008. 560 с.
4. Шамгунов Р.Н. Стратегическое планирование или управление – что выбрать? [Электронный ресурс] / Р.Н. Шамгунов. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/management/strategy/competit/department.shtml>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.
5. Kiechel K. Sniping at Statagic Planing / K. Kiechel. Planing Review, May, 1984. P. 8.
6. Каплан Р. Стратегические карты / Р. Каплан, Д. Нортон // Трансформация нематериальных активов в материальные результаты. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2007. 512 с.
7. Луговой Р.А. Инновационный подход к процессу стратегического управления вузом на основе системы сбалансированных показателей: автореф. дис.... д-ра наук / Р.А. Луговой. 2006. 56 с.
8. Мальцева Г.И. Применение системы сбалансированных показателей в процессе стратегического планирования вуза (на примере Владивостокского государственного университета экономики и сервиса) / Г.И. Мальцева, Р.А. Луговой, Ю.А. Солдатова // Университетское управление. 2004. №5-6(33). С. 96-103.
9. Особенности применения сбалансированной системы показателей в сфере высшего профессионального образования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.strategplann.ru/estatiw/osobennosti-primenenija-sbalansirovannoj-sistemy-pokazatelej-v-sfere-vysshego-professionalnogo-obrazovaniija.html>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.

Минева Оксана Карловна –
доктор экономических наук, профессор
Астраханского государственного университета

Oksana K. Mineva –
Dr. Sc., Professor
Astrakhan State University

Акмаева Раиса Исаевна –
доктор экономических наук, профессор
Астраханского государственного университета

Raisa I. Akmaeva –
Dr. Sc., Professor
Astrakhan State University

Усачева Любовь Вениаминовна –
кандидат экономических наук, доцент
Астраханского государственного университета

Lubov V. Usacheva –
Ph. D., Associate Professor
Astrakhan State University

Статья поступила в редакцию 14.09.12, принята к опубликованию 20.02.12

УДК 371

О.К. Минева, О.П. Ходенкова

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ВОЛОНТЕРСТВО СТУДЕНТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ЛИИ-МЕНЕДЖМЕНТА В ОБРАЗОВАНИИ

Рассмотрены особенности интеллектуального волонтерства в образовательном учреждении и связь данной деятельности с технологией ЛИИ-менеджмента.

Интеллектуальное волонтерство, ЛИИ-менеджмент, устранение непродуктивных действий

О.К. Mineva, O.P. Khodenkova

VOLUNTEERING INTELLECTUAL PROPERTY BY THE STUDENTS AS A TOOL FOR LINE-MANAGEMENT EDUCATION

The article considers the features of intellectual property volunteering at educational institutions, and communicating this activity with the Lean-management technology.

Intellectual volunteering, Lean-management, elimination of unproductive actions

*Не нужно бояться проблем,
они содержат в себе возможности для решения.
Но если Вы не будете искать проблемы,
проблемы разыщут Вас.*

Уильям Эдвардс Деминг

Волонтерство охватывает широкий круг деятельности, включая традиционные формы взаимопомощи и самопомощи, официальное предоставление услуг и другие формы гражданского участия, которая осуществляется добровольно на благо широкой общественности без расчета на денежное вознаграждение¹. Вопреки бытующему утверждению о том, что «каждый труд должен быть оплачиваемым», волонтерство (как уже было сказано) является не только добровольным, но и бескорыстным видом деятельности. Мотивация волонтеров никоим образом не связана с материальным вознаграждением. Следовательно, своеобразной оплатой волонтерства являются некие нематериальные категории. В эпоху смены личностных ценностей одной из главных причин занятия волонтерской деятельностью является ориентированность на социальный успех, на собственное активное участие человека в социально-культурной жизни общества. Волонтерство помогает гражданам чувствовать свою значимость, причастность к событиям, происходящим в регионе, способность влиять на какие-то процессы, совершенствовать их. Волонтерство способствует межкультурной интеграции, развитию патриотизма, формированию толерантности, сопричастности, общению.

Следует рассмотреть и еще один аспект – многие волонтеры относятся к волонтерству как к форме профессиональной ориентации и профессиональной практики. Подобный тип волонтерства можно отнести к интеллектуальному. Интеллектуальное волонтерство, на наш взгляд, это, с одной

¹ Волонтерство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Волонтерство>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.

стороны, особый вид рассматриваемой деятельности, с успехом применяемый в сфере образования, а с другой – осознанная жизненная позиция определенной категории людей, небезразличных к уровню социально-экономического развития региона и страны в целом. Интеллектуальное волонтерство находит свое применение в образовательной среде в связи с тем, что оно способно приблизить процесс обучения в высшем учебном заведении к реальности, представить студентам дополнительную практику, повлиять на их трудовое воспитание.

За последние несколько лет в России заметно возрос интерес к технологиям бережливого производства. Все больше организаций строят свои производственные системы с использованием ЛИН-технологий. Основной идеей ЛИН-менеджмента выступает оценка на каждом этапе производства товаров (в нашем случае предоставления образовательной услуги) ценности для потребителя (студента и общества). Идеология ЛИН-менеджмента предусматривает максимальную оптимизацию бизнес-процессов (научного, образовательного, воспитательного) с максимальной ориентацией на рынок (труда) и учетом мотивации каждого работающего (обучающегося). Опираясь на подобную технологию, интеллектуальное волонтерство рассматривается как один из стандартов ЛИН-менеджмента, адаптированный для сферы образования.

В этой связи интересной представляется возможность применения данной технологии на этапе передачи знаний, навыков и опыта участникам образовательного процесса. Устранение непродуктивных действий (которыми в образовании выступают обучение по устаревшим материалам, оторванной от практики теории) усиливается реализацией интеллектуального волонтерства в студенческом сообществе и позволит, по мнению авторов статьи, затронуть следующие аспекты:

1. Увеличить интеллектуальный потенциал студента.

Проведение традиционных научных мероприятий в виде университетских конференций, олимпиад имеет, как правило, в качестве результата публикацию статей, которые зачастую являются результатам компиляции чужих трудов. В современных условиях это является контрпродуктивным с точки зрения как развития будущего специалиста и ориентации его на возможность научного плагиата, так и практической пользы региону, отрасли, субъектам малого и среднего предпринимательства. Решение реальных проблем малого и среднего бизнеса, помощь региону и отдельным его районам, оказание помощи населению в виде профессионального консалтинга должны воспитывать у студентов правильное отношение к профессии, профессиональной чести и максимальному сближению теории и практики.

2. Углубление социализации.

Работа в так называемых проектных группах, которые могут состоять из студентов разного уровня подготовки и ценностных ориентиров, разных специальностей и направлений, воспитание командного духа позволит сформировать необходимые поведенческие установки и навыки на всю дальнейшую трудовую жизнь.

3. Сокращение времени, которое требуется на адаптацию будущей к профессиональной деятельности.

Практические навыки традиционно делают более эффективным обучение, нежели теоретические курсы. С точки зрения ЛИН-менеджмента практические занятия в университетских стенах, не позволяющие погружаться в проблемно-ориентированную среду, являются непродуктивными. Современный рынок труда заинтересован в выпускниках, готовых (в т. ч. психологически) сразу работать в команде эффективно и продуктивно, с максимально низким периодом первичной адаптации.

Нельзя сбрасывать со счетов и влияние интеллектуального волонтерства на профессиональное развитие профессорско-преподавательского состава. В ходе анализа, проектирования, подготовки к презентации результатов интеллектуального волонтерства в процессе задействуются преподаватели профильных кафедр. Это позволяет последним постоянно обновлять содержание теоретических и практических курсов актуальными примерами из практики, налаживать реальную связь с работодателями, формировать активную жизненную позицию. ЛИН-менеджмент в образовании ориентирован на повышение квалификации профессорско-преподавательского состава в направлении совершенствования способностей к решению практических проблем, что, в свою очередь, приводит к эффекту непрерывного совершенствования процесса обучения. Следует заметить, что любые инициативы сверху, преподаватели, как правило, воспринимают с беспокойством и скептицизмом. В процессе участия в интеллектуальном волонтерстве преподаватели имеют возможность активно реализовывать собственные научные разработки и управленческие решения. Этот опыт позволяет им активнее заявлять о себе на всех уровнях производственной и исполнительной иерархии.

Таким образом, интеллектуальное волонтерство может выступать одним из инструментов ЛИН-менеджмента, приближающих университет к потенциальным работодателям.

Одним из примеров успешного использования интеллектуального волонтерства студенчества в ФГОУ ВПО «Астраханский государственный университет» является реализации проекта «Власть для людей»: группы студентов 3-4 курсов еженедельно в течение полугода выезжали в районы области, изучали на месте социально-экономическую ситуацию, проводили многочисленные социологические опросы, выявляли имеющиеся проблемы, формулировали предложения по улучшению ситуации на местах и выступали с докладами перед Губернатором Астраханской области. Таким образом, студенты не только осуществили апробацию своих профессиональных навыков, выявили «пробелы» в своей подготовке, но и внесли предложения по совершенствованию социально-экономического развития региона. Эти предложения были приняты к сведению Губернатором Астраханской области, который, в свою очередь, получил независимый молодежный взгляд на состояние вверенной ему территории.

На наш взгляд, интеллектуальное волонтерство в отличие от традиционных форм волонтерства имеет свои особенности. Во-первых, информация, подкрепленная практическими навыками, усваивается быстрее и надолго задерживается в памяти. Таким образом, интеллектуальное волонтерство (как элемент ЛИН-менеджмента) ориентировано на сокращение времени, требующегося для усвоения учебного материала, которое достигается за счет оптимального сочетания теории и практики. Во вторых, волонтеры вовлечены в социально-экономическую, культурную жизнь региона, что благотворно сказывается на развитии личности молодых людей, на процессе их социализации, что сокращает время их профессиональной адаптации. В-третьих, интеллектуальное волонтерство выступает интерактивной формой обучения (деловые игры, решение кейсов, мозговой штурм). В-четвертых, данный тип волонтерства помогает раскрыть в молодых людях творческий потенциал, лидерские качества, развить инициативность, находчивость и умение работать в команде. В-пятых, студенты видят конкретный конечный результат своей профессиональной деятельности. В-шестых, осуществляется непрерывное совершенствование профессиональных компетенций профессорско-преподавательского состава. В-седьмых, реализуется одно из основных требований ФГОС 3-го поколения – активное вовлечение работодателей в образовательный процесс и формирование у обучающихся актуальных профессиональных компетенций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сикорская Л.Е. Волонтерство как форма трудового воспитания студенческой молодежи / Л.Е. Сикорская // Проблемы педагогики и психологии. 2009. №1. С. 166.
2. LEAN – Русскоязычные интернет-ресурсы о ЛИН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.leancor.ru/article2/10160>– Заглавие с экрана. Яз. рус.

Минева Оксана Карловна –
доктор экономических наук, профессор
Астраханского государственного университета

Oksana K. Mineva –
Dr. Sc., Professor
Astrakhan State University

Ходенкова Ольга Павловна –
кандидат экономических наук, доцент
Астраханского государственного университета

Olga P. Khodenkova –
Ph. D., Associate Professor
Astrakhan State University

Статья поступила в редакцию 12.12.12, принята к опубликованию 20.02.13

УДК 658.89

В.А. Ольгин

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПОСРЕДНИКА В ЦЕПИ ПОСТАВОК ПРЕДПРИЯТИЙ СФЕРЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Рассматриваются основные проблемы снабжения в цепях поставок предприятий сферы общественного питания. Приводится уточненный алгоритм выбора поставщика в цепи поставок ресурсов для предприятий сферы общественного питания с учетом специфики ресурсного потока. Дается подробное описание каждого этапа предложенного алгоритма.

Цепь поставок, логистический посредник, ресурсы

V.A. Olgin

**THE ALGORITHM OF LOGISTICAL INTERMEDIARIES
IN THE SUPPLY CHAIN OF FOOD SERVICE INDUSTRY**

This article discusses the main supply problems in the supply chain at enterprises in the sphere of public catering. We present an updated algorithm for supplier selection in the supply chain resources for public catering enterprises, taking into account the specifics of the resource flow. A detailed description is made for each stage of the proposed algorithm.

Supply chain, logistics intermediary resources

Моделирование сетевой структуры цепей поставок предприятий сферы общественного питания в современных условиях российской экономики приобретают все большую актуальность в связи с развитием конкуренции и глобализации рынка, с динамичным расширением горизонтальных хозяйственных связей как внутри предприятий, так и между организациями смежных отраслей. Вместе с тем расширяются возможности для улучшения их взаимодействия на основе оптимизации производственной деятельности предприятий общественного питания и повышения эффективности управления бизнес-процессами, оценки интегрального эффекта принимаемых управленческих решений в логистике и управлении цепями поставок. Все это делает актуальным развитие моделей организации цепей поставок в сфере общественного питания для достижения максимальных конкурентных преимуществ и создания дополнительной ценности для клиентов.

Метод выбора и управления поставщиками особенно необходим в условиях более высоких рыночных требований, предъявляемых к современному бизнесу сферы общественного питания. Деятельность поставщиков оказывает огромное влияние на производительность, качество и конкурентоспособность предприятий общественного питания. Современные тенденции к осуществлению закупок вместо организации собственного производства, снижению уровня запасов, интеграции систем поставщиков и производителей определяют потребность в постоянном контроле эффективности поставщика. Однако при организации снабжения предприятия общественного питания зачастую сталкиваются с различного рода проблемами (срыв поставок, партии поставок не успевают к установленному сроку, низкое качество продукции поставщиков и т.д.). Подобные сбои в работе поставок необходимых ресурсов в ресторанном бизнесе может приводить к экономическим потерям организации (упущенная выгода). Это свидетельствует о том, что существуют колоссальные возможности для оптимизации системы закупок.

В свете последних экономических процессов (вступление России в ВТО, все больше аналитиков прогнозируют «вторую волну» кризиса), российские предприятия общественного питания будут вынуждены изыскивать любые возможные пути оптимизации всех функциональных областей своей хозяйственной деятельности.

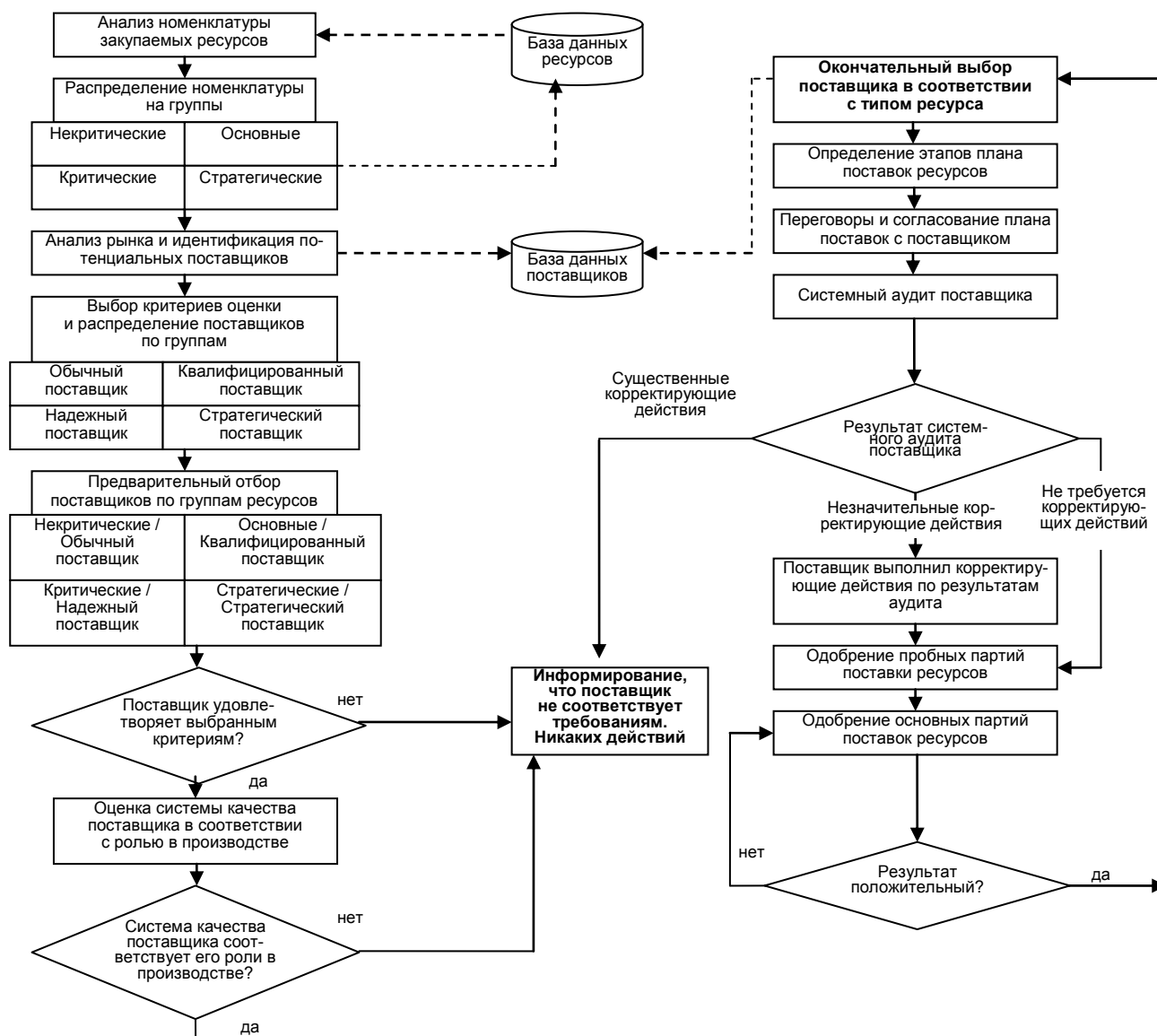
Для рационального выбора логистического посредника в рамках сетевой структуры цепи поставок предприятий сферы общественного питания предлагается использовать следующий алгоритм (рисунок).

Начальным этапом в выборе поставщика является анализ номенклатуры закупаемой продукции. На данном этапе необходимо провести классификацию всех закупаемых ресурсов, используя уточненную классификационную модель ресурсов для предприятий сферы общественного питания [2]. Таким образом, все ресурсы материального потока на предприятии общественного питания будут разделены на три составляющие (критические, основные, некритические). Однако предприятия общественного питания в условиях возрастающей конкуренции вынуждены периодически обновлять позиции в меню, чтобы соответствовать растущим гастрономическим запросам своих клиентов. В связи с этим в рамках концепции выбора поставщиков в сфере общественного питания предлагается ввести еще один тип ресурса материального потока – стратегический. Стратегические ресурсы в сфере общественного питания представляют собой наиболее значимые высокорентабельные материалы, которые сейчас и в будущем будут основными, и из них будет изготавливаться основной продукт, который в настоящий момент находится в разработке.

В сфере общественного питания очень большой процент в общей структуре закупаемой продукции имеют так называемые «проблемные материалы» (как показывают авторские исследования деятельности предприятий общественного питания, от 50 до 65%). Это обстоятельство имеет решающее значение при выборе критериев оценки поставщика. При анализе номенклатуры необходимо

учитывать объем закупок в сфере снабжения. Чем большую долю в создание конечной стоимости вносит тот или иной закупаемый объект, тем большую отдачу можно получить от построения с поставщиком партнерских отношений. Для сопоставления объемов закупок по различным объектам можно использовать классический ABC-анализ, причем проводить его стоит не только в стоимостном, но и в количественном выражении.

Вторым этапом алгоритма выбора партнеров по снабжению является анализ рынка и определение всех возможных поставщиков. На этом этапе важно начать создание базы данных по всем имеющимся на рынке поставщикам. Чтобы отобрать из всей массы выявленных потенциальных поставщиков те, которые наиболее полно удовлетворяют потребностям бизнеса, следует установить критерии сравнения и оценки поставщиков. Как правило, основными критериями выступают основные аспекты деятельности поставщика, такие как качество, надежность поставки, обслуживание и цена.



Алгоритм выбора логистического посредника в цепи поставок предприятий общественного питания

На основе полученных результатов анализа рынка партнеров по снабжению необходимо произвести предварительную оценку и отбор поставщиков. На данном этапе необходимо определить роли поставщиков в зависимости от категории ресурсов. Позиционирование ресурсов необходимо производить с учетом стратегического значения объекта снабжения (доля участия в создании стоимости, доля затрат на материалы в общих издержках, участие в создании прибыли) и комплексности рынка

снабжения (соотношение спрос/предложение, технологические разработки, возможность замены ресурсов, проблемы при выходе на рынок, логистические затраты). Позиционирование объектов снабжения оказывает воздействие на роль поставщиков. С точки зрения получателя они могут, как правило, выполнять четыре роли [3]: простой поставщик; квалифицированный поставщик; надежный поставщик; стратегический поставщик.

Для этого для каждого типа поставщиков разрабатывается система критериев. Критериальные оценки по отбору поставщиков необходимо формировать по основным аспектам деятельности, таким как качество, надежность поставки, обслуживание и цена. В дальнейшем круг критериев необходимо расширить за счет введения дополнительных параметров [1]: надежность доставки; гарантии качества; производственные мощности; цены; местоположение; технический потенциал; возможность компромиссов; наличие информационной системы связи и обработки заказов; послепродажный сервис и т.д.

После того, как определены типы поставщиков, требования, предъявляемые к их деятельности, разработана система критериев по отбору, следует произвести оценку оставшихся поставщиков и ранжирование в зависимости от их роли в производстве. Предложенный подход более детально помогает проанализировать значимость каждого из партнеров в создании того или иного готового продукта, понять, в какой форме и в каком направлении должны строиться стратегии взаимоотношений с поставщиками.

Результатом процесса отбора и ранжирования поставщиков является заключение договоров и контрактов на поставку необходимых ресурсов для осуществления хозяйственной деятельности. Очень важным в сфере общественного питания является процесс постоянного мониторинга рынка логистических посредников, а также системного аудита деятельности поставщиков, с которыми уже налажены партнерские отношения. В процессе организации снабжения необходимо учитывать риски со срывами поставок. Минимизировать потери необходимо в кратчайшие сроки. За счет создания базы данных и постоянного ее обновления путем систематического мониторинга рынка поставщиков можно при необходимости решить проблему с дефицитом того или иного ресурса за счет привлечения дополнительных поставщиков. В рамках концепции управления поставщиками особое внимание следует уделять стратегическим поставщикам, с которыми необходимо создавать долговременные деловые отношения.

Итогом прохождения всех этапов выбора поставщиков будет являться нахождение тех из них, которые наиболее качественно и в нужных объемах организовывали поставки сырья для производства. Представленный подход применительно к бизнесу сферы общественного питания способствует снижению издержек, повышению степени адаптации предприятия к изменяющимся рыночным условиям, позволяет сбалансировать сферу снабжения, следовательно, укрепить положение компании на рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова В.М. Управление запасами в цепях поставок. Логистика снабжения. Управление закупками и снабжением скоропортящейся продукции: учеб. пособие / В.М. Бобкова, В.В. Лукинский. СПб.: СПбГИЭУ, 2009. С. 61.

2. Ольгин В.А. Классификация ресурсов материального потока цепи поставок сетевых предприятий сферы общественного питания / В.А. Ольгин, Т.Н. Одинцова // Логистика: Современные тенденции развития: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., 19-20 апреля 2013г. / редкол.: В.С. Лукинский (отв. ред.). СПб.: СПбГИЭУ, 2013. С. 322-326.

3. Управление поставщиками [Электр. ресурс] Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2009-08a11> (17.03.13)

Ольгин Василий Александрович – аспирант кафедры «Менеджмент туристического бизнеса» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vasily A. Olgin – Postgraduate Department of Tourist Business Management, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.02.13, принята к опубликованию 20.02.13

О.Е. Пудовкина

УТОЧНЕНИЕ ПОНЯТИЯ МАРКЕТИНГОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ КАК ОСНОВНОГО ЭЛЕМЕНТА МАРКЕТИНГОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Статья посвящена теоретическим вопросам, связанным с проблемами получения, распространения и использования маркетинговой информации на промышленном предприятии в современных условиях. Уточнено понятие «маркетинговой информации», определена ее сущность, раскрывающая возможности рационального использования ограниченных ресурсов предприятия, управляемого при помощи информационной маркетинговой системы. Особое внимание уделено классификации маркетинговой информации.

Маркетинговая информация, маркетинговая деятельность, классификация маркетинговой информации, информационная система, маркетинговая информационная система

О.Е. Pudovkina

THE MARKETING DATA CONCEPT AS THE KEY COMPONENT OF THE MARKETING DATA SYSTEM AT ENTERPRISES

The article is devoted to the theoretical issues connected with problems of receiving, distributing and using the marketing information at industrial enterprises under current conditions. The concept of «marketing data» is specified, and its essence opening the possibilities for the rationalized usage of the limited resources of an enterprise operated by means of the information marketing system has been defined. Special attention is given to the classification of the marketing data.

Marketing data, marketing activity, classification of the marketing data, information system, marketing data system

Успешное ведение бизнеса невозможно без непрерывного контроля за рыночной средой. В современных условиях маркетинговая информация приобретает огромную и незаменимую ценность. Кроме того, указанная ценность постоянно растет. Следует отметить, что такой рост обусловлен переходом от локального маркетинга, ограниченного государственными границами, к глобальному. По мере развития рынков и совершенствования технологий потребители получают все большие возможности в выборе наиболее полно удовлетворяющих их товаров и услуг. При этом из-за доступа к большому объему самой разнообразной информации они становятся все более разборчивыми. В такой ситуации предсказать реакцию потребителей на те или иные товары можно, лишь обладая максимумом маркетинговой информации [7].

С точки зрения определения понятия маркетинговой информации есть мнение, что это все сведения и знания, которые позволяют решить маркетинговые задачи. Использование маркетинговой информации заключается в необходимости уменьшить неопределенность при принятии управленческих решений. На данном этапе развития экономики сама маркетинговая деятельность представляется как постоянно функционирующий информационный процесс.

По нашему мнению, специфичность маркетинговой информации заключается в том, что без нее невозможно осуществление маркетинговой деятельности. То есть на любом этапе маркетингового процесса необходимо иметь данные о различных факторах окружения предприятия и его внутреннем функционировании, чтобы обеспечить эффективность исследования рынка, планирования маркетинговых мероприятий, их реализации, мониторинга и контроля выполнения поставленных задач.

Таким образом, на наш взгляд, маркетинговая информация представляет собой определенный вид ресурсов предприятия, который отвечает всем предъявляемым к нему требованиям, используемый для обеспечения маркетинговой деятельности предприятия с целью повышения его уровня конкурентоспособности.

Г.Л. Багиев дает следующее определение маркетинговой информации – это данные, получаемые путем познания и исследования процесса обмена результатами общественно полезной деятель-

ности и взаимодействия при этом различных субъектов рынка, которые используются в различных сферах бизнеса, включая маркетинг.

Также маркетинговая информация характеризуется как совокупность сведений, способствующих повышению конкурентных преимуществ объекта управления [2].

Использование маркетинговой информации в практической деятельности предполагает наличие у нее определенных свойств, главными из которых являются:

- достоверность – точное и правдивое отражение объективной реальности;
- актуальность – высокий уровень новизны информационных данных, близость по времени моментов наступления определенных событий и получения сведений о них;
- полнота – наличие всех необходимых и достаточных для принятия решения параметров;
- релевантность – соответствие предлагаемых данных решаемой задаче;
- сопоставимость – характеризует единообразие сравниваемых показателей и методологии исследования, соразмерность применяемых методик измерения;
- валидность – определяет качество используемых источников информации,
- доступность – определяет удобный для восприятия вид, понятный и приемлемый для субъекта носителя информации;
- экономичность – выражает низкий уровень затрат на приобретение и обработку информационных ресурсов по сравнению с эффектом, получаемым от их применения;
- целенаправленность – характеризует степень целевого сбора данных о внутреннем и внешнем состоянии объекта исследования соответствующую решаемым задачам.

Также для маркетинговой информации важными характеристиками являются:

- структурированность – определяет уровень устойчивости внутренних взаимосвязей данных и их структуру;
- иерархичность – характеризует иерархию информации в информационном потоке;
- авторизация – определяет правомочность использования информации;
- товарность – свойство, определяющее эстетический вид информации с целью ее реализации.

На наш взгляд, главные свойства, которые должна иметь маркетинговая информация являются:

- 1) качественные характеристики – полезность, достоверность, значимость, релевантности;
- 2) временные характеристики – своевременность, периодичность, систематизация, актуальность;
- 3) специальные характеристики – тематика, сложность, функциональность, доступность и др.

Использование в маркетинговой деятельности информации, не удовлетворяющей данным требованиям, приводит к ошибкам, принятию неверных решений и снижению общей эффективности работы предприятия.

Так, например, использование устаревшей информации порождает принятие неактуальных решений, которые дестабилизируют положение предприятия на рынке, вызывают падение конкурентоспособности и отток потребителей к конкурентам. Поэтому важным моментом является получение информации в минимальные сроки, которые зависят от быстроты и насыщенности протекающих в экономике процессов, отраслевых особенностей и срочности поставленных вопросов.

Получение полной информации также имеет значение, поскольку нехватка определенных данных не дает возможности реализовать маркетинговые мероприятия, использовать их в полном объеме. Избыток информации не должен препятствовать эффективности маркетингового процесса. Использование достаточной информации для принятия решения является показателем профессионализма специалиста по маркетингу.

Таким образом, чтобы результативно обеспечивать маркетинговую деятельность, информация должна отвечать всем предъявляемым к ней требованиям одновременно, поскольку отсутствие хотя бы одной характеристики может привести к невозможности принятия верных управленческих решений.

В системе управления предприятием маркетинговая информация занимает особое место, поскольку от ее характеристик зависят правильность и ценность принимаемых управленческих решений. На каждом этапе управленческого процесса определяется необходимая маркетинговая информация, которая будет способствовать достижению поставленных целей. Кроме того, важным моментом является обратная связь, позволяющая передать реакцию объекта управления на осуществляемое воздействие. Обратная связь дает возможность корректировать поставленные цели и трансформировать задачи управления.

Маркетинговую информацию следует систематизировать, что позволит упростить поиск необходимых данных и структурировать источники в базе данных. В связи с этим предлагаем провести классификацию маркетинговой информации по наиболее существенным ее признакам:

- 1) по степени обработки:

- обработанная информация – информация, прошедшая процесс переработки, структурированная и проанализированная для конкретных целей использования, при этом выделяются:
 - а) результативная – информация, прошедшая все стадии обработки;
 - б) промежуточная – информация, прошедшая одну или несколько стадий обработки;
- необработанная информация – характеризует состояние предмета исследования в определенный момент времени и фиксируется в точке ее происхождения;
- 2) по выполняемым функциям:
 - стратегическая – применяется для принятия наиболее важных решений, затрагивающих стратегию предприятия;
 - текущая – используется в текущей деятельности, регулирует функционирование предприятия в настоящее время;
 - справочная – находит применение при возникновении спорных ситуаций либо для решения специальных вопросов, имеет ознакомительный характер;
 - плановая – информация, применяемая в процессе планирования хозяйственной деятельности, маркетинговых мероприятий;
 - нормативно-правовая – регулирует вопросы применения законодательных норм в процессе функционирования предприятия;
 - сигнальная – информация, характеризующая особые случаи функционирования или моменты, способные значительно повлиять на работу предприятия;
 - статистическая – применяется для составления отчетов, аналитических документов, характеризует изменение определенных параметров работы за некоторый промежуток времени;
- 3) по периодам поступления:
 - дискретная информация – поступающая на предприятие в определенные периоды времени, при этом выделяются:
 - а) долгосрочная – период поступления составляет один раз в год и более;
 - б) краткосрочная – поступает с периодичностью от одного месяца до одного года;
 - в) оперативная – поступает непосредственно в момент события либо в срок до одного месяца;
 - нерегулярная информация – поступает на предприятия один или несколько раз вне зависимости от периода времени;
 - регулярная – информация, получаемая об объекте исследования непрерывно в соответствии с режимом функционирования данного объекта;
- 4) по уровню устойчивости информационного потока:
 - нестабильная – информация возникает случайно и характеризуется частой сменой информационных данных;
 - переменная – информация сохраняет стабильность сведений в течение определенного времени;
 - стабильная – сохраняет важность и значимость в течение длительного периода;
- 5) по освещению временного промежутка:
 - ретроспективная – отражает данные о событиях, произошедших в прошлом;
 - текущая – позволяет судить о настоящем положении объекта и его изменениях в течение года;
 - прогнозная – определяет развитие событий в будущем времени;
- б) по степени охвата исследуемого явления:
 - общая – характеризует состояние объекта в целом;
 - локальная – информация, отражающая состояние отдельных частей объекта исследования;
 - топическая – информация, определяющая характеристики конкретных показателей функционирования объекта;
- 7) по характеру сведений:
 - внешняя – данные о явлениях, происходящих во внешней среде;
 - внутренняя – информация о внутреннем состоянии объекта исследования;
 - исследовательская – маркетинговая информация об объектах, служащая для принятия управленческих решений;
- 8) по источнику возникновения:
 - информация, имеющаяся в системе, позволяет пользователям осуществлять неограниченный доступ к данным;
 - приобретаемая информация – получаемая посредством совершения различных сделок (купли-продажи, мены, аренды и т.д.), доступ к ней ограничен в рамках заключенного договора;
 - собираемая информация – получаемая путем сбора данных самими пользователями из общедоступных источников (СМИ, Интернет и т.д.)

9) по виду представления:

- табличная – представляется в виде таблиц;
- текстовая – представляется в текстовом виде;
- графическая – представляется в виде диаграмм, рисунков, графиков.

10) по территориальному признаку:

- местная информация – данные об объектах, находящихся в пределах одной территориальной зоны;
- региональная – информация о событиях в пределах одного региона;
- национальная – информация о явлениях, происходящих в отдельном государстве;
- интернациональная – информация общемирового характера.

Данная классификация маркетинговой информации может быть дополнена и расширена по различным критериям в соответствии с возникающими потребностями.

Для принятия эффективных управленческих решений руководство предприятия должно использовать пять видов маркетинговой информации [6]:

- аналитическая информация о внутренних характеристиках предприятия;
- данные о внешней среде;
- информацию о возможном воздействии на рыночную ситуацию в отрасли;
- данные о непреодолимых ограничениях хозяйственной деятельности различного характера;
- информацию о воздействии маркетинговых инструментов (рис. 1).

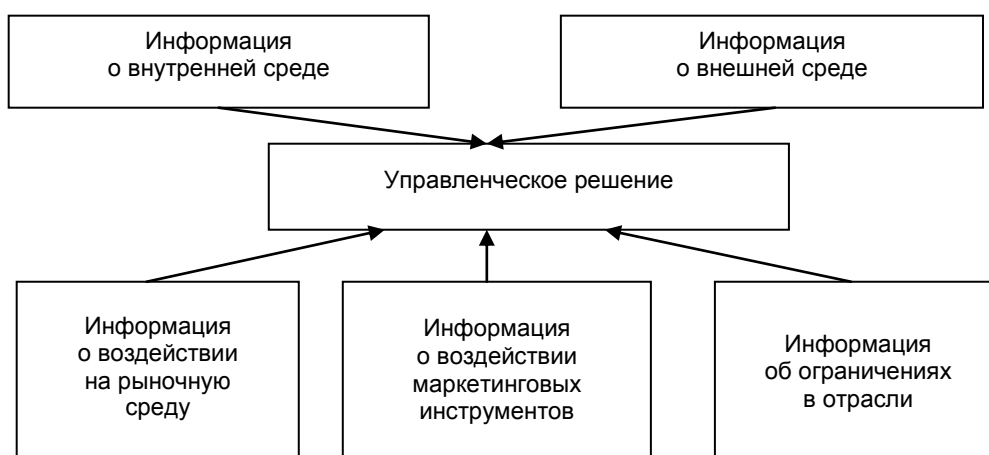


Рис. 1. Информация, влияющая на процесс принятия управленческих решений

Информационная деятельность складывается из нескольких этапов, основными из которых являются передача, сбор, систематизация, анализ, архивация и хранение информационных данных. Соответствующий инструментарий позволяет создавать информационные системы, обеспечивающие процесс принятия решений, делающие его более быстрым и эффективным. Кроме того, они дают возможность всегда использовать актуальную, полную, достоверную и доступную информацию в практической деятельности.

Понятие «система» определяется как совокупность частей и элементов, объединенных между собой в единое целое, взаимодействующих посредством внутренних связей и образующих определенную структуру.

Одним из основополагающих свойств системы является наличие внутренних связей, взаимодействие между составляющими ее элементами, их организация, а также общность с окружающей ее средой.

Для любой системы характерно, что она является частью системы более высокого уровня, и в то же время составляющие ее элементы являются системами более низкого порядка. То есть, неотъемлемым свойством системы представляется иерархичность, соподчиненность и многоуровневое построение. Функционирование системы определяется особенностями ее морфологии и структуры, что отражается в поведении составных элементов системы, которое характеризует отдельные аспекты функционирования, при этом поведение всей системы в целом обуславливается взаимодействием между всеми частями системы.

В основном в системах происходят взаимодействия путем обмена информацией, а также управляющего воздействия одних элементов на другие. Таким образом, можно отметить, что все пе-

речисленные свойства характерны для исследуемого объекта – маркетинговой информационной системы.

Рассмотрим основные законы функционирования систем. Большая часть существующих систем подчиняется закону достижения цели, что позволяет системе перейти из одного состояния в другое, обеспечивающее ее развитие.

Вторым немаловажным законом, который определяет работоспособность систем любой природы, является закон отрицания революции, который гарантирует стабильное существование системы. Если данный закон не соблюдается, имеющийся системный порядок нарушается и система самоуничтожается.

Следующим основным законом развития систем является закон доминирования асимметрии, обеспечивающий системе возможность выживать в неблагоприятных условиях окружающей среды, сохранять собственную стабильность до момента ликвидации агрессивного воздействия.

Четвертый закон функционирования систем – закон эволюционного скачка, который позволяет системе быстро и эффективно развиваться.

Последний закон системного развития отражает механизм целесообразности и результативности системы. Это закон критической массы органа управления, который определяет, что система эффективна до того момента, пока масса управляемой системы в два раза меньше массы органа ее управления.

Знание данных законов и применение их на практике позволяют повысить эффективность функционирования системы и ее развития. В этой связи для формирования маркетинговой системы следует разработать специальную методику проектирования и повышения эффективности ее использования.

Неотъемлемой составляющей любой информационной системы является база данных, база знаний, банк данных, банк знаний, банк информации (рис. 2).

Рассмотрим эти понятия с научной точки зрения. Информационные ресурсы накапливаются и собираются путем их переработки и группировки в базы данных, позволяющие структурировать, анализировать и использовать имеющуюся информацию. База данных и управляющая ей система, которая включает определенные программы и языки программирования, формируют банк данных, который облегчает работу с информацией и процесс применения ее в практической деятельности.

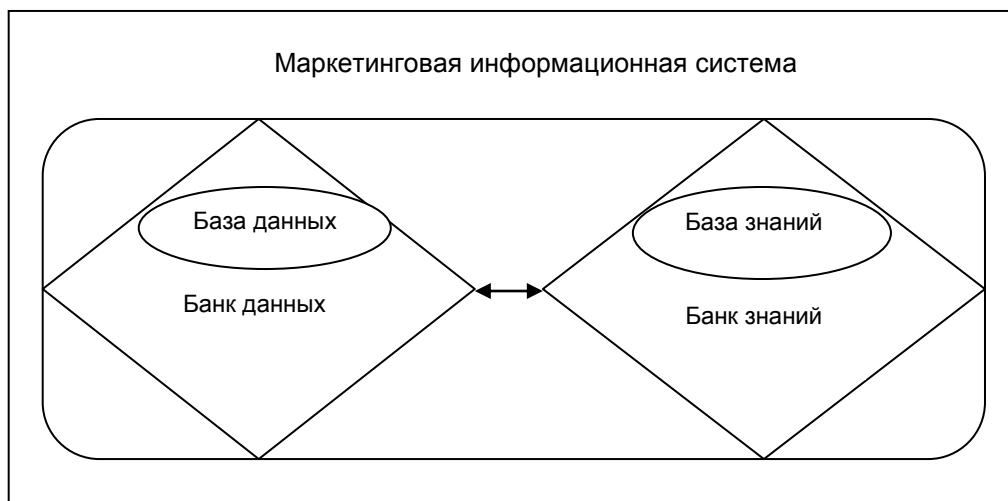


Рис. 2. Элементы маркетинговой информационной системы

База знаний представляет собой полный комплекс знаний работников предприятия по отдельным сферам его функционирования, собранных в единую систему, структурированную и подлежащую оценке. На основе базы знаний и системы управления базой знаний строится банк знаний, используемый для решения конкретных производственных и управленческих задач.

Структура, включающая банк данных и банк знаний, представляет собой банк информации, применяемый при принятии важных управленческих решений, регулирующих работу предприятия, сокращающий время их принятия за счет использования более точных, структурированных и проанализированных информационных данных. При этом снижается количество лишней либо недостоверной информации, уменьшается риск принятия неверного решения на основе искаженных данных, повышаются качество и ценность информационных источников. Банк информации лежит в основе информационной системы предприятия.

Информационная система обеспечивает стабильное функционирование предприятия, снабжает управляющее звено необходимой информацией для принятия решений в соответствии с этапом производственного процесса.

Особенно значимой для эффективного развития предприятия является маркетинговая информационная система, поскольку принятие маркетинговых решений требует точной и своевременной информации, приспособленной к сфере функционирования предприятия. При этом для каждого вида маркетинговой деятельности необходимо иметь специализированный банк информации, адаптированный для извлечения конкретных данных по поставленному вопросу.

При создании маркетинговой информационной системы предприятия следует соблюдать принципы формирования сложной структуры, объединяющей разнородные компоненты системы в целостный комплекс, гарантирующий предоставление необходимой информации в нужное время и место. Данный комплекс должен отвечать следующим принципам структуризации:

- системность и совместимость с другими системами предприятия;
- стандартизация и унификация информационных данных;
- эффективность работы, развитие и т.д.

Одной из наиболее существенных характеристик маркетинговой информационной системы является то, что она продуцирует новые знания, выступая при этом сложной организационной структурой, то есть включает активную и пассивную составляющую. Такое свойство позволяет добиться синергетического эффекта, который возникает при переработке имеющихся информационных данных, собранных и проанализированных определенным образом, что вызывает появление новой информации, выступающей основной для образования новых знаний. В качестве примера действия данного свойства системы на практике можно назвать матрицу БКГ, SWOT-анализ и др.

Большинство современных информационных систем ориентированы на поддержание работоспособности предприятия, при этом аналитическая работа и создание системных информационных источников практически не ведется, что снижает эффективность стратегического планирования и развития предприятия. Аналитическая функция информационных систем должна обеспечить координацию информации с организационных, методологических и идеологических позиций, поскольку представляемая информация должна определять уровень соответствия продукции предприятия требованиям рынка, исходить из единого информационного центра и быть целенаправленной.

Решение определенных маркетинговых задач требует применения достаточных, точных и актуальных информационных данных, качество и количество которых должны отвечать запросам потребителей информации. Эффективность применения тех или иных источников зависит от возможности конкретного менеджера использовать именно тот объем данных, который необходим для решения поставленных перед ним задач в рамках имеющейся компетенции (рис. 3).



Рис. 3. Виды используемой информации в зависимости от уровня управления

Так, высшее звено предприятия должно обладать стратегической информацией для принятия управленческих решений, руководители среднего звена – аналитической информацией. Управляющим нижнего звена для принятия решений требуется агрегированная информация. Другие сотрудники в своей деятельности должны использовать текущую информацию о работе предприятия.

Формирование и совершенствование информационной системы предприятия является одним из основных вопросов современного менеджмента. Особенное значение решение этого вопроса играет в сфере информационного обеспечения маркетинга.

Функционируя, предприятия взаимодействуют между собой, в том числе в области информационного пространства путем активного поиска информации, проведения различных исследований, информационно-аналитических обзоров, периодических либо единичных маркетинговых экспериментов и т.д. При этом отмечается наличие двух форм информационных источников, включающих отдельные информационные объекты, отвечающие заданным параметрам поиска, и рыночные структуры, которые одновременно являются субъектами и объектами информационного поиска. Для повышения эффективности информационной работы необходимо определить все информационные источники, полезные для решения поставленных задач, а также разработать методы взаимодействия с данными объектами.

Основные сложности в сфере информационной деятельности возникают при поиске и получении нужной информации. Это связано с ограничениями и искажениями данных, низкой доступностью тех или иных источников, формализмом при передаче информации, проблемами поступления данных по различным каналам связи, влиянием человеческого фактора. Выявленные причины снижения эффективности информационного обеспечения маркетинга позволяют систематизировать типичные трудности, возникающие на предприятиях. Знание этих формальных ситуаций способствует снижению их отрицательного воздействия на информационную деятельность. К таким типичным факторам снижения качества маркетинговой информации мы относим:

1) дефекты организации информационной работы, а именно отсутствие центрального информационного органа, куда поступает вся маркетинговая информация, способного ее обработать, проанализировать и структурировать;

2) низкий профессиональный уровень специалистов в области информационного обеспечения маркетинга – отсутствие квалифицированного персонала, работающего с информацией, вызывает необходимость привлечения кадров из специализированных организаций для проведения информатизации маркетинговой деятельности;

3) поступление непрофильной информации для работников некоторых подразделений предприятия, что становится причиной утраты информации или недостаточной ее обработки;

несовершенство методического обеспечения информационной деятельности, которое проявляется в применении приемов и методов обработки информации, не позволяющих получить планируемый результат;

4) недостаточно эффективное использование информации руководящим звеном предприятия – форма предоставления информации является сложной для восприятия и применения ее в полном объеме;

5) избыточность информации – объем поступающих данных настолько велик, что специалисты не могут в полной мере ее обработать и составить аналитические отчеты, что является свидетельством несовершенной организации информационной работы либо низкой квалификации персонала;

6) применение стандартных методов работы с информацией, ранее успешно использованных при решении поставленных задач, указывает на «устаревание» технологических приемов, невозможность прогрессивного мышления;

7) неприятие руководителями информации, способной понизить их статус на предприятии; сопротивление среднего звена информационному воздействию со стороны высшего руководства, когда такое воздействие угрожает его положению, проявляется в неспособности осмыслить сущность происходящих событий.

На наш взгляд, выходом из данных проблемных ситуаций может явиться создание маркетинговой информационной системы, которая должна включать следующие структурные элементы:

- подсистема сбора информации;
- подсистема систематизации и хранения информации;
- подсистема обработки и анализа данных;
- коммуникационная подсистема;
- подсистема маркетинговых исследований.

Отходя от классического представления маркетинговой информационной системы, мы включаем в нее подсистему коммуникаций, которой предаем особое значение, так как считаем, что данная подсистема определяет качество информационного обеспечения маркетинговой деятельности. Создавая маркетинговую информационную систему, необходимо учитывать существующую на предприя-

тии систему управления и его отраслевую специфику, характеристику информационных имеющихся информационных потоков.

Маркетинговая информация является полноправным экономическим ресурсом вместе с такими средствами производства, как капитал, земля, труд и т.д. Однако маркетинговой информационной системе на предприятии не уделяется достаточного внимания, как другим системам, обеспечивающим нормальное функционирование предприятия – производственным, управленческим и финансовым и др. Маркетинговая информационная система чаще всего представляется как определенный комплекс приемов и методов, поддерживаемый информационной инфраструктурой, который должен удовлетворять запросам специалистов в области маркетинга [4].

Реализуемая в работах различных авторов концепция маркетинговой информационной системы [1, 3, 4] имеет ряд существенных недостатков, которые заключаются в недостаточно четком понимании значения маркетинговой информации, а также отсутствии детальных рекомендаций применения маркетинговой информационной системы в практической деятельности.

Тамбовцев В.Л. в своей работе [8] определяет маркетинговую информационную систему как совокупность постоянно функционирующих приемов и ресурсов для сбора, классификации, анализа, оценки и распространения актуальной информации с целью ее использования для принятия эффективных маркетинговых решений. При этом в определении нечетко просматривается взаимосвязь между элементами системы, нет точного осознания терминов «функционирующие приемы и ресурсы», существуют ограничения применения маркетинговой информации, что не соответствует действительности, поскольку использование маркетинговой информации в работе предприятия является необходимым условием его успешного функционирования.

По мнению Ф. Котлера [5], маркетинговая информационная система – это совокупность персонала, оборудования, процедур и методов, предназначенная для сбора, обработки, анализа и распределения своевременной и достоверной информации, необходимой для подготовки и принятия маркетинговых решений. Данное определение имеет концептуальное значение в понимании сущности маркетинговой информационной системы, но в то же время оно не демонстрирует важность взаимосвязей между элементами системы.

Позиция Е.П. Голубкова заключается в следующем. Он представляет маркетинговую информационную систему как совокупность (единый комплекс) персонала, оборудования, процедур и методов, предназначенных для сбора, обработки, анализа и распределения в установленное время достоверной информации, необходимой для подготовки и принятия маркетинговых решений.

По нашему мнению, в определении имеются недостатки, присущие остальным авторам, в том числе некорректно употреблен термин «комплекс», поскольку он является частным случаем использования понятия «система». Также недостаточно точно установлено такое свойство системы как достоверность. В определении предполагается его идентичность с релевантностью, что является принципиально неверным.

Исследования коллектива специалистов привели к заключению, что маркетинговая информационная система представляет собой совокупность процедур и методов, разработанных для создания, анализа и распространения информации для опережающих маркетинговых решений на регулярной постоянной основе. Здесь авторы исключили из элементов системы персонал, что, на наш взгляд, неприемлемо, поскольку именно персонал предприятия обеспечивает работоспособность системы. Кроме того, необоснованно употреблять понятие «постоянства» в современной быстро изменяющейся экономической среде.

Интересно мнение ученых, предполагающих, что маркетинговая информационная система является способом продумывания решений по поиску необходимой в управленческой деятельности маркетинговой информации. В данном случае отсутствует корреляция между понятиями «способ» и «система».

Г.А. Титоренко [9] характеризует маркетинговую информационную систему как совокупность внешней и внутренней информации, информации маркетинговых исследований и анализа, а также методов и средств ее организации для удовлетворения потребностей пользователей. Такая позиция представляется нам недостаточно обоснованной, поскольку употребление значения «информация маркетинговых исследований» в качестве самостоятельного вида информации, является неверным, так как данный вид информации входит в состав внешней либо внутренней информации.

В определении не включены в состав элементов системы кадры предприятия, что сужает понятие «системы» и не отражает ее сущности, к тому же отсутствует четкая взаимосвязь между описываемыми элементами системы.

Позиция многих авторов заключается в следующем. Они считают, что маркетинговая информационная система является системой мероприятий по сбору, сортировке, анализу и представлению маркетинговой информации, используемая при принятии маркетинговых решений. При этом подменяются понятия «системы» и «процесса», поскольку только последний может включать мероприятий, а система состоит из определенных частей и элементов. То есть в данном определении дается характеристика информационного процесса, который является следствием использования маркетинговой информационной системы.

Мнение Г.Л. Багиева [1] по исследуемому вопросу следующее. Маркетинговая информационная система представляется ему как постоянно действующая система взаимосвязи людей, оборудования и методических приемов, предназначенная для сбора, классификации, анализа, оценки и распространения актуальной, своевременной, точной информации для использования ее в сфере маркетинга. Данное определение, на наш взгляд, наиболее точно отражает понятие маркетинговая информационная система, но страдает некоторыми недостатками в части использования понятия «взаимосвязи системы», поскольку система сама по себе предполагает наличие взаимосвязей.

Поэтому, с нашей точки зрения, *маркетинговая информационная система* – это система управления информационными процессами на предприятии по сбору, обработке, анализу, систематизации, хранению, передаче маркетинговой информации, используемой для подготовки и принятия управленческих решений, направленных на повышение эффективности функционирования и развитие предприятия.

При этом основную роль в формировании направления развития играет маркетинговое подразделение, результаты работы которого используются руководством предприятия для принятия стратегических управленческих решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багиев Г.Л. Маркетинг / Г.Л. Багиев, В.М. Тарасевич, Х. Анн. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экономика, 2001. 718 с.
2. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика / Е.П. Голубков. М.: Финпресс, 1998.
3. Завьялов П.С. Маркетинг в схемах, рисунках, таблицах / П.С. Завьялов. М.: ИНФА-М, 2001
4. Ковалев А.И. Маркетинговый анализ / А.И. Ковалев. М.: Центр экономики и маркетинга, 1996.
5. Котлер Ф. Маркетинг и менеджмент / Ф.Котлер. СПб.: Питер, 1998.
6. Лесохин В.З. Информационное обеспечение маркетинговых решений: учеб. пособие / В.З. Лесохин. СПб.: СПбУЭФ, 1994.
7. Супонева А.В. Управление предприятием с использованием современных информационных технологий: дис. ... канд. экон. наук / А.В. Супонева. М., 2005. С. 52.
8. Тамбовцев В.Л. Пятый рынок: экономические проблемы производства информации / В.Л. Тамбовцев. М.: МГУ, 1993. 127 с.
9. Титоренко Г.А. Информационные технологии управления / Г.А. Титоренко. М.: ЮНИТИ, 2003. 439 с.

Пудовкина Ольга Евгеньевна – аспирант кафедры «Экономика и управление» Сызранского филиала Самарского государственного экономического университета

Olga E. Pudovkina – Postgraduate Department of Economy and Management, Samara State Economy University (Syzran Part)

Статья поступила в редакцию 03.09.12, принята к опубликованию 20.02.13