

**ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2013**

№ 4 (73)

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

Выходит один раз в квартал

Декабрь 2013 года

*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. Суоров, 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 15.12.13
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 43,0 Уч.-изд. л. 22,3
Тираж 500 экз. Заказ 237
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 1-е полугодие 2014 г.)

**VESTNIK
SARATOV
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY
2013**

№ 4 (73)

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. Rezchikov, 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: 15.12.13
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 43,0 Acc.-pbl. 22,3
Edition 500 psc. Order 237
Printed in publishing house of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054,
Russia

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Выгодчикова И.Ю. Об оценке риска формирования комплекса операций	7
Доронин Д.М. Численный метод интегрирования на основе аппроксимации Лагранжа и квадратурных формул Гаусса-Кристоффеля	11
Иноземцева О.В., Фролов М.О. Анализ напряженно-деформируемого состояния неоднородного основания с применением модели на базе уравнений Навье	17
Куцемако А.Н. Спектральный анализ свободных колебаний гибкой оболочки	23

ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Зотов П.В., Зотов В.М. О соотношении светотехнических и энергетических величин электромагнитного излучения при построении математической модели изображения	32
Ковалев А.Н., Ковалев Ф.Н. Формулы расчета параметров траектории цели в просветных бистатических радиолокаторах	35
Кузнецов А.П., Мигунова Н.А., Седова Ю.В., Тюрюкина Л.В. О квазипериодических колебаниях в связанных хаотических осцилляторах	38
Окишев Ю.А., Клинаев Ю.В. Математическое моделирование частной ограниченной задачи трех тел с учётом второй зональной гармоники в геоцентрической экваториальной системе координат	43
Уткин Д.В., Германчук В.Г., Глазков А.Н., Ерохин П.С., Спицын А.Н., Задохин С.Н., Щербаков Д.А. Оптическая система для выявления микроорганизмов в объектах окружающей среды	49
Шестеркин В.И. Формовка матричных автоэмиссионных катодов из стеклоуглерода в сильных электрических полях	52

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Кучмин И.Б., Нечаев Г.Г., Соловьева Н.Д. О характере изменений физико-химических свойств двухкомпонентного силикатно-щелочного электролита для микродугового оксидирования в ходе серийного производства	57
Рамазанов К.Р., Севастьянов В.П. Функциональные добавки в полимерные композиты. Технология переработки алюмохлорида	62
Рамазанов К.Р., Севастьянов В.П. Функциональные добавки в полимерные композиты. Технология регенерации фенольной смолы	66
Шпекина В.И., Савельева Е.А., Краснов В.В., Лузановская О.Н. Влияние материала токоведущей основы на разрядные характеристики диоксидносвинцового электрода в хлорной кислоте	72
Элькин М.Д., Гречухина О.Н., Громовой С.А., Карташов М.В., Попов А.А., Пулин В.Ф. Моделирование структуры и спектров в димерах урацил-цитозин	78
Элькин П.М., Гречухина О.Н., Громовой С.А., Карташов М.В., Попов А.А., Пулин В.Ф. Модельные расчеты структуры и спектра 1- и 3 нитроурацилов в конденсированном состоянии	81

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Журавлев М.М., Королев А.В., Решетников М.К. Определение рациональных режимов лазерной закалки деталей	87
Журавлев М.М., Королев А.В., Решетников М.К. Теплофизическая модель закалки сканирующим лазерным пучком	90
Игнатъев А.А., Коновалов В.В. Выбор режима обработки колец подшипников на основе идентификации динамической системы токарного станка	94
Перелыгина Т.И. Теоретический анализ погрешностей токарной обработки нежестких валов	98
Садчикова Г.М., Сущенко Т.С. Экспериментальные исследования зависимости качества поверхности заготовки от расхода смазочно-охлаждающей жидкости при токарной обработке	106

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Баженов А.И., Михеева Е.В. Повышение эффективности совместной работы ГПУ и абсорбционных чиллеров в периоды снижения холодопотребления	109
Костин Д.А., Разуваев А.В., Кочеваткина Э.Ф. Оценка экономической эффективности когенерационной установки для вуза	115

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Вешнева И.В., Мельников Л.А., Немцов А.И. Математическая модель управления функционированием малого предприятия	121
Шумарова О.С., Игнатъев С.А. Оптимальный выбор вида вейвлета при обработке сигнала с вихретокового датчика	128
Щеголев С.С., Мотков А.Г., Игнатъев А.А. Оценка состояния колец подшипников с применением ультразвукового и виброакустического методов	132
Щербаков М.А., Кушников В.А. Анализ выполнимости деревьев целей при управлении информационной безопасностью предприятий и организаций	136

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Еськин А.О., Костюк В.П. Разработка и исследование параллельных нейросетевых моделей для диагностики сложных систем	142
Безруков А.И., Гусятников В.Н., Жилина М.А. Использование математических методов для систематизации классификаций объектов стандартизации	151

Зотов П.В., Богданов Е.П. Коэффициенты связи между светотехническими и энергетическими характеристиками электромагнитного излучения.....	156
Кочетков О.О. Исследование методов анализа непараметрических данных на примере анализа психофизиологических признаков у детей с заболеванием соединительных тканей.....	159
Полякова М.В., Ищенко А.В., Емец Ю.В. Усовершенствование метода сегментации изображений сосудов на ангиограммах с помощью преобразования с обобщенными вейвлет-функциями.....	164
Сластихина М.Д., Сытник А.А., Шульга Т.Э. О подходе к проектированию функционально избыточных систем, заданных автоматами специального класса.....	169
Соловьев М.М., Бутов А.А., Карев М.А. Система управления информационными ресурсами Simplex.....	176
Романчук С.П., Терин Д.В., Шатурная О.С. Исследование численных схем одновременного поиска корней полиномов с комплексными коэффициентами применительно к моделям эффективной среды.....	181
Фомин И.Н., Шульга Т.Э. Принципы построения организационной и расчётной моделей измерений электроэнергии в информационных системах энергосбытовых организаций.....	188
Фролов Д.А. Архитектура и сценарии компьютерного тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий.....	197
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	
Корчагина А.Б. Концепция взаимосвязи личности зодчего и его произведений на примере ведущих архитекторов Саратова рубежа XIX–XX веков.....	203
Купчикова Н.В. Определение коэффициента постели по деформации свободного конца сваи с использованием методики дискретного преобразования Фурье.....	206
Сухинина Е.А. Основные положения и сравнение международных экологических стандартов в строительной сфере.....	209
Тарасов Д.А., Коновалов В.В., Зайцев В.Ю. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния стальных канатов.....	215
Шагивалев К.Ф., Сурнина Е.К., Васильцов С.В. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки по технической теории оболочек на нагрузку, действующую в тангенциальном направлении.....	222
ТРАНСПОРТ	
Кушалиев Д.К. Теоретическое обоснование применения конического пружинного вкладыша взамен цилиндрического для подшипника возвратно-вращательного движения в сайлентблоках амортизаторов.....	231
Денисов А.С., Асоян А.Р., Орлов Н.В., Сычев А.М. Моделирование теплового состояния подшипникового узла турбокомпрессора.....	235
ЭКОЛОГИЯ	
Абросимова О.В., Быкова М.А., Меркулова М.Ю., Тихомирова Е.И. Оценка экологического неблагополучия урбосистем на основе данных мониторинга снежного и почвенного покровов (на примере г. Саратова).....	239
Давиденко О.Н., Серова Л.А., Беляченко А.А. Биоценотический потенциал растительности памятника природы «Урочище «Иваново поле».....	244
Шешнёв А.С., Решетников М.В., Жучков П.С., Кузнецов В.В. Генетические комплексы антропогенных отложений на территории Саратова.....	248
ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ	
Аблизин В.А. «Накануне 1 сентября 1939 года. Формула войны и мира».....	255
Зерчанинова Т.Е. Социальный аудит развития муниципальных образований.....	259
Петропавловский А.В. К проблеме идентификации видов заимствованного материала в марше для военно-духового оркестра.....	266
Пончкалина О.В. Социологические методы исследования имиджа организации.....	273
Раевская Е.А. Медиативная специфика современной рекламы.....	277
Ручин А.В. Передача социальных ценностей в сфере предпринимательства (пример Саратовской области).....	281
Чевтаева Л.Н. Интернет-пиратство: вчера и сегодня.....	284
Панкратов И.А., Шамьенова Г.Р. Теоретические основы оценки стратификации инновационного общества.....	289
ЭКОНОМИКА	
Борисенко В.П. Оценка качества системы стратегического управления предприятием.....	296
Ветров А.С., Абушаева Э.Т. Сервисное обслуживание автомобилей в авторизованных дилерских центрах Поволжья.....	301
Горбунов А.П. Эффективная динамика высшей школы – базовый фактор инновационной трансформации российской экономики.....	306
Григорьева А.С. Модель выхода малых и средних инновационных компаний на внешний рынок.....	310
Грудкина Т.И. Стратегия развития производства молока в крестьянских (фермерских) хозяйствах.....	313
Мендель А.В., Фадеева Н.П. Статистические методы и мониторинг социально-экономического развития муниципальных образований.....	318
Плотникова С.А. К вопросу оценки эффективности налогового стимулирования инновационной деятельности промышленных предприятий.....	322
Плотников А.Н., Плотников Д.А., Опанасенко И.А. Существующие стандарты оценки качества технологий разработки программного обеспечения.....	327
Рыжков О.Ю., Бобров Л.К. Тарификация договора страхования на основе обобщенного актуарного базиса.....	329
Янченко Е.В. Контрактные изменения в сфере труда при переходе к инновационному типу экономического роста.....	336

CONTENTS

MATHEMATICS AND MECHANICS

Vygodchikova I.Yu. Risk assessment for a complex of operations	7
Doronin D.M. A method for numerical integration based on Lagrange approximation and Gauss-Christoffel quadrature formulas	12
Inozemtseva O.V., Frolov M.O. Analysis of the stress and strain state of a nonhomogeneous foundation using a model based on the Navier equations	17
Kutsemako A.N. Free vibrations spectrology of the flexible shell.....	23

PHYSICS, RADIOTECHNICS AND ELECTRONICS

Zotov P.V., Zotov V.M. The ratio of lighting and energy variables in optics	32
Kovalev A.N., Kovalev F.N. Calculation formulas of the target trajectory parameters in forward-scattering bistatic radar systems	35
Kuznetsov A.P., Migunova N.A., Sedova J.V., Turukina L.V. Quasi-periodic oscillations in coupled chaotic oscillators.....	38
Okishev Yu.A., Klinaev Yu.V. Mathematical modeling of a restricted three-body subproblem with account to the second zonal harmonic in the geocentric equatorial coordinate system	43
Utkin D.V., Germanchuk V.G., Glazkov A.N., Erokhin P.S., Spytin A.N., Zadokhin S.N., Shcherbakov D.A. An optical system for detecting microorganisms in environmental objects.....	49
Shesterkin V.I. Activation of field emission array cathodes from glassy-carbon within the high electrical field.....	52

CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGIES

Kuchmin I.B., Nechaev G.G., Solovyeva N.D. Changes in the character of physical and chemical properties of two-silicate alkaline electrolyte for microarc oxidation over the production process	57
Ramazanov K.R., Sevastyanov V.P. Functional additives to polymeric composites. Aluminium chloride processing technology	62
Ramazanov K.R., Sevastyanov V.P. Functional additives to polymeric composites. A phenolic resin regeneration technology.....	67
Shpekina V.I., Savelieva E.A., Krasnov V.V., Lyzanovskaya O.N. Effect of the current carrying basis material for discharge characteristics of lead dioxide electrode in perchloric acid	73
Elkin M.D., Grechuhina O.N., Gromovoy S.F., Kartashov M.V., Popov A.A., Pulin V.F. Modeling the structure and spectra in uracil-cytosin dimers.....	78
Elkin P.M., Grechuhina O.N., Gromovoy S.F., Kartashov M.V., Popov A.A., Pulin V.F. Modeling the structure and spectra in uracil-cytosin dimers.....	82

ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

Zhuravlev M.M., Korolev A.V., Reshetnikov M.K. Defining the rational modes of laser hardening	87
Zhuravlev M.M., Korolev A.V., Reshetnikov M.K. Thermophysical hardening model for the scanning laser beam	90
Ignatyev A.A., Konovalov V.V. Choosing the treatment mode for the bearing rings based on identification of the dynamic lathe system.....	94
Perelygina T.I. Theoretical analysis of the errors turning non-rigid shaft	98
Sadchikova G.M., Sushchenko T.S. Experimental study of a workpiece surface quality as dependent on the flow of coolant during lathe work	106

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

Bagenov A.I., Mikheeva E.V. Efficiency improvement of the tandem operation between the gas-piston unit and absorption chillers when reducing the demand for the cooling output.....	109
Kostin D.A., Razuvaev A.V., Kochevatkina E.F. Economic efficiency of a cogeneration plant for a university.....	115

AUTOMATION AND CONTROL

Veshneva I.V., Melnikov L.A., Nemtsov A.I. A mathematical model of small business enterprise management operation	121
Shumarova O.S., Ignatyev S.A. Optimum choice of a wavelet when processing signals of eddy current sensors	128
Shchegolev S.S., Motkov A.G., Ignatyev A.A. Assessment of the bearing rings using the ultrasonic or acoustic methods.....	133
Scherbakov M.A., Kushnikov V.A. A study of feasible objectives when managing information security at companies and organizations	136

INFORMATION TECHNOLOGIES

Eskin A.O., Kostyuk V.P. Research and development of parallel neural network models for diagnosing complex systems	142
Bezrukov A.I., Gusyatinov V.N., Zhilina M.A. Mathematical methods used to systematize classification of standardization objects	151
Zotov P.V., Bogdanov E.P. The coefficients of communication between lighting and energy characteristics of radiation	156
Kochetkov O.O. Research into analysis methods of the nonparametric data using the psychophysiological symptoms analysis data with children suffering from the connective tissue disease	159

Polyakova M.V., Ishchenko A.V., Emets Y.V. Improving the method of image segmentation for vessels in angiograms by transformation with generalized wavelet-functions	164
Slastihina M.D., Sytnik A.A., Shulga T.E. On the approach to designing functionally redundant systems defined by specific class automata	169
Solovyev M.M., Butov A.A., Karev M.A. Content management of the simplex system	177
Romanchuk S.P., Terin D.V., Shaturnaya O.S. Research into numerical simultaneous search schemes of polynomial roots with complex coefficients applied to effective medium models	181
Fomin I.N., Shulga T.E. Principles of construction organizational models and calculation models for power measurement in information systems of retailing energy companies	188
Frolov D.A. Software implementation and scenarios of a learning management system for the personnel training at industrial enterprises	197
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Korchagina A.B. The concept of interdependence between the personality of an architect and his works on the example of leading Saratov architects at the turn of the XIX-XX centuries	203
Kupchikova N.V. Determination of the coefficient of bed on the deformation of the free end of piles with the use of methods of the discrete fourier transform	206
Sukhinina E.A. The fundamental principles and comparison of international environmental standards in the construction industry	210
Tarasov D.A., Konovalov V.V., Zaitsev V.Y. Mathematical modeling of the stress-strain state in steel ropes	216
Shagivaleev C.F., Surnina E.C., Vasil'tsov S.V. Calculation of the closed cylindrical cover according to the technical theory of covers on loading operating in the tangential direction	222
TRANSPORT	
Kushaliev D.K. Theoretical substantiation to application of conical springs instead of cylindrical bushing for bearing with reciprocating rotational motions	231
Denisov A.S., Asoyan A.R., Orlov N.V., Sychev A.M. Simulation of thermal bearing assembly turbocharger	235
ECOLOGY	
Abrosimova O.V., Bikova M.A., Merkulova M.Yu., Tihomirova E.I. Evaluation of ecological problems with urban systems based on the snow and soil data monitoring in Saratov city	239
Davidenko O.N., Serova L.A., Belyachenko A.A. Biocenotic potential of plant communities in the natural sanctuary «Ivanovo pole»	244
Sheshnev A.S., Reshetnikov M.V., Zhuchkov P.S., Kuznetsov V.V. Genetic complexes of anthropogenic sediments on the territory of Saratov city	248
PHILOSOPHY, SOCIOLOGY AND CULTUROLOGY	
Ablizin V.A. «On the eve of september 1, 1939. The formula for war and peace»	255
Zerchaninova T.E. Social audit in the development of municipalities	259
Petropavlovskiy A.V. On the problem of identification of the borrowed materials used in the military band marches	267
Ponukalina O.V. Sociological methods image research organization	273
Raevskaya E.A. Mediative specificity in modern advertising	277
Ruchin A.V. Transfer of social values in the business sector (example of Saratov region)	281
Chevtava L.N. Internet piracy: today and yesterday	285
Pankratov I.A., Shamyenova G.R. Theoretical basis for stratification assessment of the innovative society	290
ECONOMY	
Borisenko V.P. Quality assessment of the strategic management system of an enterprise	296
Vetrov A.S., Abushaeva E.T. Car service in authorized dealerships of the Volga region	302
Gorbunov A.P. Efficient dynamics of higher school as the basic factor for innovative transformations in the Russian economy	306
Grigoryeva A.S. A model for the foreign market penetration by the small and medium-sized innovative companies	311
Grudkina T.I. A Strategy for development of milk production in the peasant (farmer) economy	313
Mendel A.V., Fadeeva N.P. Statistical methods and monitoring of socio-economic community development	318
Plotnikova S.A. Assessment issues of tax stimulation effectiveness regarding innovation activities at industrial enterprises	322
Plotnikov A.N., Plotnikov D.A., Opanasenko I.A. The existing standards of quality assessment technologies software development	327
Ryzhkov O.Yu., Bobrov L.K. Pricing insurance using the generalized actuarial rate	329
Yanchenko E.V. Contract changes in the labor sphere under transition to innovative type of economic growth	336

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 519.863, 519.254

И.Ю. Выгодчикова

ОБ ОЦЕНКЕ РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ОПЕРАЦИЙ

Рассмотрена математическая модель оценки и снижения риска финансирования комплекса операций в производственно-технической сфере за счёт рационализации долевой структуры затрат на приобретение производственных единиц. Получены фундаментальные свойства решения, на основании которых разработан алгоритм вычислений.

Эффективность, комплекс операций, оценка риска, равномерное распределение риска, математическое моделирование

I.Yu. Vygodchikova

RISK ASSESSMENT FOR A COMPLEX OF OPERATIONS

The article considers a mathematical model relating risk assessment and risk minimization of funding a complex of production and technical sphere operations due to rationalization of financial participation in the purchase of production units. An algorithm for the problem solution has been developed.

Effectiveness, a complex of operations, risk estimation, uniform distribution of risk, mathematical modeling

Пусть комплекс содержит n производственных объектов, θ_i – доля финансирования на приобретение i -го объекта, $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$. Оценки рисков технических объектов обозначим через σ_i , эти величины должны быть определены к моменту моделирования.

Рассмотрим следующую оценку риска сформированной долевой структуры комплекса операций:

$$\Psi(\theta) = \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i.$$

Для получения указанной оценки риска нужно вычислить максимальный рискованный вклад каждого объекта в общий риск производственно-технического комплекса, осуществляемой в результате его вовлечения в производство.

Ясно, что для снижения максимального «вклада» каждой производственно-технической единицы в оценку риска комплекса объектов, требуется снизить объём затрат на приобретение наиболее рискованного оборудования. Очевидно следующее утверждение.

Теорема 1. Решением задачи

$$\Psi(\theta) = \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i \rightarrow \min_{\theta \in \left\{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1 \right\}}$$

является вектор $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ с компонентами:

$$\theta_i^* = 1 / \left(\sigma_i \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-1} \right), \quad i = \overline{1, n}.$$

Однако такого выбора структуры финансирования может быть недостаточно ввиду того, что некоторые операции могут быть более эффективными, поэтому отказ от объёмного проведения таких операций, даже при повышенном риске, может быть нецелесообразным.

Пусть для определённости $\sigma_1 > \dots > \sigma_n > 0$.

Примем ограничение

$$\sum_{i=1}^n \theta_i = 1.$$

При этом заметим, что для случая

$$\sum_{i=1}^n \theta_i = a, \quad a > 0,$$

можно путём введения нормировки $\theta_k := \theta_k / a$ получить требуемое условие.

Рассмотрим также следующие дополнительные ограничения.

Ситуация 1. Считаем, что получены положительные показатели функционирования каждого объекта m_i и требуемая норма показателя по комплексу объектов m_p , причём $m_1 > \dots > m_n > 0$, $m_1 \geq m_p \geq m_n$.

Ситуация 2. Пусть $r \in \overline{1, n}$, $J = \{j_1, \dots, j_s\} \subset \overline{1, n} \setminus \{r\}$, $j_k \neq j_i \quad \forall k, i \in \overline{1, s}, k \neq i$. Существуют предпочтения относительно формирования комплекса производственно-технического оборудования, заданные в форме $\theta_{j_k} = a_{j_k} \theta_r$, $k \in \overline{1, s}$. Очевидно, требуем чтобы $s < n - 1$.

Предпочтения в структуре финансирования могут быть связаны, например, с наличием в комплексе взаимозаменяемого и взаимодополняющего оборудования.

Рассмотрим **ситуацию 1**. Требуется минимизировать риск финансирования комплекса объектов при сохранении требуемой доходности. Приходим к задаче негладкого выпуклого анализа:

$$\Psi(\theta) \rightarrow \min_{\theta \in \Omega}, \quad (1)$$

$$\Omega = \left\{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \sum_{i=1}^n m_i \theta_i = m_p \right\} \quad (2)$$

В [1, 2] приведено решение задачи (1)-(2). Дополним исследование новыми свойствами. Обозначим $v = \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-1}$, $\gamma = \sum_{i=1}^n m_i \sigma_i^{-1}$, $m_p^* = \gamma / v$.

Сформулируем факт из [1, с. 18-20].

Теорема 2. В зависимости от величины m_p , решением задачи (1)-(2) является вектор $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$:

1) при $m_p = m_p^*$, $\theta_i^* = 1/(v\sigma_i) > 0$, $i = \overline{1, n}$.

2) при $m_1 > m_p > m_p^*$, $\theta_i^* = \frac{m_p - m_n}{\sigma_i(\gamma - m_n v)} > 0$ $i = \overline{1, n-1}$,

$$\theta_n^* = ((m_1 - m_p) / \sigma_1 + \dots + (m_{n-1} - m_p) / \sigma_{n-1}) / (\gamma - m_n v);$$

если $(\gamma - m_n / \sigma_n) / (v - 1 / \sigma_n) < m_p < m_1$, то $\theta_n^* < 0$.

3) при $m_n < m_p < m_p^*$, $\theta_i^* = \frac{m_p - m_1}{\sigma_i(\gamma - m_1 v)} > 0$, $i = \overline{2, n}$,

$$\theta_1^* = ((m_2 - m_p) / \sigma_2 + \dots + (m_n - m_p) / \sigma_n) / (\gamma - m_1 v);$$

если $(\gamma - m_1 / \sigma_1) / (v - 1 / \sigma_1) > m_p > m_n$, то $\theta_1^* < 0$.

Поскольку индексов i , на которых целевая функция $\Psi(\theta) = \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i$ принимает максимальное на множестве Ω значение, не менее чем $n-1$ (в случае 1) их ровно n штук), можно считать, что вклад риска распределён между всеми компонентами «равномерно», за исключением той компоненты, чей вклад меньше.

Приведём следствия из теоремы 1.

Следствие 1. В ситуации 1) все компоненты $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ положительны, в ситуации 2) первые $(n-1)$ компонент положительны, последняя может быть отрицательной, в ситуации 3) последние $(n-1)$ компонент положительны, первая может быть отрицательной.

Следствие 2. Пусть в ситуации 2) последняя компонента отрицательна. Если уменьшить m_p , положив $m_p = (\gamma - m_n/\sigma_n)/(\nu - 1/\sigma_n)$, при анализе снова приходим к ситуации 2), новые компоненты $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ таковы, что первые $(n-1)$ компонент положительны, последняя равна нулю.

Следствие 3. Пусть в ситуации 3) последняя компонента отрицательна. Если увеличить m_p , положив $m_p = (\gamma - m_1/\sigma_1)/(\nu - 1/\sigma_1)$, при анализе снова приходим к ситуации 3), новые компоненты $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ таковы, что последние $(n-1)$ компонент положительны, первая равна нулю.

Указанные утверждения несложно получить, выполнив простые преобразования.

Рассмотрим ситуацию 2. Требуется минимизировать риск формирования долевой структуры комплекса объектов при сохранении предпочтений. Приходим к задаче

$$\Psi(\theta) \rightarrow \min_{\theta \in D}, \quad (3)$$

$$D = \left\{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \theta_{j_k} = a_{j_k} \theta_r, k = \overline{1, s} \right\}. \quad (4)$$

Для решения задачи (3)-(4) применяем следующую процедуру.

Шаг 1. *Анализ множества J.* Возьмём $k_0 \in \overline{1, s}$ так, что $\max_{k=1, s} a_{j_k} \sigma_{j_k} = a_{j_{k_0}} \sigma_{j_{k_0}}$. Если $\sigma_r \geq a_{j_{k_0}} \sigma_{j_{k_0}}$, переходим к шагу 2. Если $\sigma_r < a_{j_{k_0}} \sigma_{j_{k_0}}$, перепишем ограничения, связывающие переменные (4) в виде

$$\theta_r = \frac{1}{a_{j_{k_0}}} \theta_{j_{k_0}}, \theta_{j_k} = \frac{a_{j_k}}{a_{j_{k_0}}} \theta_{j_{k_0}}, k = \overline{1, s} \setminus \{k_0\}.$$

Включим индекс r во множество J , вместо индекса j_{k_0} , а индекс j_{k_0} исключим из этого множества, обозначив его через r . Пересчитаем коэффициенты:

$$a_{j_{k_0}} = \frac{1}{a_{j_{k_0}}}, a_{j_k} = \frac{a_{j_k}}{a_{j_{k_0}}}, k = \overline{1, s} \setminus \{k_0\}.$$

Переходим к шагу 2.

Шаг 2. *Вычисление компонент решения задачи.* Теперь, учитывая принятые выше обозначения, считаем, что для задачи (3)-(4) выполняются неравенства

$$\sigma_r \geq a_{j_k} \sigma_{j_k}, k = \overline{1, s}. \quad (5)$$

Обозначим $\chi = \sum_{i \in \overline{1, n} \setminus \{J \cup \{r\}\}} \sigma_i^{-1} + \frac{(1 + \sum_{i \in J} a_i)}{\sigma_r}$. Для получения решения задачи (3)-(4) применяем

следующий факт.

Теорема 3. Если выполняются неравенства (5), то решением задачи (3)-(4) является вектор $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ с компонентами

$$\theta_i^* = 1/(\chi \sigma_i), i \in \overline{1, n} \setminus J, \theta_{j_k}^* = a_{j_k} \theta_r^*, k = \overline{1, s}. \quad (6)$$

Доказательство. Подставим зависимости между компонентами из (4) в оценку риска – целевую функцию из (3), и воспользуемся (5):

$$\begin{aligned} \Psi(\theta) &= \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i = \max \left\{ \max_{k=1, s} \sigma_{j_k} \theta_{j_k}, \sigma_r \theta_r, \max_{i=1, n \setminus \{J \cup \{r\}\}} \sigma_i \theta_i \right\} = \\ &= \max \left\{ \max_{k=1, s} \sigma_{j_k} a_{j_k} \theta_r, \sigma_r \theta_r, \max_{i=1, n \setminus \{J \cup \{r\}\}} \sigma_i \theta_i \right\} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \max \left\{ \theta_r, \max \left\{ \max_{k=1,s} \sigma_{j_k} a_{j_k}, \sigma_r \right\}, \max_{i=1,n \setminus \{J \cup \{r\}\}} \sigma_i \theta_i \right\} = \\
 &= \max \left\{ \theta_r \sigma_r, \max_{i=1,n \setminus \{J \cup \{r\}\}} \sigma_i \theta_i \right\} = \\
 &= \max_{i=1,n \setminus J} \sigma_i \theta_i = \max \left\{ \max_{i=1,n \setminus \{J \cup \{r\}\}} \sigma_i \theta_i, \frac{\sigma_r}{\left(1 + \sum_{i \in J} a_i\right)} \left(\left(1 + \sum_{i \in J} a_i\right) \theta_r \right) \right\}.
 \end{aligned}$$

Преобразуем ограничение $\sum_{i=1}^n \theta_i = 1$ к виду $\sum_{i \in \overline{1, n} \setminus J, i \neq r} \theta_i + \left(1 + \sum_{i \in J} a_i\right) \theta_r = 1$. Обозначим

$$\tilde{\theta}_r := \left(1 + \sum_{i \in J} a_i\right) \theta_r, \quad \tilde{\sigma}_r := \frac{\sigma_r}{\left(1 + \sum_{i \in J} a_i\right)}, \quad \tilde{\theta}_k := \theta_k, \quad k \in \overline{1, n} \setminus \{J \cup \{r\}\}. \tag{7}$$

Пусть $\tilde{\theta}$ – вектор, составленный из компонент $\tilde{\theta}_i, i \in \overline{1, n} \setminus J$. Для отыскания решения задачи

$$\max_{i \in \overline{1, n} \setminus J} \tilde{\sigma}_i \tilde{\theta}_i \rightarrow \min_{\left\{ \tilde{\theta} \in R^{n-s}: \sum_{i \in \overline{1, n} \setminus J} \tilde{\theta}_i = 1 \right\}}$$

воспользуемся теоремой 1:

$$\tilde{\theta}_i^* = 1 / \left(\tilde{\sigma}_i \sum_{i \in \overline{1, n} \setminus J} \tilde{\sigma}_i^{-1} \right), \quad i \in \overline{1, n} \setminus J.$$

Применяя обозначения (7) и вспоминая определение множества D , получаем (6).

Теорема доказана.

Пример. Рассмотрим 8 аппаратов, осуществляющих различную по качеству упаковку изделий, показатели риска и доходности которых даны на рис. 1.

i	sigma_i	m_i
1	15	9
2	13	7
3	12	6
4	11	5
5	10	4
6	5	3
7	4	2
8	2	1

Рис. 1. Исходные данные о рисках и доходностях

Пусть множество J содержит индексы $\{6,7,8\}, r=1, a_6 = 0.3, a_7 = 0.2, a_8 = 0.1$.

Решаем задачу (3)-(4). Следуя алгоритму, проверяем (5). Эти условия сразу выполнены, поэтому дополнительных преобразований исходных данных не понадобится (рис. 2).

teta6=0,3teta1	4,5	меньше чем	5
teta7=0,2teta1	3	меньше чем	4
teta8=0,1teta1	1,5	меньше чем	2

Рис. 2. Проверка (5)

Производим вычисления по формулам (6) (рис. 3).

teta	0,145614	0,168016	0,182017	0,198564228	0,218421	0,043684	0,029123	0,014561	1
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Рис. 3. $\theta^* \approx (0.1456, 0.168, 0.182, 0.1986, 0.2184, 0.0437, 0.0291, 0.0146)$

Предложенный метод решения задачи достаточно просто реализуем с технической точки зрения и позволяет получить точное решение для достаточно большого объема исходных данных. Для

сравнения приведём результат применения программы «Поиск решения» MS Excel для отыскания решения задачи (рис. 4).

teta	0,162149	0,145772	0,142455	0,209108966	0,243225	0,048645	0,03243	0,016215	1
------	----------	----------	----------	-------------	----------	----------	---------	----------	---

Рис. 4. Один из результатов применения «Поиск решения»

На рис. 5 приведено сравнение компонент риска и значений целевых функций задач, решённых указанными методами.

Анализ рисков		
	"Поиск решения"	Формулы (6)
$\sigma_i * teta_i$	2,432242247	2,184206507
$\sigma_i * teta_i$	1,895036828	2,184206507
$\sigma_i * teta_i$	1,709459967	2,184206507
$\sigma_i * teta_i$	2,300198621	2,184206507
$\sigma_i * teta_i$	2,432248019	2,184206507
$\sigma_i * teta_i$	0,24322422	0,218420651
$\sigma_i * teta_i$	0,129719586	0,116491014
$\sigma_i * teta_i$	0,032429896	0,029122753
целевая функция	2,432248019	2,184206507

Рис. 5. Анализ рисков

Ясно, что с использованием формул (6) получен более точный результат.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-01-00175).

ЛИТЕРАТУРА

1. Выгодчикова И.Ю. О формировании портфеля ценных бумаг с равномерно распределённым риском / И.Ю. Выгодчикова // Математика. Механика: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2010. Вып. 12. С. 18-20.
2. Выгодчикова И.Ю. О математическом моделировании структуры технической системы с равномерно распределёнными рисками / И.Ю. Выгодчикова // Вестник СГТУ. 2012. Вып. 4 (68). Серия: Математика и механика. С. 17-22.

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

Irina Yu. Vigodchikova –
Ph.D., Associate Professor
Department of Mathematics and Modeling,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 519.622.2

Д.М. Доронин

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АППРОКСИМАЦИИ ЛАГРАНЖА И КВАДРАТУРНЫХ ФОРМУЛ ГАУССА-КРИСТОФФЕЛЯ

Описан алгоритм численного метода решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод позволяет достаточно просто получать как явные, так и неявные многшаговые алгоритмы на основе аппроксимации Лагранжа и квадратурных формул Гаусса-Кристоффеля. Показано, что явный метод второго, третьего и четвёртого порядков совпадает с соответствующими формами ме-

тода Адамса-Баишфорта. Предложена новая численная схема интегрирования высокого порядка, улучшающая сходимость описанного метода.

Задача Коши, дифференциальные уравнения, аппроксимация Лагранжа, формулы Гаусса-Кристоффеля

D.M. Doronin

A METHOD FOR NUMERICAL INTEGRATION BASED ON LAGRANGE APPROXIMATION AND GAUSS-CHRISTOFFEL QUADRATURE FORMULAS

The article presents a numerical method offered for the ordinary differential equations. The method allows getting explicit and implicit multistep dynamic-order algorithms on the base of Lagrange Approximation and Gauss-Christoffel quadrature formulas. It is founded that the second, the third, and the forth order explicit methods coincide with the Adams-Bashforth equations. A new numerical schema was proposed to improve the convergence of the described method.

A Cauchy problem, differential equations, Lagrange polynomials, Gauss-Christoffel equations

Введение

В научных приложениях важной задачей является улучшение сходимости разностных схем, используемых при решении систем дифференциальных уравнений [1-3]. Однако более высокий порядок схемы приводит к большему числу операций, связанных с вычислением подынтегральной функции, что в свою очередь приводит к существенному снижению быстродействия программы. Таким образом, актуальной является задача разработки эффективного метода интегрирования, который можно использовать при решении систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

В работе предлагается аппроксимировать подынтегральную функцию полиномом Лагранжа и использовать формулы наивысшей алгебраической точности (Гаусса-Кристоффеля) [4] для вычисления значения интеграла. Следует заметить, что алгоритм получения численных схем интегрирования принципиально отличается от классических методов Эйлера, Рунге-Кутты и Адамса, поскольку в методах Эйлера и Рунге-Кутты используется разложение в ряд Тейлора, а в методе Адамса – полином Ньютона.

Постановка задачи

Пусть имеется обыкновенное дифференциальное уравнение N -го порядка (1). Это уравнение, как указано в [1], с помощью замены (2) можно свести к эквивалентной системе N дифференциальных уравнений первого порядка (3).

$$u^{(N)}(x) = f(x, u, u', u'', \dots, u^{(N-1)}) \quad (1)$$

$$u_k(x) = u^{(k)}(x); \quad u'_k(x) = u_{k+1}(x); \quad 1 \leq k \leq N \quad (2)$$

$$\begin{cases} u'(x) = u_1; \\ u''(x) = u_2; \\ \dots \\ u^{(N)}(x) = f(x, u, u', u'', \dots, u^{(N-1)}). \end{cases} \quad (3)$$

Необходимо найти функцию $u(x)$ при заданных начальных условиях (4). Это так называемая задача Коши [2].

$$\begin{cases} u(x_0) = u^{(0)}; \\ u'(x_0) = u^{(1)}; \\ u'_1(x_0) = u^{(2)}; \\ \dots \\ u'_{N-1}(x_0) = u^{(N)}. \end{cases} \quad (4)$$

Нас будут интересовать системы обыкновенных дифференциальных уравнений, для которых выполняются условия теоремы Пикара [2] и, следовательно, решение задачи Коши существует и единственно.

Описание метода решения системы дифференциальных уравнений на основе аппроксимации Лагранжа

В работе предложен метод решения системы уравнений (3), в соответствии с которым подынтегральная функция аппроксимируется полиномом в форме Лагранжа. Далее для вычисления полученного интеграла используются формулы Гаусса-Кристоффеля, известные как формулы наивысшей алгебраической точности.

Будем решать систему уравнений (3) предложенным методом. Для этого рассмотрим задачу Коши для одного уравнения первого порядка (5), затем обобщим решение на случай системы.

$$u'(x) = f(x, u(x)), \tag{5}$$

где переменная x определена на некотором отрезке $[a; b]$.

Интегрируя уравнение (5), преобразуем его к эквивалентному интегральному уравнению типа Вольтерра (6).

$$u(x) = u(a) + \int_a^x f(\tau, u(\tau)) d\tau \tag{6}$$

Обозначим точное решение уравнения переменной y и разобьём исследуемую область $[a; b]$ на N частей. Обозначим значение аргумента x на левой границе $x_0=a$, на правой границе – $x_N=b$, тогда для произвольного узла с индексом $i \in [0; N]$ будет справедливо выражение

$$x_i = x_0 + (b - a) \frac{i}{N} \tag{7}$$

Далее будем рассматривать подынтегральную функцию в (6) не на всей плоскости её аргументов, а на определённой интегральной кривой $u(x)$, соответствующей искомому решению, тогда она будет функцией одного аргумента

$$F(x) = f(x, u(x)) \tag{8}$$

Пусть известно приближённое решение y_n в некоторой точке x_n , тогда приближённое решение в следующей точке сетки будет определяться по формуле

$$y_{n+1}(x) = y_n + \int_{x_n}^{x_{n+1}} F(x) dx \tag{9}$$

Аппроксимируем подынтегральную функцию полиномом Лагранжа k -го порядка по k известным приближённым решениям в предыдущих точках. Тогда уравнение (9) будет иметь следующий вид:

$$y_{n+1} = y_n + \sum_{i=n-k}^n F(x_i) \int_{x_n}^{x_{n+1}} l_i(x) dx, \tag{10}$$

где $l_j(x) = \prod_{k=0, j \neq k}^n \frac{x - x_k}{x_j - x_k}$ – базис полинома Лагранжа.

Далее линейным преобразованием аргумента (11) перейдём к пределам интегрирования $[-1; 1]$, при которых подынтегральная функция представляет собой формулу Гаусса-Кристоффеля с весовым множителем, равным единице. Значение подынтегральной функции находится с помощью узлов и весов полинома Лежандра [5], обозначенных переменными ξ_k и γ_k соответственно. Обратным линейным преобразованием можно получить узлы и веса для произвольного отрезка $[a, b]$.

$$x_k = \frac{1}{2}(a + b) + \frac{1}{2}(b - a)\xi_k; \quad c_k = \frac{1}{2}(b - a)\gamma_k \tag{11}$$

Узлы полиномов Лежандра ξ_k могут быть определены, например, одним из методов одномерной оптимизации, а веса γ_k по формуле (12), результаты приведены в табл. 1.

$$\gamma_k = \frac{1}{P'_M(\xi_k)} \int_{-1}^1 \frac{P_M(\chi)}{\chi - \xi_k} d\chi, \tag{12}$$

где $P_n(x) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n (x^2 - 1)^n}{dx^n}$ – полином Лежандра степени n .

Узлы ξ_k и веса γ_k полиномов Лежандра.
 k – индекс коэффициента, M – порядок полинома Лежандра

$M \backslash k$		1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	ξ_k	-0.5774	0.5774							
	γ_k	1.0000	1.0000							
3	ξ_k	-0.7746	0.0000	0.7746						
	γ_k	0.5556	0.8889	0.5556						
4	ξ_k	-0.8611	-0.3400	0.3400	0.8611					
	γ_k	0.3479	0.6521	0.6521	0.3479					
5	ξ_k	-0.9062	-0.5385	0.0000	0.5385	0.9062				
	γ_k	0.2369	0.4786	0.5689	0.4786	0.2369				
6	ξ_k	-0.9325	-0.6612	-0.2386	0.2386	0.6612	0.9325			
	γ_k	0.1713	0.3608	0.4679	0.4679	0.3608	0.1713			
7	ξ_k	-0.9491	-0.7415	-0.4058	0.0000	0.4058	0.7415	0.9491		
	γ_k	0.1295	0.2797	0.3818	0.4180	0.3818	0.2797	0.1295		
8	ξ_k	-0.9603	-0.7967	-0.5255	-0.1834	0.1834	0.5255	0.7967	0.9603	
	γ_k	0.1012	0.2224	0.3137	0.3627	0.3627	0.3137	0.2224	0.1012	
9	ξ_k	-0.9682	-0.8360	-0.6134	-0.3243	0.0000	0.3243	0.6134	0.8360	0.9682
	γ_k	0.0813	0.1806	0.2606	0.3123	0.3302	0.3123	0.2606	0.1806	0.0813

Используя формулы Гаусса-Кристоффеля, получим выражение (13) для приближённого вычисления подынтегральной функции в (10).

$$\int_a^b l_i(x) dx \cong \sum_{j=1}^M c_j l_i(x_j), \quad (13)$$

где $c_j = \frac{1}{2}(b-a)\gamma_j$, M – порядок полинома Лежандра, $x_j = \frac{1}{2}(a+b) + \frac{1}{2}(b-a)\xi_j$.

Для равномерного шага $a = x_n$, $b = x_{n+1}$, $b-a = h$, $a+b = 2x_n + h$ с учётом (14) получим формулу (15).

$$c_j = \frac{h}{2}\gamma_j; \quad x_j = x_n + \frac{h}{2}(1 + \xi_j) \quad (14)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{2} \sum_{i=n-k}^n F(x_i) \sum_{j=1}^M \gamma_j l_i(h\Omega_j), \quad (15)$$

где $\Omega_j = \frac{x_n}{h} + \frac{1}{2}(1 + \xi_j)$.

Запишем базисную функцию Лагранжа в более удобной для численных вычислений форме (16).

$$l_i(x) = \prod_{\substack{j=n-k, \\ i \neq j}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} = \prod_{\substack{j=n-k, \\ i \neq j}}^n \frac{\frac{x - x_n}{h} + (n - j)}{i - j} \quad (16)$$

Точность численных вычислений (16) может быть повышена, если использовать не вещественные значения x_k , а их целочисленные индексы k

$$l_i(h\Omega_j) = \prod_{\substack{j=n-k, \\ i \neq j}}^n \frac{\frac{1}{2}(1 + \xi_j) + (n - j)}{i - j} \quad (17)$$

Поскольку в выражение (17) входят константные значения, не зависящие ни от пределов интегрирования, ни от текущего значения переменного аргумента, его можно преобразовать к виду (18). Значения коэффициентов λ_i для разных порядков полинома Лагранжа представлены в табл. 2, для вычисления последних использовались полиномы Лежандра 5-го порядка:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{24} \sum_{i=n-k}^n \lambda_i F(x_i) \quad (18)$$

Таблица 2

Значения коэффициентов λ_i для разных порядков полинома Лагранжа

k	λ_{n-8}	λ_{n-7}	λ_{n-6}	λ_{n-5}	λ_{n-4}	λ_{n-3}	λ_{n-2}	λ_{n-1}	λ_n
1	0	0	0	0	0	0	0	36	-12
2	0	0	0	0	0	0	46	-32	10
3	0	0	0	0	0	55	-59	37	-9
4	0	0	0	0	63	-92	87	-42	8.37
5	0	0	0	71	-132	166	-122	48	-7.92
6	0	0	79	-177	280	-273	162	-53	7.57
7	0	86	-229	433	-529	417	-207	59	-7.3
8	93	-285	631	-925	912	-603	257	-64	7.08

Было замечено, что полученные значения λ_i совпадают с коэффициентами метода Адамса соответствующего порядка решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Представленный в работе метод может быть полезен для получения коэффициентов численных схем Адамса-Башфорта и Адамса-Башфорта-Мултона высокого порядка, аналитическое вычисление которых вызывает определённые трудности.

Оценка эффективности метода для жёстких задач

Оценка эффективности предложенного метода осуществлялась на модельной задаче Коши (19) с отрицательными коэффициентами a_i , определяющими жёсткость задачи.

$$\frac{dy_i}{dx} = a_i y + f_i(x), \quad 1 \leq i \leq n, \quad 0 < x \leq 1, \quad (19)$$

Для данной задачи можно ввести коэффициент жёсткости (20).

$$S(x) = \frac{\max_{1 \leq i \leq n} |\operatorname{Re}(-\lambda_i(x))|}{\min_{1 \leq i \leq n} |\operatorname{Re}(-\lambda_i(x))|} \quad (20)$$

где λ_i – собственные числа якобиана системы уравнений (19).

Систему дифференциальных уравнений считают жёсткой, если коэффициент жёсткости больше единицы $S(x) > 1$.

Оценим эффективность применения разработанного метода различных порядков на примере задачи (21) [5], являющейся частным случаем системы уравнений (19).

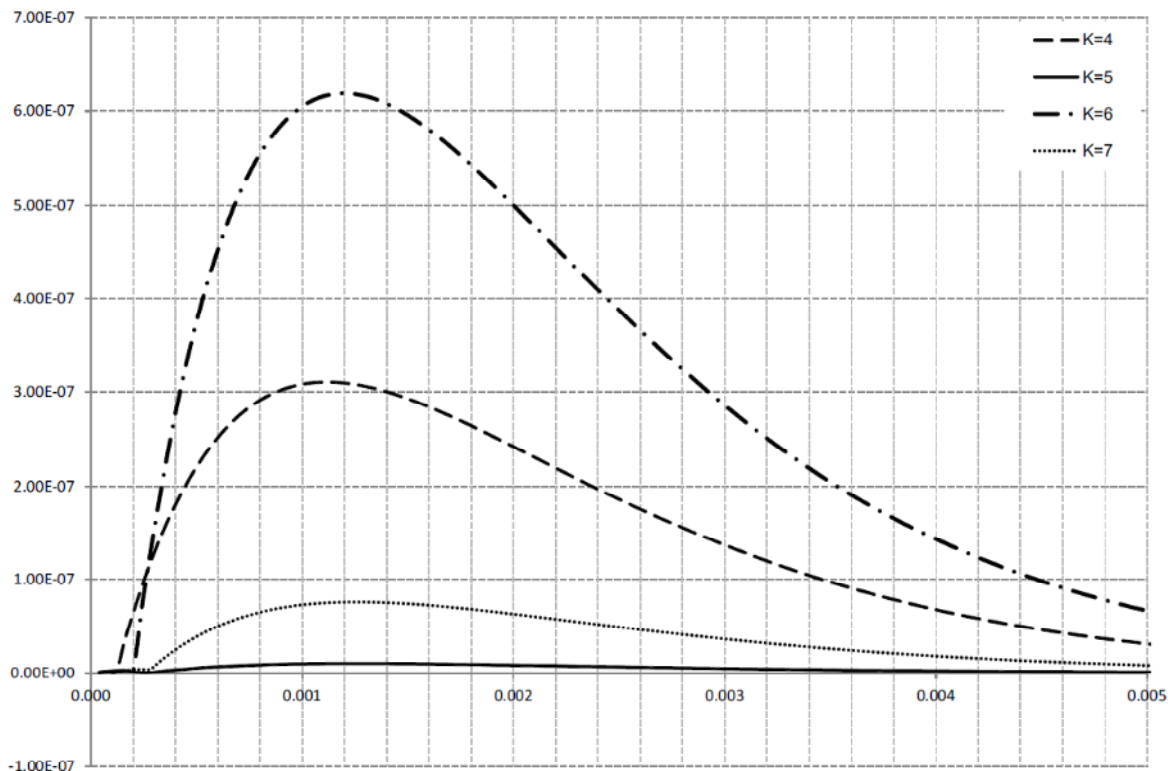
$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dx} = 998y_1 + 1998y_2, y_1(0) = 1 \\ \frac{dy_2}{dx} = -999y_1 - 1999y_2, y_2(0) = 0 \end{cases}, \quad (21)$$

Собственные значения якобиана J таковы: $\lambda_1 = 2560$ и $\lambda_2 = 1559$ – следовательно, коэффициент жёсткости $S = 1.64$. Согласно [5] система является жёсткой, а её точное решение (21) может быть найдено по аналитической формуле (22).

$$\begin{cases} y_1(x) = 2 \exp(-4x) - \exp(-10000x) \\ y_2(x) = -\exp(-4x) - \exp(-10000x) \end{cases} \quad (22)$$

На рисунке приведена оценка отклонения численного решения системы уравнений (21) от точного решения (22) на отрезке $0 \leq x \leq 0.01$. Установлено, что оптимальный результат наблюдается для схем 6-го порядка, когда $k = 5$, далее с увеличением порядка ошибка растёт. Это объясняется ухудшением интерполяции на границах интервала интегрирования. Для устранения этого дефекта предлагается выбирать узлы интерполяции в соответствии с нулями полинома Чебышева. Такая методика приводит к новым схемам интегрирования, в частности для метода восьмого порядка была получена схема

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{24} (52.298f_{n-6} - 41.820f_{n-5} + 21.244f_{n-3} - 12.420f_{n-1} + 4.698f_n) \quad (23)$$



Распределение отклонения численного решения системы дифференциальных уравнений от точного решения для разработанного метода различных порядков (для $K=7$ представлена модифицированная схема)

Заключение

Получен новый многошаговый численный метод интегрирования на основе аппроксимации Лагранжа и квадратурных формул Гаусса-Кристоффеля для решения задач Коши и численного вычисления интегралов. Метод позволяет достаточно просто получать явные и неявные многошаговые алгоритмы без обычно используемых громоздких выводов. Показано, что явные методы второго, третьего и четвертого порядков совпадают с соответствующими формами метода Адамса-Башфорта, вероятно, разработанный метод будет совпадать со схемами Адамса и для более высоких порядков. Проведенный анализ устойчивости метода при решении жёстких задач показал, что явные схемы метода не являются достаточно устойчивыми, поэтому для этого класса задач интерес представляют неявные схемы. Предложена методика улучшения качества схем высокого порядка за счёт выбора

узлов интерполяции вблизи нулей полиномов Чебышева, представлена модифицированная схема явного метода восьмого порядка. Для решения прикладных задач рекомендуется использовать явную схему шестого порядка или модифицированную схему восьмого порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каханер Д. Численные методы и программное обеспечение / Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш. М.: Мир, 2001. 575 с.
2. Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. М.: ВХВ, 2011. 596 с.
3. Хайрер Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жёсткие и дифференциально-алгебраические задачи / Э. Хайрер, Г. Ваннер. М.: Мир, 1999. 685 с.
4. Самарский А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. М.: Наука, 1989. 432 с.
5. Numerical Recipes in C : the art of scientific computing / William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery. 2nd ed. Cambridge University Press, 1993. 1020 p.

Доронин Дмитрий Михайлович – аспирант кафедры «Радиотехника и электродинамика» Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Dmitri M. Doronin – graduate department of Radiotrician and electrodynamics
N.G. Chernyshevski Saratov State University

Статья поступила в редакцию 10.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 624.044

О.В. Иноземцева, М.О. Фролов

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ОСНОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ НА БАЗЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ

Рассматривается проблема расчета оснований зданий и сооружений с учетом неоднородности деформационных свойств оснований. На примере двухслойного основания строится расчетная модель основания и производится качественный анализ напряженно-деформированного состояния основания в рамках упругой задачи.

Грунт, математическая модель, неоднородное основание, напряженно-деформируемое состояние

O.V. Inozemtseva, M.O. Frolov

ANALYSIS OF THE STRESS AND STRAIN STATE OF A NONHOMOGENEOUS FOUNDATION USING A MODEL BASED ON THE NAVIER EQUATIONS

The article considers the problem related with calculating the foundation parameters for buildings and constructions taking into account the heterogeneity of deformation properties of foundations. A two-layer footing is used as an example for the design model of the foundation, and the qualitative analysis is applied for the stress and strain state of the foundation as part of solving the problem of elasticity.

Soil, a mathematical model, heterogeneous footing, stress and strain state

Распространенной задачей при расчетах фундаментов зданий и сооружений является расчет балок и плит, лежащих на грунтовой основе. Численный анализ системы «фундаментная конструкция – основание» обычно базируется на моделях оснований, которые по-разному распределяют контактные напряжения между массивом грунта и фундаментными конструкциями конечной жесткости. Наибольшее распространение при инженерных расчетах фундаментных конструкций конечной жесткости получила модель местных деформаций (модель Винклера) и модель упругого полупространства. Гипотезы, принимаемые при построении моделей оснований в целях упрощения практических расчетов, зачастую приводят к расхождению с опытными результатами и некоторым искажениям физической стороны задач. Например, главным недостатком модели местных деформаций является невозможность учета распределительных свойств грунта. Модель упругого полупространства, на-

против, превышает осадки за пределами нагрузки на основание [1]. Тем не менее эти и другие модели грунтового основания, такие как модель П.Л. Пастернака, модель Сеницына, модель И.И. Черкасова и Г.К. Клейна, Модель Филоненко-Бородича, модель В.З. Власова и другие, широко применяются в инженерных расчетах оснований сооружений.

В целях более полного описания напряженного состояния неоднородной грунтовой среды целесообразно рассматривать основание в виде области грунтового массива конечных размеров. Размеры этой области должны ограничиваться таким образом, чтобы краевые эффекты на границах не сказывались на напряжениях в основании непосредственно под фундаментной конструкцией [2]. Такой подход позволяет рассматривать систему «фундаментная конструкция – неоднородное основание» в рамках единой модели, которая описывается фундаментальными соотношениями механики. При этом для вычислений можно использовать известные численные математические методы в зависимости от характера задачи. Учет нелинейных процессов деформирования основания, а также нелинейных процессов изменения его свойств во времени при такой постановке возможен при использовании уравнений НДС, записанных в инкрементальной форме [3, 4].

Неоднородность оснований чаще всего представлена в виде напластований слоев грунтов с различными физико-механическими характеристиками. При взаимодействии с сооружением такое основание переходит в сложное напряженно-деформируемое состояние. Попробуем в рамках линейно-упругой задачи выполнить численный анализ системы «фундаментная конструкция – неоднородное основание» применительно к многослойным основаниям. В качестве модельного примера рассмотрим прямоугольную фундаментную плиту, расположенную на двухслойном основании, под которым находится несжимаемый грунт (рис. 1). Плита с соотношением сторон $l/b > 10$ нагружена равномерно распределенной нагрузкой. Это условие позволяет перейти к решению плоской симметричной задачи.

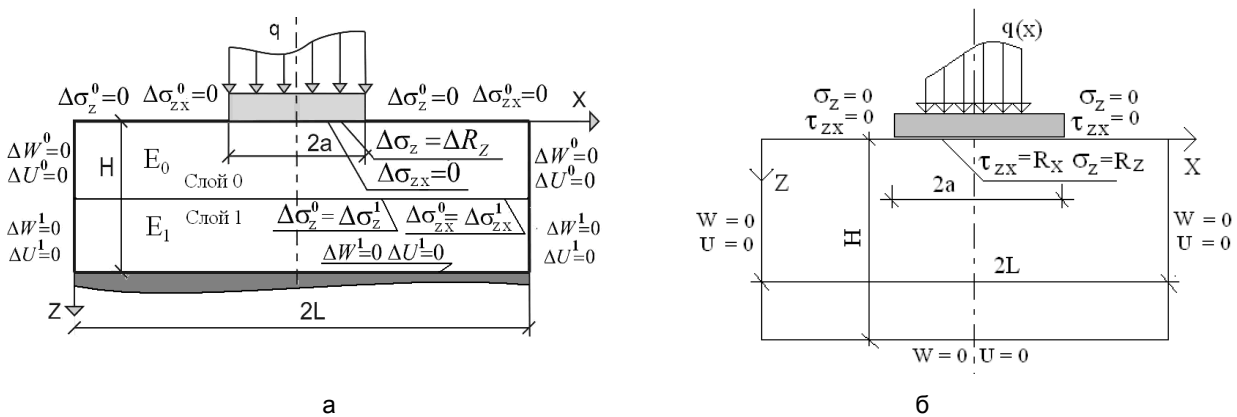


Рис. 1. Расчетные схемы конструкции на упругом основании: а – для двухслойного основания; б – для однослойного основания.

Модель будем строить для двухслойного основания в приращениях относительно искомых функций вертикальных и горизонтальных перемещений, что позволит изучать изменение напряженно-деформированного состояния при изменении соотношения толщин слоев основания. Это возможно при развитии в основании фундаментной конструкции неоднородности, обусловленной природными или техногенными воздействиями. Так, например, подъем грунтовых вод и изменение физико-механических характеристик грунта основания в связи с изменением его влажности увеличивает толщину увлажненного слоя (слой 1 на рис. 1а). Процессы такого рода обычно являются нелинейными.

Для линейно упругого основания иллюстрацией такого подхода будет модель, объединяющая уравнения Ляме для плоской задачи и уравнения изгиба фундаментной конструкции (балки):

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \lambda \nabla^2 \Delta U = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \lambda \nabla^2 \Delta W = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где $\nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$; $\Delta = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z}$; $\lambda = \frac{1 - \bar{\mu}}{1 + \bar{\mu}}$; $\bar{\mu} = \frac{\mu}{1 - \mu}$.

Граничные значения для функций перемещений за исключением границы поверхности основания принимаем равными нулю по всему контуру области (рис. 1а).

На поверхности основания задаются граничные условия для касательных и нормальных напряжений. На части поверхности основания, взаимодействующей с нагруженной фундаментной балкой, силы трения определяют реактивный отпор $R_x(x)$, а величина вертикального давления, передаваемого на поверхность основания со стороны балки, будет равна вертикальному отпору $R_z(x)$. Вертикальный отпор связан условием равновесия балки с величиной ее изгибной жесткости (EJ) и характером нагрузки $q(x)$:

$$R_z(x) = q(x) - EJ \frac{\partial^4 W(x)}{\partial x^4}. \quad (2)$$

В данном случае будем пренебрегать трением, и считать поверхность контакта балки и основания гладкой, а реакции контакта направленными по нормали к этой поверхности. Полагаем также, что вертикальные перемещения поверхности основания и нижней поверхности балки происходят совместно без отрыва. Тогда функция вертикальных перемещений поверхности основания и линия прогиба оси балки тождественны и решение задачи находится на основе совместного решения системы уравнений Ляме с уравнением изгиба балки, входящим в систему уравнений через граничные условия, записанные для участка поверхности основания, контактирующего с балкой. В итоге модель системы «основание – балка» представлена системой дифференциальных уравнений в частных производных и отпадает необходимость во введении аппроксимирующих функций. Принимая в качестве дискретизации такой модели метод «сеток» можно определить вертикальные и горизонтальные компоненты $(W(x,z), U(x,z))$ вектора перемещений.

Проведем сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния однослойного однородного основания (рис. 1б) и двухслойного основания со слоями отличающимися значениями модуля деформаций (E_0 – для верхнего слоя, E_1 – для нижнего слоя, рис. 1а). Расчетная схема и граничные условия представлены на рис. 1.

В случае плоской задачи математическую модель задачи для системы «фундаментная плита – среда основания» будем строить на основе уравнений равновесия Навье:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения статики основания рассматриваются совместно с уравнениями изгиба балки (рис. 2). Величина вертикального давления, передаваемого на поверхность основания со стороны балки, будет равна вертикальному отпору $R_z(x)$:

$$R_z(x) = q(x) - EJ \frac{\partial^4 W(x)}{\partial x^4}; \quad R_x(x) = 0. \quad (4)$$

Кроме того, размеры области интегрирования в рассматриваемой задаче выбираем в соответствии с условием затухания компонент вектора перемещений на ее границах. Таким образом, граничные значения для перемещений принимаем равными нулю по всему контуру области за исключением границы поверхности основания. В такой постановке рассматривалась математическая модель в работах [3-5]. На линии контакта слоев выполняются условия, наложенные на компоненты вектора напряжений (рис. 1).

Принимая в качестве дискретизации такой модели метод сеток можно определить вертикальные и горизонтальные компоненты вектора перемещений $\{W(z,x), U(z,x)\}$.

В итоге модель системы «фундаментная конструкция – основание» на базе уравнений равновесия Навье представляет собой совокупность уравнений равновесия (3), физических соотношений для плоской задачи (закон Гука) и граничных условий на поверхности контакта основания и балки (2) и соотношений Коши (3):

$$e_x = \frac{\partial U}{\partial x}; \quad e_z = \frac{\partial W}{\partial z}; \quad e_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial z} \right); \quad (5)$$

Здесь следует заметить, что записанное граничное условие на поверхности контакта балки и основания (4) является дифференциальным уравнением четвертого порядка, следовательно, требует введения дополнительных граничных условий. Такими условиями являются выражения для внутренних усилий по краям балки, свободно лежащей на основании (рис. 1):

$$M(x)|_{x=L-a;L+a} = 0; \quad Q(x)|_{x=L-a;L+a} = 0. \quad (6)$$

В итоге получаем замкнутую систему определяющих уравнений задачи.

На рис. 2(а) представлена эпюра вертикальных перемещений по толщине однослойного основания. Соответствующая эпюра вертикальных перемещений по длине слоя основания представлена на рис. 2б. Здесь следует отметить график вертикальных перемещений, полученный для поверхности несущего слоя основания и для линии контакта поверхности слоя основания и фундаментной балки. Полученные результаты предполагают значительную неоднородность (концентрацию) поля деформаций ξ_z (напряжений) в угловой точке под торцом фундаментной балки (рис. 4а).

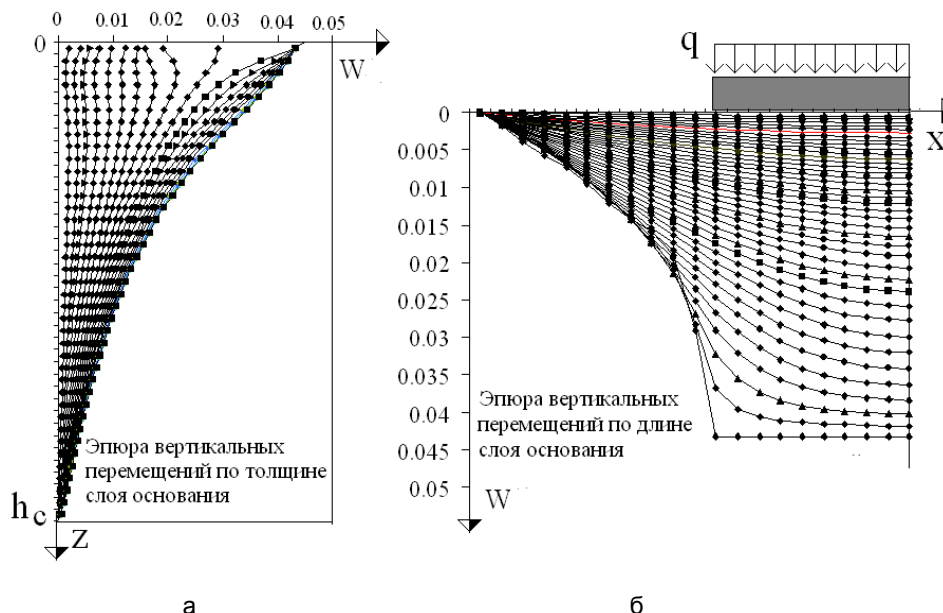


Рис. 2. Эпюра вертикальных перемещений однослойного основания

Горизонтальные перемещения по объему слоя основания $U(x, z) \cdot 10^3 [м]$ представлены на рис. 3а. График горизонтальных перемещений по поверхности слоя основания и по линии контакта слоя основания и подошвы фундаментной балки ($z=0$) представлен на рис. 3б. Здесь очевидно, что в узкой приповерхностной зоне основания смена знака и возрастание значений горизонтальных перемещений.

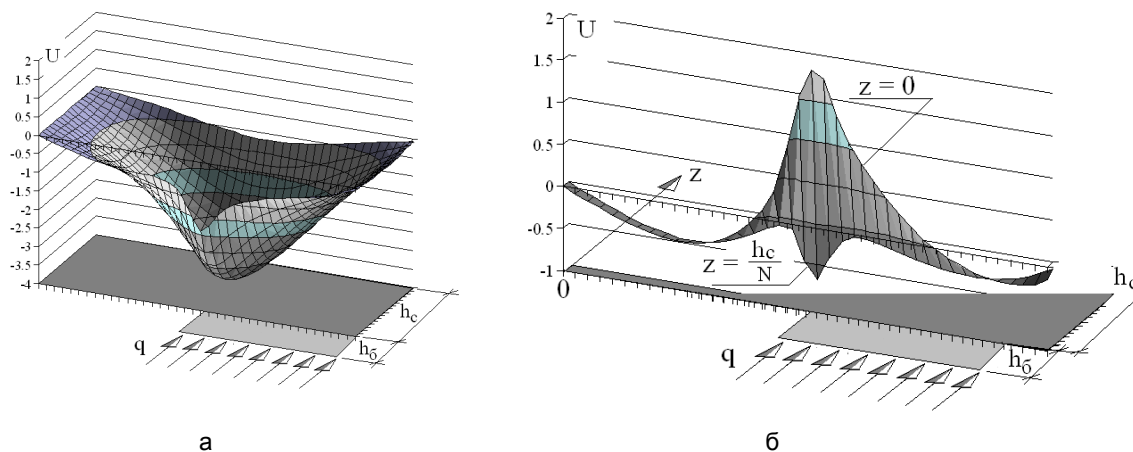


Рис. 3. Эпюры горизонтальных перемещений однослойного основания:
а – перемещения по объему основания; б – перемещения приповерхностной зоны основания

В соответствии с эпюрой горизонтальных перемещений получим эпюру горизонтальных деформаций $\xi_x \cdot 10^3 [м]$ по объему слоя основания. На рис. 4 б показана эпюра горизонтальных деформаций по объему основания и в приповерхностной зоне. Здесь можно отметить зону концентрации деформаций под торцом фундаментной балки.

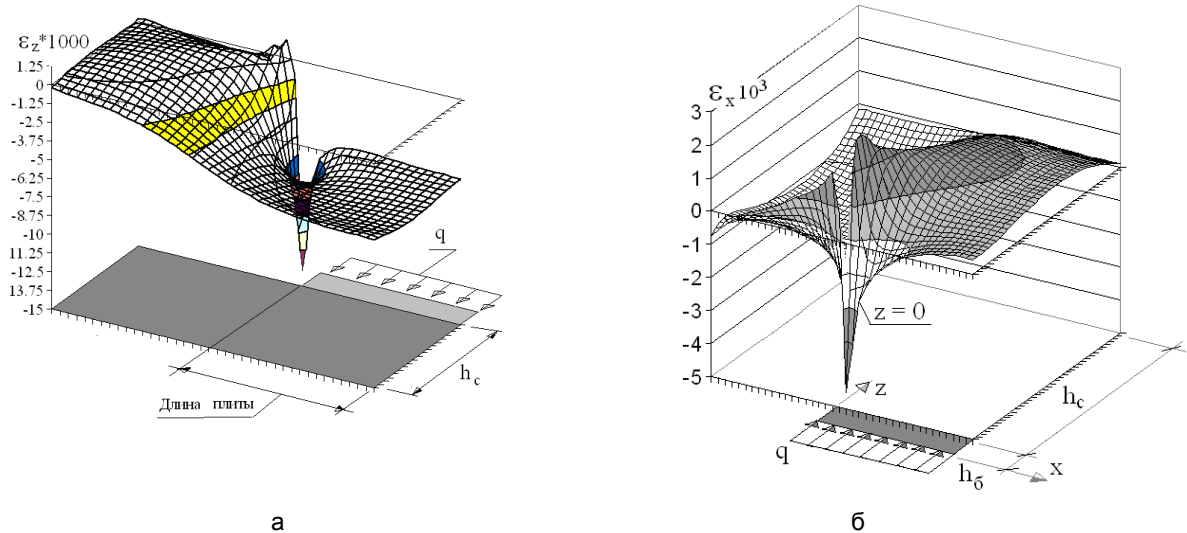


Рис. 4. Эпюры деформаций однослойного основания: а – вертикальные деформации основания; б – горизонтальные деформации основания

Приведем для сравнения аналогичные эпюры перемещений для двухслойного основания. Рассмотрим двухслойное основание с отношением модулей деформаций слоев $E_1 / E_0 = 4$. На рис. 5 а показана эпюра вертикальных перемещений.

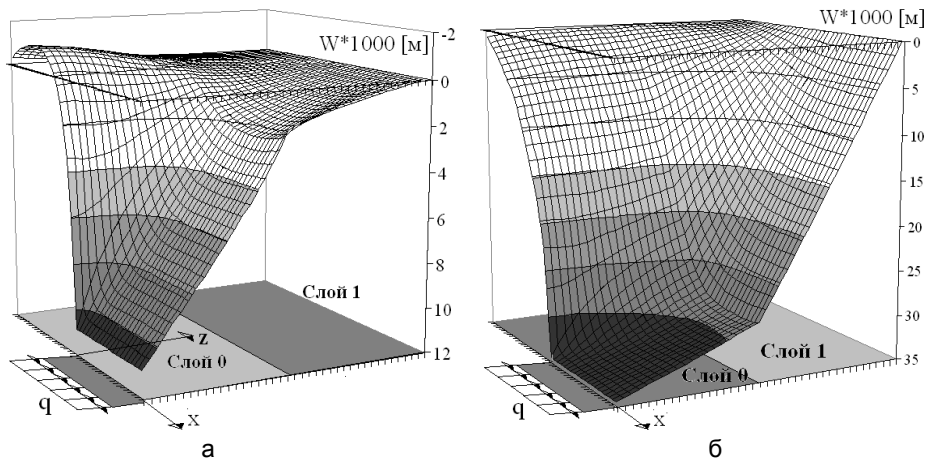


Рис. 5. Эпюры вертикальных перемещений двухслойного основания: а – перемещения основания с соотношением модулей деформаций слоев $E_1 / E_0 = 4$; б – перемещения основания с соотношением модулей деформаций слоев $E_1 / E_0 = 1/4$

Для сравнения на рис. 5 б показана эпюра вертикальных перемещений для отношения модулей деформаций слоев $E_1 / E_0 = 1/4$. На этих рисунках можно видеть существенное влияние неоднородности модуля деформаций слоев основания на эпюры вертикальных перемещений по сравнению с эпюрами для однородного основания на рис. 2. При этом влияние неоднородности основания на эпюры вертикальных перемещений носит скорее количественный, чем качественный характер. Качественное влияние неоднородность основания оказывает на эпюры горизонтальных перемещений. На рис.6 показаны эпюры горизонтальных перемещений.

В отличие от эпюр горизонтальных перемещений для однородного основания (рис. 3), где можно видеть концентрацию перемещений в узкой приповерхностной зоне основания со сменой знака и резким возрастанием значений горизонтальных перемещений, для двухслойного основания этот эффект несколько сглажен. Так, для двухслойного основания при отношении модулей деформаций слоев $E_1 / E_0 = 4$ концентрация перемещений имеет место, и смена знака перемещений исчезает. Эпюра перемещений для приповерхностной зоны напоминает эпюру перемещений для однородного основания на рис. 3. Для двухслойного основания при отношении модулей деформаций слоев $E_1 / E_0 = 1/4$ концентрация перемещений в угловой точке под торцом балки имеет более сглаженный вид.

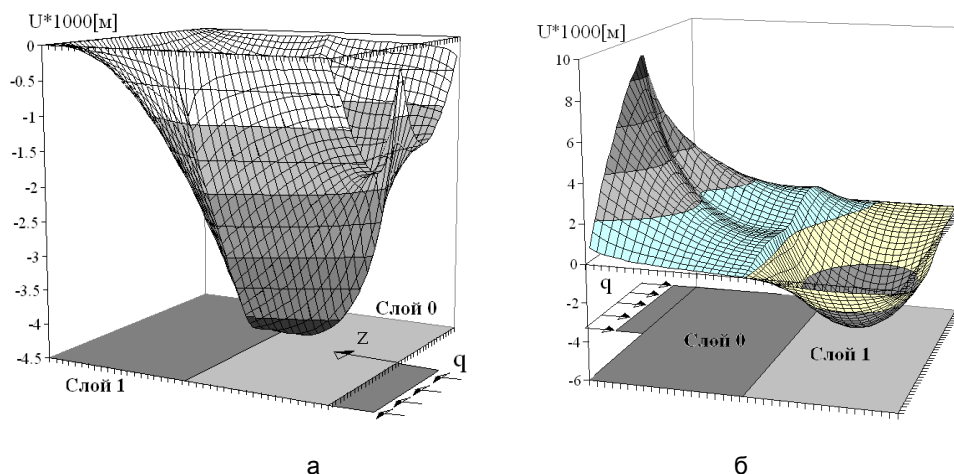


Рис. 6. Эпюры вертикальных перемещений двухслойного основания: а – перемещения основания с соотношением модулей деформаций слоев $E_1/E_0 = 4$; б – перемещения основания с соотношением модулей деформаций слоев $E_1/E_0 = 1/4$

Таким образом, модель основания на базе уравнений равновесия Навье позволяет проследить изменение НДС точек основания по его глубине. В рамках упругой задачи можно отметить существенное качественное влияние неоднородности основания на распределение перемещений по его толщине. Более точный учет характера влияния неоднородности на НДС основания возможен при учете нелинейного характера его деформирования, а также при учете специфических свойств грунта. Используемые соотношения расчетной модели позволяют в дальнейшем распространять ее на подобные классы задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. М.: Стройиздат, 1984. 679 с.
2. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. Киев: Сталь, 2002. 600 с.
3. Иноземцева О.В. Инкрементальная модель для расчета осадок фундаментных конструкций в условиях наведенной неоднородности их оснований: сб. науч. тр. / О.В. Иноземцева, А.С. Зиновьев // Совершенствование методов расчета строительных конструкций и технологии строительства. Саратов: СГТУ, 2007.
4. Иноземцев В.К. Инкрементальная модель для исследования устойчивости высотного сооружения на неоднородном основании / В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева, Н.Ф. Синева // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Обзорно-аналитический и научно-технический журнал. 2008. № 2. С. 41-46.
5. Иноземцев В.К. Расчет бифуркационной устойчивости системы «сооружение – слой основания» с учетом физической нелинейности основания / В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева, К.А. Стрельникова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Обзорно-аналитический и научно-технический журнал. 2010. № 4. С. 51-55.

Иноземцева Ольга Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Фролов Михаил Олегович – аспирант кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

Olga V. Inozemtseva – Ph.D., Associate Professor, Department of the Theory of Buildings Structures Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Mikhail O. Frolov – Postgraduate Department of the Theory of Buildings Structures Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

А.Н. Куцемако

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГИБКОЙ ОБОЛОЧКИ

Разработана методика численного решения задачи разыскания скрытых периодичностей. Построены амплитудно-частотные характеристики свободных колебаний геометрически нелинейной пластинки и оболочки.

Динамика геометрически нелинейной оболочки, скрытые периодичности, амплитудно-частотная характеристика

A.N. Kutsemako

FREE VIBRATIONS SPECTROLOGY OF THE FLEXIBLE SHELL

A new technique dealing with the numerical solution of the problem was offered for finding hidden periodicities. Amplitude-frequency characteristics were developed for free vibrations of the geometrically nonlinear plate and shell.

Dynamics of the geometrically nonlinear shell, hidden to periodicity, gain-frequency characteristics

1. Свободные нелинейные колебания пластин и оболочек

Поставим своей целью исследовать свободные колебания однородных пластин и оболочек в зависимости от различного набора параметров задачи.

Методика решения задачи. Для решения поставленной задачи в рамках геометрически нелинейной модели Кирхгофа-Лява динамические уравнения оболочки в смешанной форме в безразмерном виде запишем [1], положив в них $q = 0$, $\varepsilon = 0$:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \nabla_k^2 F + L(w, F) - \frac{1}{12(1-\mu^2)} \left[\frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \lambda^2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right], \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \lambda^2 \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} = -\nabla_k^2 w - \frac{1}{2} L(w, w). \quad (1.2)$$

Граничные условия – шарнирное опирание на гибкие несжимаемые (нерастяжимые) в касательной плоскости ребра, которые могут быть представлены в виде

$$\begin{aligned} w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = F = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при } x = 0; 1, \\ w = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = F = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = 0 \quad \text{при } y = 0; 1. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Начальные условия

$$w|_{t=t_0} = w_0, \quad \frac{\partial w}{\partial t}|_{t=t_0} = 0, \quad (1.4)$$

где w_0 берем из решения соответствующей статической задачи.

Исходные уравнения (1.1), (1.2) решаем методом Бубнова-Галеркина в высших приближениях. Для этого искомые функции w, F , удовлетворяющие граничным условиям (1.3), представим в виде:

$$\begin{aligned} w &= \sum_{i,j} A_{ij}(t) \sin(i\pi x) \sin(j\pi y), \\ F &= \sum_{i,j} A_{ij}(t) \sin(i\pi x) \sin(j\pi y), \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$(i = 1, 2, \dots, M_x; \quad j = 1, 2, \dots, M_y; \quad n = M_x * M_y).$$

После применения к (1.1) по пространственным координатам процедуры Бубнова-Галеркина, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений по времени, а к (1.2) – систему алгебраических уравнений.

Систему дифференциальных уравнений редуцируем к нормальной и интегрируем ее методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности, на каждом шаге решая алгебраическую систему методом Гаусса.

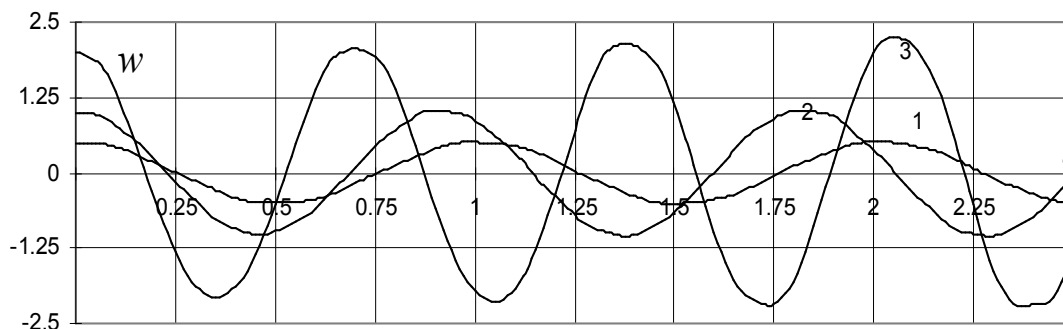


Рис. 1.1. Изменение во времени прогиба в центре квадратной пластинки при различных начальных отклонениях

На рис. 1.1 показано движение центральной точки квадратной пластинки во времени при $n = M_x * M_y = 25$ для $w_0 = 0, 5; 1; 2$.

Колебания носят, хотя и слабо выраженный, нелинейный характер и только при малых начальных отклонениях близки к гармоническим.

На рис. 1.2 – то же, но для оболочки с геометрическими параметрами $k_x = k_y = 12$ для $w_0 = 1; 3; 5$. Здесь даже при малых начальных отклонениях колебания носят ярко выраженный нелинейный характер.

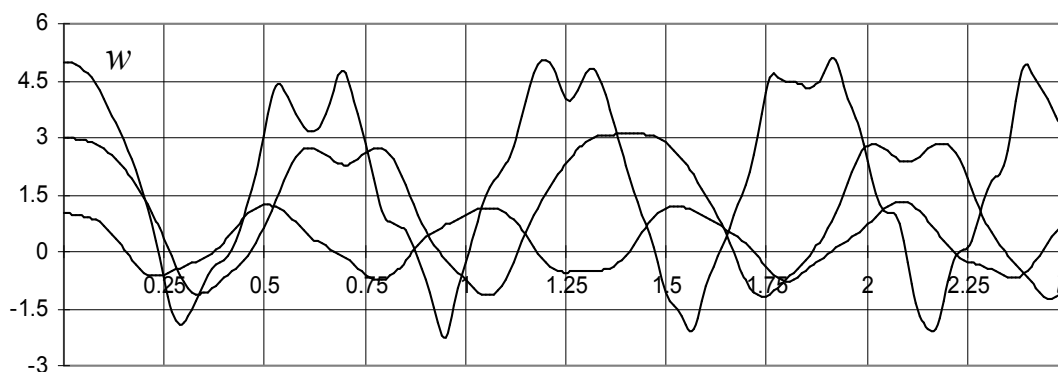


Рис. 1.2. Изменение во времени прогиба в центре квадратной оболочки ($k_x = k_y = 12$) при различных начальных отклонениях

Ясно, что при решении задач о свободных нелинейных колебаниях в высших приближениях наряду с установлением характера колебаний можно примерно оценить частоту или период рассматриваемого колебательного процесса. Основной же вопрос, каковы частоты и амплитуды гармонических составляющих этого нелинейного колебательного процесса, остается открытым.

Основная трудность при этом заключается в том, что как частоты гармоник, так и их амплитуды не сохраняют свои значения, а зависят от размаха колебаний. Другими словами, возникает необходимость построения амплитудно-частотной характеристики нелинейного колебательного процесса. В случае пластин и оболочек, как правило, ограничиваются построением амплитудно-частотной характеристики в первом приближении.

Изложим идею и подход, позволяющие решить поставленную выше задачу.

2. Спектральный анализ решения

1. Рассматривая колебания пластинки или оболочки как системы с n степенями свободы и решая систему основных уравнений численным методом, получим решение, которое позволяет довольно полно проследить во времени напряженно-деформированное состояние системы. Особый интерес для такого рода задач представляет вопрос получения или какой-то оценки спектра частот колебательной системы. Для решения такой задачи предлагается метод, который применим в тех случаях, когда решение задачи (колебательный процесс во времени) представлено в виде графика, таблицы, эмпирических формул или других выражений, из которых непосредственно ничего нельзя сказать о частотах и амплитудах гармоник.

Мы будем исходить из того, что такое решение точное, т.е. содержит достаточное число верных знаков после запятой. Это естественное условие практически всегда может быть выполнено при численном решении задачи на ЭВМ. Если это условие выполняется, то это решение содержит полную информацию о частотах и амплитудах гармоник, составляющих это колебание. Наша задача теперь состоит в разыскании этих составляющих.

Если известен период колебаний, то задача решается методом гармонического анализа, который дает амплитуды и частоты гармоник, составляющих это колебание. В общем же случае, когда не известен период колебаний, но в процессе предполагаются скрытые периодичности, математически задача может быть сформулирована следующим образом:

Известно, что некоторая функция разлагается на строго периодические составляющие, хотя эти составляющие не находятся в гармоническом отношении друг с другом, т.е. отношение их периодов не равно рациональному числу. Требуется найти неизвестные частоты и амплитуды каждой из составляющих.

В нашем распоряжении имеется большое число «ординат» (значений функции), полученных через равные промежутки времени. Выводы должны быть получены на основании информации, которую несут в себе эти ординаты. Эта задача часто называется «*разысканием скрытых периодичностей*». Ее решение находится с помощью преобразования Фурье[2].

Пусть число ординат, если процесс задан в виде графика, есть нечетное число $2N+1$. Примем за начальный момент отсчета времени $t = 0$ момент, соответствующий средней точке наших ординат. Пусть ординаты получены с интервалом времени τ , тогда, с переходом к новой переменной

$$t = \frac{1}{\tau} t_1, \quad (2.1)$$

ординаты будут соответствовать моментам времени

$$t_k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N.$$

Для ординат введем обозначение

$$f_k = f(t_k). \quad (2.2)$$

Функция $f(t)$, вообще говоря, имеет следующую форму:

$$f(t) = \sum_{\alpha=1}^j (A_{\alpha} \cos \theta_{\alpha} t + B_{\alpha} \sin \theta_{\alpha} t). \quad (2.3)$$

Число периодических компонент, обозначенных здесь через j , обычно заранее не известно.

Точно так же мы ничего не можем сказать о величинах угловых частот $\omega_{\alpha} = \frac{\theta_{\alpha}}{\tau}$. Однако мы заранее

знаем, что в новой переменной t угловые частоты θ_{α} должны ограничиваться неравенством $\theta_{\alpha} < \pi$, так как, если θ_{α} превышает этот предел, то две частоты $\pi + \beta$ и $\pi - \beta$ не могут быть различимы. Далее, положим

$$\theta_{\alpha} = \frac{\pi}{N} p_{\alpha}, \quad (2.4)$$

и пусть p_{α} принимает значения между 0 и N .

Отделим синусы от косинусов, образовав суммы и разности

$$f(t) + f(-t) = 2 \sum_{\alpha=1}^j A_{\alpha} \cos \theta_{\alpha} t, \quad f(t) - f(-t) = 2 \sum_{\alpha=1}^j B_{\alpha} \sin \theta_{\alpha} t. \quad (2.5)$$

Ординаты разделяются соответственно на две группы:

$$u_k = f_k + f_{-k}, \quad v_k = f_k - f_{-k}, \quad (k=0, 1, 2, \dots, N). \quad (2.6)$$

Воспользуемся методом преобразования Фурье, приспособленным для суммирования вместо интегрирования. Первоначальный ряд данных u_k преобразуем в новый ряд $N + 1$ амплитуд a_k при косинусах, а данные v_k – в ряд $N - 1$ амплитуд b_k при синусах. Эти амплитуды получаются умножением исходных данных на заранее составленную матрицу, содержащую косинусы и синусы углов, кратных $\frac{\pi}{N}$:

$$a_k = \sum'_{\alpha=0}^N u_{\alpha} \cos \frac{\pi}{N} \alpha k, \quad b_k = \sum_{\alpha=1}^{N-1} v_{\alpha} \sin \frac{\pi}{N} \alpha k. \quad (2.7)$$

Штрих в символе \sum' отмечает тот факт, что первое и последнее данные значения функции u_0 и u_N входят в сумму с множителем 0,5. Полученные коэффициенты a_k и b_k можно представить себе как «линейный спектр», соответствующий целым значениям p_{α} непрерывного параметра p . Весь дальнейший анализ будет применять эти две последовательности коэффициентов.

Прежде всего, рассмотрим случай, когда заданные частоты θ_{α} таковы, что все или некоторые p_{α} в формуле (2.4) оказываются *целыми числами*. В этих местах получается одиночный пик без каких - либо «хвостов». Отдельный максимум с обеих сторон сопровождается нулями.

Тогда амплитуды (2.7) непосредственно дают решение поставленной задачи. Большинство коэффициентов a_k и b_k будет равно нулю. Если некоторый коэффициент a_k или b_k не равен нулю, то это указывает, что наши исходные данные содержат частоту

$$\theta = \frac{\pi}{N} k. \quad (2.8)$$

Соответствующая амплитуда при косинусе и, соответственно, при синусе будет

$$A = \frac{1}{N} a_k, \quad B = \frac{1}{N} b_k. \quad (2.9)$$

Если, однако, максимум не попадает на целое значение, то максимальная амплитуда сопровождается с обеих сторон меньшими амплитудами. Наименьший спад получается, если максимум находится в точности на полпути между двумя целыми значениями p . Тогда схема амплитуд будет

$$\frac{1}{9}, -\frac{1}{7}, \frac{1}{5}, -\frac{1}{3}, 1, 1, -\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, -\frac{1}{7}, \dots \quad (2.10)$$

Этот слабый спад амплитуд может быть значительно ускорен, если оперировать со вторыми разностями первоначальных амплитуд. Так как знаки \pm чередуются, соответствующее соотношение будет

$$z_k = y_{k-1} + 2y_k + y_{k+1}. \quad (2.11)$$

Предыдущая схема изменяется следующим образом:

$$-\frac{8}{693}, \frac{8}{315}, -\frac{8}{105}, \frac{8}{15}, \frac{8}{3}, \frac{8}{3}, \frac{8}{15}, -\frac{8}{105}, \frac{8}{315}, \dots \quad (2.12)$$

теперь интерференция уменьшается как кубы расстояний между двумя пиками и в общем случае становится пренебрежимо малой, если только два пика, которые нужно отделить, не слишком близки друг к другу.

Точное положение максимума, вычисленное с помощью вторых разностей (фактически вторых сумм, ввиду чередующихся знаков схемы), может быть получено следующим образом. Проверяем последовательность y_k и обращаем внимание особенно на правильное чередование знаков \pm . В некоторых точках отмечаем, что чередование нарушается следованием знаков ++ или --. Подчеркиваем эти неправильности следования и устанавливаем, что пик должен находиться между двумя такими значениями p :

$$p = k \text{ и } p = k + 1. \quad (2.13)$$

В общем случае точное значение p , соответствующее некоторой частоте θ_{α} , будет лежать между двумя целыми числами k и $k + 1$.

Далее полагаем

$$p = k + \varepsilon. \quad (2.14)$$

и получаем ε при помощи интерполирования. Для этой цели пользуемся методом «вторых сумм». Составляем отношение двух последовательных z_p , соответствующих $p = k$ и $p = k + 1$:

$$q_k = \frac{z_k}{z_{k+1}}. \quad (2.15)$$

Но z_k пропорционально

$$-\frac{1}{\varepsilon - 1} + \frac{2}{\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon + 1} = \frac{2}{(\varepsilon + 1)\varepsilon(\varepsilon - 1)}, \quad (2.16)$$

а z_{k+1} пропорционально

$$\frac{1}{\varepsilon} - \frac{2}{\varepsilon - 1} + \frac{1}{\varepsilon - 2} = \frac{2}{(\varepsilon - 2)(\varepsilon - 1)\varepsilon}. \quad (2.17)$$

Составляя отношение, получаем

$$q_k = \frac{z_k}{z_{k+1}} = \frac{2 - \varepsilon}{\varepsilon + 1}, \quad (2.18)$$

откуда

$$\varepsilon = -\frac{2 - q_k}{1 + q_k}. \quad (2.19)$$

Наконец, после определения ε получаем частоту, используя соотношение θ_α :

$$\theta_\alpha = \frac{\pi}{N}(k + \varepsilon). \quad (2.20)$$

Коэффициенты A_α, B_α , соответствующие этой частоте, выражаются через амплитуды ряда Фурье a_k и b_k :

$$A_\alpha = \frac{a_k}{N} \frac{\pi \varepsilon}{\sin \pi \varepsilon}, \quad B_\alpha = \frac{b_k}{N} \frac{\pi \varepsilon}{\sin \pi \varepsilon}. \quad (2.21)$$

Описанный метод выделения периодических составляющих весьма удовлетворителен, если общее число наблюдений $2N + 1$ достаточно велико для того, чтобы изолировать два соседних «пиковых» значения. Необходимо, чтобы два последовательных значения p_α в соотношении (2.4) были отделены друг от друга, по меньшей мере, четырьмя единицами.

Если они расположены ближе друг к другу, то их взаимное влияние возрастает; в этом случае трудно выделить их надлежащим образом.

Этот метод отыскания «скрытых периодичностей» суммы периодических функций может быть назван *спектроскопическим методом*, так как он математически имитирует действие спектроскопа. Спектроскоп вскрывает частоты, из которых состоит световое излучение возбужденного атома. Эти частоты могут быть вычислены из положения «спектральных линий». Спектральные линии не являются линиями в математическом смысле, но имеют некоторую конечную ширину. Исключительная точность спектроскопических измерений обуславливается большим постоянством оптических колебаний, которое соответствует весьма большому значению величины N . Существует возможность уменьшить число N и все же сохранить высокую точность ввиду большого числа значащих цифр, которыми мы располагаем. Хотя пики теперь расположены значительно теснее, можно все же скорректировать наши предварительные результаты, рассчитав интерференцию соседних пиков и вычтя их влияние.

2. Оценим необходимую длину интервала записи (наблюдения) T непрерывного сигнала и шаг отсчета. В общем случае *отсчеты* большинства непрерывных сигналов $s(t)$ производятся через фиксированный интервал Δ , и полученные таким образом *дискретизованные* сигналы (ординаты) используются для дальнейших вычислений.

Дискретизованный сигнал можно рассматривать как результат умножения первоначального непрерывного сигнала на сигнал $i(t)$, состоящий из бесконечного ряда единичных импульсов, или дельта-функций [3]:

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta). \quad (2.22)$$

Это дает дискретизованный, или импульсно-модулированный сигнал

$$s_i(t) = s(t)i(t). \quad (2.23)$$

Следовательно, воспользовавшись теоремой о свертке, находим

$$S_i(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f - g)I(g)dg, \quad (2.24)$$

где $I(g)$ является преобразованием Фурье от $i(t)$.

Используя для $I(g)$ выражение

$$S(f) = \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(f - \frac{n}{\Delta}), \quad (2.25)$$

преобразуем

$$S_i(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f - g) \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(g - \frac{n}{\Delta}) dg = \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S(f - \frac{n}{\Delta}). \quad (2.26)$$

Последнее равенство показывает, что дискретизованный, или импульсно-модулированный сигнал $s_i(t)$ имеет периодическое преобразование Фурье с периодом $\frac{1}{\Delta}$ и, если $S(f)$ обращается в нуль при $|f| \geq \frac{1}{2\Delta}$, то $S_i(f)$ является просто периодически повторяемой функцией $S(f)$. Это означает, что можно восстановить $S(f)$ по $S_i(f)$, умножив $S_i(f)$ на $H(f)$

$$H(f) = \begin{cases} \Delta, & |f| \leq \frac{1}{2\Delta}, \\ 0, & |f| > \frac{1}{2\Delta}. \end{cases} \quad (2.27)$$

Так как умножение в частотной области соответствует свертке во временной области, то отсюда следует, что

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\pi u / \Delta)}{\pi u / \Delta} s_i(t - u) du. \quad (2.28)$$

Функция $\frac{\sin(\pi u / \Delta)}{\pi u / \Delta}$ служит идеальным фильтром для восстановления непрерывного сигнала $s(t)$ из дискретизованного сигнала $s_i(t)$.

Иначе говоря, функция $\frac{\sin(\pi u / \Delta)}{\pi u / \Delta}$ является идеальной интерполирующей функцией для равноотстоящих ординат. Следовательно, длина записи T определяет степень различимости пиков в преобразовании Фурье, а интервал отсчета Δ определяет максимальную частоту, которую можно различать.

Частота

$$f_N = \frac{1}{2\Delta} \quad (2.29)$$

называется *частотой Найквиста* [3] и представляет наивысшую частоту, которую можно обнаружить на данных, полученных с интервалом отсчета Δ .

Таким образом, для разделения двух пиков на частотах f_1 и f_2 необходимо использовать запись T порядка

$$T \geq \frac{1}{f_2 - f_1} \quad (2.30)$$

для прямоугольного окна [3].

3. Сходимость метода

Итак, мы теоретически установили, что исходные данные (длительность записи и интервал отсчета данных) определяют степень различимости пиков и так называемую частоту Найквиста, которую можно удовлетворительно выделить.

Поставим своей целью выяснить, какова сходимость данного метода по частоте и амплитуде выделяемой гармоники. Для этого сформулируем и решим модельную задачу.

Дано:

некоторая периодическая функция задана в виде таблицы с постоянным шагом, которая имеет только одну гармоническую составляющую. Шаг этой таблицы можно менять, но длительность наблюдаемой записи остается неизменной.

Требуется:

Исходя из получаемой таблицы как исходных данных с помощью предложенной методики:

- 1) выделить гармоническую составляющую, т.е. численно установить ее частоту и амплитуду,
- 2) численно оценить получаемую при этом погрешность.

Пусть такая функция будет

$$y = 5 * \cos\left(\frac{\pi}{7}t\right), \tag{3.1}$$

причем значение частоты гармоники намеренно выбрано так, чтобы применительно к нашим основным объектам исследования (оболочкам и пластинкам), это была низкочастотная гармоническая составляющая и соответствующие косинусы на основном периоде $(-\pi, +\pi)$ были достаточно произвольными числами.

Переменная t принимает значения, начиная с нуля с шагом отсчета

$$\frac{\pi}{N}. \tag{3.2}$$

Для решения сформулированной задачи используем вариант предложенной методики, использующей для разделения пиков метод вторых сумм.

Исходя из этой методики следует ожидать точное решение задачи, если выбирать N кратным 7, т.е. $N = 7, 14, \dots$, что на самом деле и происходит.

В общем случае, когда мы не знаем или не можем выполнить условие кратности, будем задавать N произвольно (не учитывая кратность), наращивая его с постоянным шагом.

В нашей задаче, очевидно, начальное значение N полагать меньше 7 не имеет смысла, так как в этом случае не обеспечивается основное условие, чтобы два соседних пика были разделены, по меньшей мере, четырьмя единицами.

Результаты проведенного исследования представлены на рис. 3.1, 3.2.

На рис. 3.1а показана зависимость частоты гармоники во всем диапазоне изменения параметра N . На рис. 3.1б в увеличенном масштабе представлен тот же график, из которого исключены малые значения параметра N .

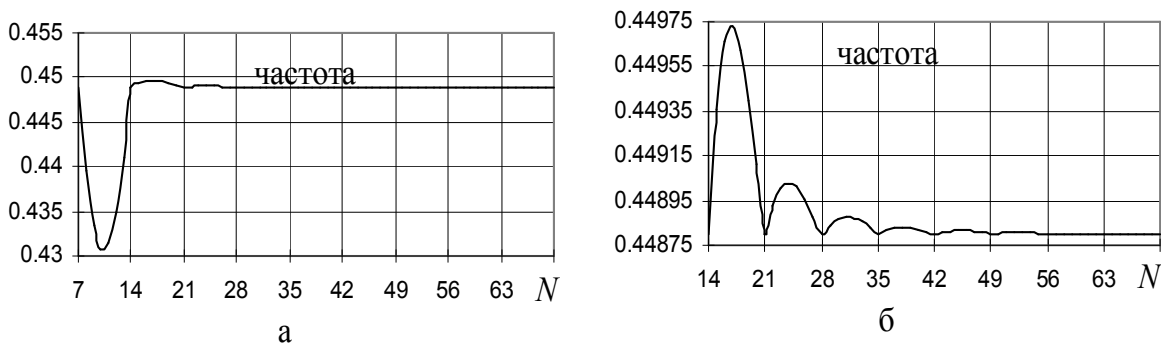


Рис. 3.1. Зависимость частоты гармоники от N числа наблюдений, сделанных через равные промежутки времени

Что касается сходимости процесса по амплитуде гармоники, то здесь можно отметить некоторые особенности. Процесс сходится несколько медленнее, но зато сходимость симметрическая двухсторонняя. Форма графика амплитуды на каждом интервале, равном $2N$, повторяет форму графика $\sin(x)$ с затухающей амплитудой. Это благоприятное явление позволяет для более точного вычисления амплитуды гармоники использовать арифметическое среднее получаемых значений либо на всем таком интервале, либо на его части, используя симметрию графика.

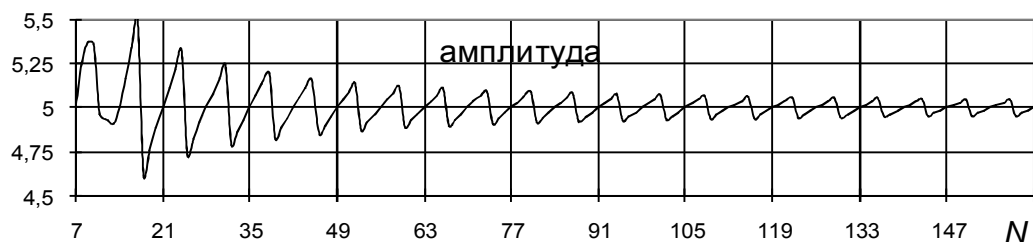


Рис. 3.2. Зависимость амплитуды гармоник от N числа наблюдений, сделанных через равные промежутки времени

4. Спектральный анализ свободных колебаний

Свободные нелинейные колебания были рассмотрены в п. 1. Возвратимся к этому вопросу вновь и на основе предложенной методики проведем спектральный анализ получаемого решения. Несмотря на то, что пластинка или оболочка как колебательная система имеет бесконечное число степеней свободы, мы не можем ставить перед собой задачу определения всего спектра частот системы.

Хотя мы решаем задачу и в высших приближениях, все же пользуемся довольно усеченными рядами в аппроксимации основных функций, т.е. априори пренебрегаем возможными высокими формами колебаний системы. Интегрируя дифференциальную систему методом Рунге-Кутты, шаг по времени определяем исходя из принципа Рунге, который в конечном счете определяет интервал отсчета данных, по которым и производим спектральный анализ решения. Интервал отсчета является главным параметром, по которому определяется частота Найквиста.

Краевая задача (1.1)-(1.3) решалась при $n = M_x * M_y = 25$, а соответствующая задача Коши – с шагом по времени $\Delta t = 0,001$. Следовательно, помня о том, что два соседних пика могут быть удовлетворительно отделены друг от друга в том случае, если между ними находится не менее четырех единиц в (2.4), реально на таких данных можно рассчитывать на выделение гармоник с частотами не выше 80-100.

Чтобы обеспечить удовлетворительную степень различимости пиков в преобразовании Фурье, длина записи исходных данных (ординат) должна быть достаточно большой, т.е. охватывать несколько периодов исследуемого колебательного процесса. Руководствуясь сказанным, расчет по времени в безразмерных единицах проводим до 6-10.

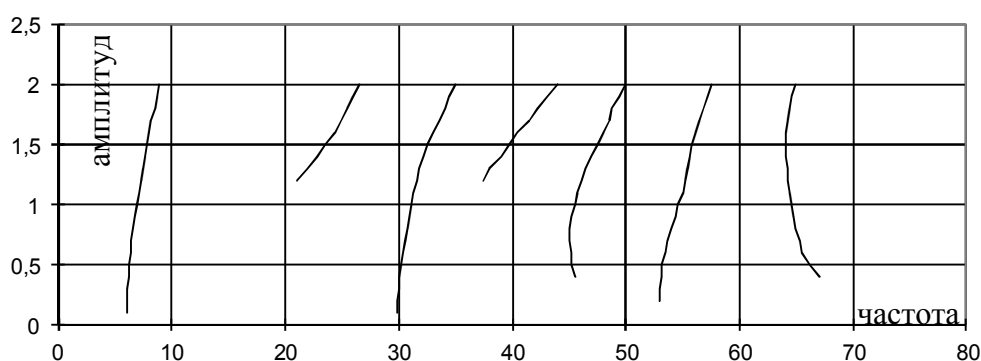


Рис. 4.1. Амплитудно-частотная характеристика свободных нелинейных колебаний квадратной пластинки

Предварительно ознакомившись со спектром линейных колебаний рассматриваемых колебательных систем, мы должны ожидать получения всей низкочастотной и среднечастотной части спектра.

На рис. 4.1, 4.2 построены амплитудно-частотные характеристики для однородной квадратной пластинки и оболочки ($k_x = k_y = 12$) соответственно.

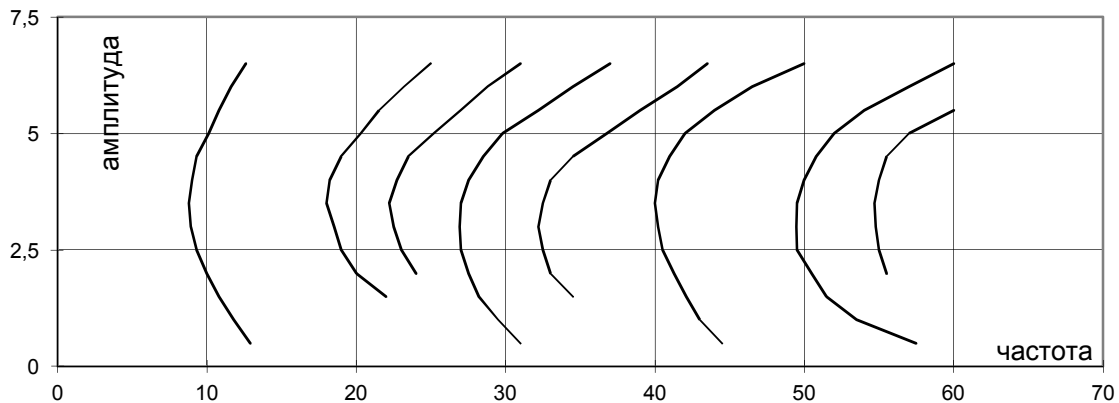


Рис. 4.2. Амплитудно-частотная характеристика свободных нелинейных колебаний оболочки ($k_x=k_y=12$)

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Частота всех *детектированных* гармоник как для оболочки, так и для пластинки зависит от амплитуды свободных колебаний системы.
2. При малых амплитудах свободных колебаний частота низшей гармоники практически совпадает с первой частотой линейных колебаний системы.
3. Качественно пластинка – система с жесткой характеристикой, оболочка – система с мягкой характеристикой.
4. Некоторые гармоники при малых амплитудах свободных колебаний не удается детектировать, но с дальнейшим ростом амплитуды свободных колебаний они занимают свое место.
5. Амплитуда первой гармоники во всех случаях как минимум на порядок превышает амплитуду других гармоник, которые с ростом номера гармоники резко убывают.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куцемако А.Н. Устойчивость решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных / А.Н. Куцемако. Саратов: СГТУ, 2007. 88 с.
2. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа / К. Ланцош. М.: Физматгиз, 1961. 524с.
3. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его применение / Г. Дженкинс, Д. Ваттс. М.: Мир, 1972. Вып. 2. 356с.

Куцемако Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anatoly N. Kutsemako – Dr. Sc., Professor
Department of Mathematics and Modeling
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 11.11.13, принята к опубликованию

ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 004.942

П.В. Зотов, В.М. Зотов

О СООТНОШЕНИИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Раскрываются характеристики светового излучения и их соотношения.

Световое излучение, поток излучения, интенсивность излучения, энергетическая светимость, энергетическая освещённость, энергетическая сила света, энергетическая яркость

P.V. Zotov, V.M. Zotov

THE RATIO OF LIGHTING AND ENERGY VARIABLES IN OPTICS

The article describes the characteristics of optical radiation and their ratio.

Light radiation, radiation flux intensity of radiation, energy luminance and irradiance, energy intensity of light, energy brightness

При анализе характеристик светового излучения, связанного с параметрами и принципами работы фотофиксирующей техники, исследователь неминуемо сталкивается с целым рядом проблем, обусловленных отсутствием единой терминологии и теоретической базы в определении этих характеристик. Существуют различные терминологические обозначения одних и тех же физических характеристик излучения, а так же противоречия и разность трактовки наблюдаемых при этом явлений. Из области оптики данные проблемы перекачывают в область компьютерной обработки цифровых изображений. Это ведет к непониманию физического смысла формирования цифровых изображений при процессе фотофиксирования и, как следствие, к их некорректной обработке. В нефизических исследованиях не всегда существует четкое разграничение энергетических и светотехнических характеристик светового излучения и их влияние на цветовосприятие цифровых изображений глазом человека. Данные проблемы побудили к написанию настоящей статьи, в которой рассматриваются светотехнические и энергетические характеристики светового излучения, а так же связь между ними с точки зрения законов Грассмана.

В оптике используются два вида характеристик светового излучения: *энергетические* и *светотехнические* [1; 2].

Энергетические характеристики являются объективными величинами, так как учитывают мощность излучения во всех диапазонах электромагнитных волн. В настоящее время существуют технические средства, способные обнаруживать и измерять излучение электромагнитных волн любого диапазона. К энергетическим характеристикам относятся (по терминологии различных источников):

Φ_3 – световой поток, или поток излучения, или поток лучистой энергии – мощность излучения в заданном направлении; единица измерения – Вт;

S_3 – интенсивность излучения, или плотность потока излучения, или вектор Умова-Пойтинга – мощность излучения сквозь единичную площадку, перпендикулярно ей; единица измерения – ватт/м²

R_3 – энергетическая светимость, или излучательность – полный поток излучения с единицы поверхности источника; единица измерения – Вт/м²;

E_3 – энергетическая освещённость, или облучённость – плотность потока излучения, падающего на единичную поверхность (пропорциональна косинусу угла падения); единица измерения – Вт/м²;

I_3 – энергетическая сила света, или сила излучения – поток излучения в заданном направлении, приходящийся на единицу телесного угла; единица измерения – Вт/ср;

L_λ , или B_λ – светимость, или энергетическая яркость – энергетическая сила света сквозь единичную площадку (пропорциональна косинусу угла падения); единица измерения – Вт/(ср·м²).

Выше перечисленные характеристики подразделяются на *интегральные*, для диапазона длин волн от нуля до бесконечности, и *спектральные*, для узкого диапазона длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$ (спектральная плотность данной энергетической величины).

Светотехнические характеристики являются *субъективными* величинами, так как оцениваются по ощущениям глаза человека. Но глаз человека воспринимает не полный набор электромагнитных волн излучаемых источником света, а только в пределах от 380 до 760 нм [1]; по другим источникам от 400 до 750 нм [2]; от 380 до 720 нм [3]; от 400 нм до 700 нм [4]. Только в этих пределах свет обладает *видностью*. Под физической величиной «видность» понимается отношение значения характеристики света, полученной глазом человека (или прибором, адаптированным к глазу человека) к соответствующей энергетической характеристике, полученной прибором. Как бы ни была велика мощность излучения вне этого диапазона, их светотехнические характеристики равны нулю. Более того, внутри вышеуказанного диапазона свет также обладает различной видностью: светящиеся поверхности одинаковой энергетической яркости, но с различным спектральным составом, воспринимается глазом человека как поверхности различной яркости. Задача осложняется также и тем, что у разных людей заметно отличается чувствительность к различным цветам. Поэтому при измерении светотехнических характеристик электромагнитного излучения, приходится привлекать большое число наблюдателей, с тем, чтобы получить достаточно обоснованные статистические средние величины. Все приборы, измеряющие светотехнические характеристики, адаптированы к «усреднённому человеческому глазу». К светотехническим характеристикам относятся те же физические величины, что перечислены выше, но за основу берётся *сила света J , определяемая по яркости полного излучения платины при температуре 2042 К*. Единица измерения светотехнической силы света – *кандела*. Тогда:

Φ – световой поток – сила света внутри телесного угла Ω в заданном направлении; единица измерения – люмен;

R – светимость – световой поток во всех направлениях с единицы поверхности источника; единица измерения – лм/м²;

S – интенсивность излучения – световой поток сквозь единичную площадку, перпендикулярно ей; единица измерения – лм/м²;

E – освещённость – световой поток, падающий на единичную поверхность, или сила света на расстоянии r ; пропорциональна косинусу угла падения; единица измерения – люкс=кандела/м²;

L , или B – яркость – сила света с единичной поверхности источника в заданном направлении; единица измерения – кандела/м².

Так же как и для энергетических характеристик, светотехнические характеристики подразделяются на *интегральные*, для диапазона длин волн от 380 до 760 нм, и *спектральные*, для узкого диапазона длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$ (спектральная плотность данной светотехнической величины).

В соответствии с вышеприведённым определением, под *абсолютной видностью V* понимается отношение светового потока Φ (мощность излучения, оцениваемая глазом человека) к соответствующей истинной, полной мощности Φ_0 лучистой энергии:

$$V = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (1)$$

Видность позволяет переходить от энергетических величин к световым (светотехническим) величинам. Ввиду важности данной физической величины, её часто выделяют в качестве основной в системе единиц измерения, имеющую особую размерность – [видность (V) = лм/Вт].

Как было сказано выше, видность в различных участках видимого спектра различна, поэтому существует понятие *монохроматической видности* (видность для определённой длины волны λ):

$$V_\lambda = \frac{\Phi(\lambda)}{\Phi_0(\lambda)} \quad (2)$$

Отношение видности света данной длины волны V_λ к максимальной V_{\max} называется *относительной видностью*:

$$V_{\text{отн}} = \frac{V_\lambda}{V_{\max}} \quad (3)$$

Максимальная видность $V_{\max} = 683$ лм/Вт наблюдается в длине волны $\lambda = 554$ нм [1] ($\lambda = 555$ нм [2]), лежащей в зелёной [1; 2] (жёлто-зелёной [4]) области спектра. Усреднённая кривая видности, стандартизированная международной осветительной комиссией (С.І.Е.), представлена на рис. 1.

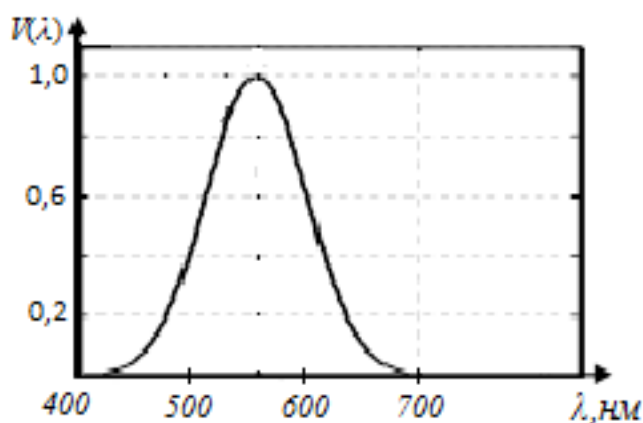


Рис. 1. Относительная кривая видности, применяемая для светотехнических расчётов по стандарту международной осветительной комиссии (С.И.Е.) [2]

Кривая видности является основой расчёта светотехнических величин для излучений с произвольным спектральным распределением $j(\lambda)$. Как видно из представленной на рис. 1 кривой видности, при определении интегральных светотехнических характеристик электромагнитного излучения логично рассматривать промежуток длин волн от 400 до 700 нм. Яркость излучения L_c цвета C , воспринимаемая глазом человека, определяется через функцию видности $V(\lambda)$ и функцию распределения энергии в спектре излучения $j(\lambda)$ с помощью формулы

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

где λ_1 и λ_2 – границы спектра исследуемого излучения.

Яркость излучения L , воспринимаемая глазом человека, определяется через функцию видности $V(\lambda)$ и функцию распределения энергии в спектре излучения $j(\lambda)$ с помощью формулы (4)

Формула (4) хорошо описывает связь между светотехническими и энергетическими характеристиками излучения в достаточно узкой полосе спектра (λ_1 и λ_2 близки друг другу) [3]. В этой связи, для видимой человеческим глазом части электромагнитного спектра (от 400 до 700 нм), формулу (4) используют для красного L_r , зелёного L_g и синего L_b частей спектра по отдельности [2; 4]:

$$\begin{aligned} L_r &= \int_{600\text{нм}}^{700\text{нм}} V_r(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda = d \cdot \int_{600\text{нм}}^{700\text{нм}} j(\lambda) d\lambda; \\ L_g &= \int_{500\text{нм}}^{600\text{нм}} V_g(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda = f \cdot \int_{500\text{нм}}^{600\text{нм}} j(\lambda) d\lambda; \\ L_b &= \int_{400\text{нм}}^{500\text{нм}} V_b(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda = h \cdot \int_{400\text{нм}}^{500\text{нм}} j(\lambda) d\lambda; \end{aligned} \quad (5)$$

где $L_s = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} j(\lambda) d\lambda$ – интегральная энергетическая яркость излучения; d, f, h – поправочные коэффициенты, связывающие светотехнические (воспринимаемые глазом человека) и энергетические (воспринимаемые прибором) характеристики электромагнитного излучения. Яркость полного цветового излучения L_c , воспринимаемого человеческим глазом, определяют их суммированием, в соответствии с законами сложения цветов Грассмана:

$$L_c = L_r + L_g + L_b.$$

Таким образом, при работе со значениями оптических характеристик, полученных фотофиксирующей техникой, а также при построении математических моделей изображения необходимо учитывать особенности регистрируемой физической величины и её влияние на показания фотофиксирующей техники. В противном случае выводы из проведённого исследования не будут адекватными реальному процессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности / Л.А. Сена. М.: Наука, 1977. 335 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: в 3 т. / И.В. Савельев. М.: Наука, 1971. Т. 3. 528 с.
3. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1966. Т. 5. 576 с.
4. Платонов А.Н. Природа окраски самоцветов / А.Н. Платонов, А.С. Балицкий. М.: Недра, 1984. 196 с.

Зотов Павел Вячеславович –
аспирант Волгоградского государственного
аграрного университета

Pavel V. Zotov –
Postgraduate
Volograd State Agrarian University

Зотов Вячеслав Михайлович –
кандидат технических наук, преподаватель
Волгоградского государственного
аграрного университета

Vyacheslav M. Zotov –
Ph.D., lecturer
Volograd State Agrarian University

Статья поступила в редакцию 14.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 621.396.96

А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев

**ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ ЦЕЛИ
В ПРОСВЕТНЫХ БИСТАТИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРАХ**

Предложены простые соотношения для оценки траекторных параметров неманеврирующей цели в просветной бистатической радиолокационной системе. Соотношения получены в приближении линейных законов изменений доплеровской частоты и направления прихода рассеянного сигнала. Приведен пример расчета координат.

Просветная радиолокация, бистатическая радиолокационная система, параметры траектории

A.N. Kovalev, F.N. Kovalev

**CALCULATION FORMULAS OF THE TARGET TRAJECTORY PARAMETERS
IN FORWARD-SCATTERING BISTATIC RADAR SYSTEMS**

Simple formulas to estimate the target trajectory parameters in forward-scattering bistatic radar system are proposed. The formulas are derived from the linear variation of target coordinates and linear variation of the Doppler frequency and azimuth. Sample calculations of the target coordinates are presented.

Forward-scattering radar, bistatic radar systems, trajectory parameters

В просветных бистатических радиолокационных системах (РЛС) обнаружение цели и оценка ее траекторных параметров производится в узкой зоне между передатчиком и приемником, в которой наблюдается повышенная интенсивность рассеянного излучения [1,2,3]. Привлекательность просветных систем обусловлена, прежде всего, возможностью эффективного обнаружения Stealth-объектов и малоразмерных низколетящих целей.

В настоящем сообщении предложены простые соотношения для оценки траекторных параметров цели по измерениям доплеровской частоты и направления прихода рассеянного сигнала в просветной бистатической радиолокационной системе. Соотношения получены, исходя из типичной модели движения – в просветных РЛС рассматривают неманеврирующие цели [2-4] – и квазилинейных законов изменения частоты и направления прихода сигнала. Рассчитанные по предлагаемым

формулам параметры траектории могут быть уточнены на следующем этапе обработки, например, методом максимального правдоподобия [3,4].

На рис. 1 приведена схема двухкоординатной бистатической РЛС. Её элементы расположены в плоскости xOy : приемник (Пр) – в начале системы координат, т.е. в точке O ; передатчик (П) – на оси Ox на удалении a от приемника. Цель движется в плоскости xOy со скоростью \vec{v} , пересекая под углом ψ ось Ox в точке S с координатами $(x_s, 0)$ в момент времени t_s . r_{Π} , $r_{\text{Пр}}$ – расстояния от передатчика до цели и от цели до приемника. Угол φ характеризует направление на цель:

$$\operatorname{tg}\varphi = y/x, \tag{1}$$

x, y – координаты цели.

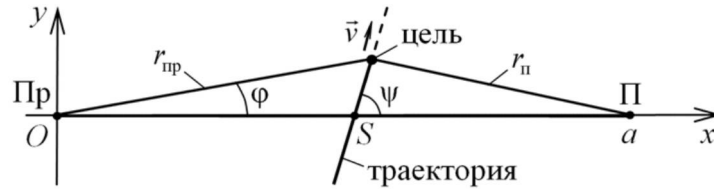


Рис. 1. Схема бистатической РЛС на плоскости

Доплеровская частота рассеянного сигнала в бистатической РЛС выражается в виде

$$f(t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{d(r_{\Pi}(t) + r_{\text{Пр}}(t))}{dt}, \tag{2}$$

где λ – длина волны излучения передатчика, t – время.

В случае равномерного прямолинейного движения цели под углом ψ близким к 90° на малых удалениях от оси Ox ($|y| \ll x$, $|y| \ll (a - x)$) расстояния r_{Π} , $r_{\text{Пр}}$ и далее частоту $f(t)$ (2) можно представить приближенно:

$$r_{\Pi} = \sqrt{(a - x)^2 + y^2} \approx (a - x_s) + \frac{y^2}{2(a - x_s)}, \quad r_{\text{Пр}} = \sqrt{x^2 + y^2} \approx x_s + \frac{y^2}{2x_s}, \tag{3}$$

$$f(t) \approx -\frac{v_y}{\lambda} \frac{y(t)a}{x_s(a - x_s)}. \tag{4}$$

где $y(t) = v_y(t - t_s)$ – текущая координата y , $v_y = v \sin \psi$ – компонента скорости.

Из (4) легко видеть, что $f(t)$ почти линейно меняется во времени. Квазилинейный характер имеет и зависимость угла (1) от времени:

$$\varphi(t) \approx y(t)/x_s = v_y(t - t_s)/x_s. \tag{5}$$

Из (4), (5) можно получить достаточно простые формулы для оперативного вычисления параметров траектории цели по моменту t_s и значениям $f(\vartheta)$ и $\varphi(\xi)$, определенных в моменты ϑ и ξ :

$$x_s \approx \frac{f(\vartheta)\lambda(\xi - t_s)^2 a}{f(\vartheta)\lambda(\xi - t_s)^2 - \varphi^2(\xi)(\vartheta - t_s)a}, \quad v_y \approx \frac{x_s \varphi(\xi)}{\xi - t_s}. \tag{6}$$

Момент t_s , согласно (1), (2), удобно находить из условия

$$f(t_s) = 0, \tag{7}$$

или

$$\varphi(t_s) = 0. \tag{8}$$

Возможность оценивания координат по (6) исследовалось методом математического моделирования. На рис. 2 сплошными кривыми показаны результаты двух независимых численных экспериментов по определению координат x, y цели. Рассмотрена система с $a = 40$ км, $\lambda = 1$ м (рис. 1). Цель двигалась со скоростью $v = 200$ м/с по траектории с $x_s = 10$ км, $\psi = 110^\circ$ (штриховая линия 1) и по траектории с $x_s = 30$ км, $\psi = 70^\circ$ (штриховая линия 2). Наблюдение цели начиналось в момент $t = 0$, когда она имела координаты $y_0 = -4$ км, $x_0 = x_s + y_0/\operatorname{tg}\psi$. Измерения доплеровской частоты f и угла φ поступали одновременно с интервалом $T = 1$ с, момент $t = 0$ соответствовал пер-

вым измерениям частоты и угла. Ошибки измерений независимы и распределены по гауссовскому закону с нулевым математическим ожиданием. Среднеквадратичное отклонение ошибок измерений доплеровской частоты $\sigma_f = 0,3$ Гц, а направления прихода сигнала $\sigma_\varphi = 0,3^\circ$.

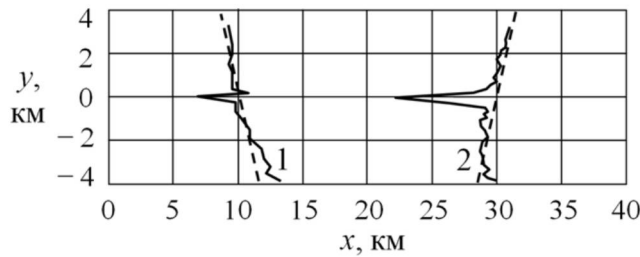


Рис. 2. Результаты численных экспериментов по определению координат цели

Для снижения влияния случайных ошибок проводилась аппроксимация измеренных функций доплеровской частоты и угла полиномами первой степени:

$$f_a(t) = b_0 + b_1 t, \quad (9)$$

$$\varphi_a(t) = c_0 + c_1 t. \quad (10)$$

Коэффициенты полиномов b_0 , b_1 и c_0 , c_1 находились методом наименьших квадратов по $N = 10$ последним, поступившим на текущий момент t измерениям доплеровской частоты, и $N = 10$ измерениям угла соответственно. До момента $t = (N - 1)T$ использовались все имеющиеся измерения. Оценка координат производилась в центре интервала аппроксимации – в момент времени $\vartheta = \xi = t - (N - 1)T/2$ – по формулам

$$x(\vartheta) = x_s, \quad y(\vartheta) = v_y(\vartheta - t_s), \quad (11)$$

где x_s , v_y находились из (6) по значениям аппроксимирующих функций $f(\vartheta) = f_a(\vartheta)$ и $\varphi(\vartheta) = \varphi_a(\vartheta)$.

Момент t_s определялся из (9) с учетом условия (7):

$$t_s = -b_0/b_1. \quad (12)$$

После пересечения целью оси Ox значение t_s фиксировалось; коэффициенты b_0 , b_1 вычислялись по измерениям доплеровской частоты в окрестности ее нулевого значения.

Проведенные исследования показали возможность определения координат по (6), (11) и до и после пересечения целью оси Ox (рис. 2). Рост ошибок в середине интервала наблюдения обусловлен высокой чувствительностью бистатической системы к ошибкам измерений в непосредственной близости от оси Ox [5] и может быть устранен путем экстраполяции оценок координат, полученных на начальных участках траектории.

Авторы благодарны В.В. Кондратьеву за поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уфимцев П.Я. Основы физической теории дифракции / П.Я. Уфимцев. М.: БИНОМ, 2011. 351 с.
2. Чапурский В.В. Синтезированная теневая радиолокация в бистатической радиолокации // В.В. Чапурский // Радиотехника. 2009. № 3. С. 52-69.
3. Bistatic Radar. Principles and Practice / Ed. M. Cherniakov. England: Wiley, 2007. 504 p.
4. Рындык А.Г. Точность определения координат методом максимального правдоподобия при локации «на просвет» / А.Г. Рындык, С.Б. Сидоров, А.Б. Бляхман, Ф.Н. Ковалев // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 12. С. 1436-1440.
5. Ковалев Ф.Н. Точность местоопределения цели в бистатической радиолокационной системе / Ф.Н. Ковалев // Радиотехника. 2013. № 8. С. 56-59.

Ковалев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория корабля и гидромеханика» Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексева

Alexander N. Kovalev – Ph.D., Associate Professor Department of the Theory of Naval Architecture and Hydromechanics, R.E. Alekseev State Technical University of Nizhny Novgorod

Ковалев Федор Николаевич –
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Информационные радиосистемы»
Нижегородского государственного
технического университета имени Р.Е. Алексеева

Fyodor N. Kovalev –
Ph. D., Associate Professor
Department of Information Radio Systems,
R.E. Alekseev State Technical University of
Nizhny Novgorod

Статья поступила в редакцию 12.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 517.9

А.П. Кузнецов, Н.А. Мигунова, Ю.В. Седова, Л.В. Тюрюкина

О КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ В СВЯЗАННЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРАХ

Рассматривается динамика двух и трех связанных хаотических систем Ресслера. Показана возможность возникновения двух- и трехчастотной квазипериодичности при увеличении связи. Даны иллюстрации в виде графиков ляпуновских показателей, портретов аттракторов в сечении Пуанкаре и бифуркационного дерева. Обсуждается тип квазипериодической бифуркации в системе.

Хаотические колебания, квазипериодические колебания, инвариантные торы, бифуркации

A.P. Kuznetsov, N.A. Migunova, J.V. Sedova, L.V. Turukina

QUASI-PERIODIC OSCILLATIONS IN COUPLED CHAOTIC OSCILLATORS

We consider the dynamics of two and three coupled chaotic Rössler systems and outline two- and three-frequency quasi-periodic oscillations arising with the increase of the coupling intensity. Illustrations are provided in the form of charts with the Lyapunov exponents, attractor portraits of the Poincaré section, and bifurcation trees. We discuss a type of quasi-periodic bifurcation occurring in the system.

Chaotic oscillations, quasi-periodic oscillations, invariant tori, bifurcation

Введение. Задача о колебаниях связанных осцилляторов различной природы остается в центре внимания исследователей в разных областях физики, химии, биологии. Это такие примеры, как оптические и механические системы, контакты Джозефсона, ионные ловушки, радиоэлектронные осцилляторы и др. [1-8]. Одним из интересных аспектов является проблема синхронизации хаотических систем. Традиционный подход в этом случае состоит в изучении режимов, для которых динамика в целом является хаотической, хотя может быть как синхронной, так и асинхронной [9-11,15-17]. В [9,11] дан соответствующий «набросок» устройства плоскости параметров (частотная расстройка – величина связи) для двух связанных осцилляторов Ресслера и указано также на существование различных окон периодических режимов¹. Рассмотрим еще одну ситуацию, когда динамика связанных хаотических систем становится квазипериодической. Этот факт объясняется стабилизирующим действием диссипативной связи. Мы обсудим эту проблему на примере двух и трех хаотических осцилляторов Ресслера. При этом обнаруживаются режимы не только двухчастотной, но и трехчастотной квазипериодичности.

Два связанных хаотических осциллятора. Рассмотрим сначала систему двух связанных осцилляторов Ресслера, являющуюся «эталонной» моделью нелинейной динамики при изучении хаотической синхронизации [9-11, 17]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -(1-\Delta)y_1 - z_1, & \dot{x}_2 &= -(1+\Delta)y_2 - z_1, \\ \dot{y}_1 &= (1-\Delta)x_1 + py_1 + \mu(y_2 - y_1), & \dot{y}_2 &= (1+\Delta)x_2 + py_2 + \mu(y_1 - y_2), \\ \dot{z}_1 &= q + (x_1 - r)z_1, & \dot{z}_2 &= q + (x_2 - r)z_2, \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь x, y, z – динамические переменные соответствующей подсистемы, 2Δ – частотная расстройка осцилляторов. Фиксируем далее значения параметров $p=0.15, q=0.4, r=8.5$, отвечающие хаотическому режиму в индивидуальных подсистемах.

¹ Внешнее воздействие на хаотическую систему также может приводить к появлению картины периодических режимов, которая может быть весьма сложной [9, 18, 19].

При малой связи система (1) демонстрирует гиперхаос с двумя положительными показателями Ляпунова Λ_1 и Λ_2 , что достаточно естественно, поскольку индивидуальные подсистемы являются хаотическими. Обратимся к показанной на рис. 1 зависимости трех старших показателей Ляпунова от параметра связи для достаточно большой частотной расстройке осцилляторов. Можно видеть, что при увеличении связи несинхронный гиперхаотический режим сменяется хаотическим с одним положительным показателем, а затем становится возможным квазипериодический режим с двумя нулевыми показателями.

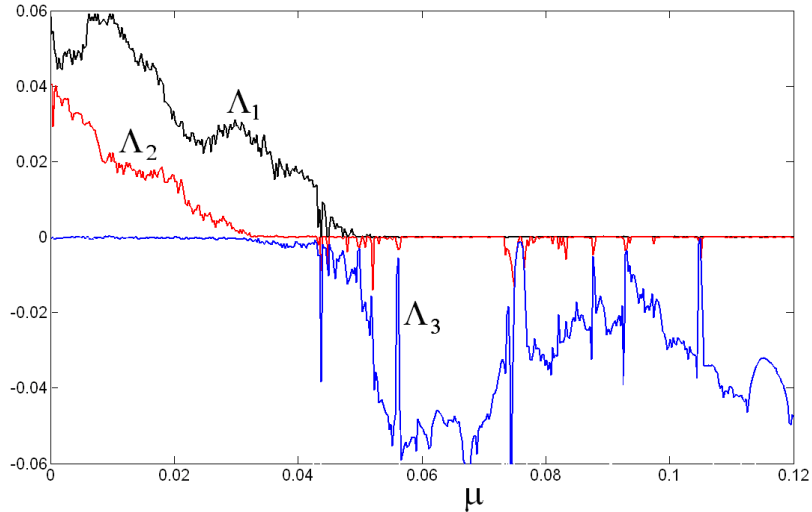


Рис. 1. Зависимость старших показателей Ляпунова двух связанных хаотических осцилляторов (1) от параметра связи, $\Delta=0.085$

Рис. 2 дает портреты аттракторов в сечении Пуанкаре при увеличении связи. (Здесь и далее сечение Пуанкаре отвечает пересечению фазовыми траекториями поверхности $y_1 = 0, x_1 < 0$.) Наблюдается переход от гиперхаоса НС к хаосу С с последующим возникновением инвариантной кривой, отвечающей двухчастотной квазипериодичности Т2. На пороге хаоса инвариантная кривая разрушена, и, вероятно, фрактализуется. Возникающая с ростом связи инвариантная кривая выглядит достаточно «запутанной», но все же является линией. При увеличении связи она приобретает вид, приближающийся к окружности.

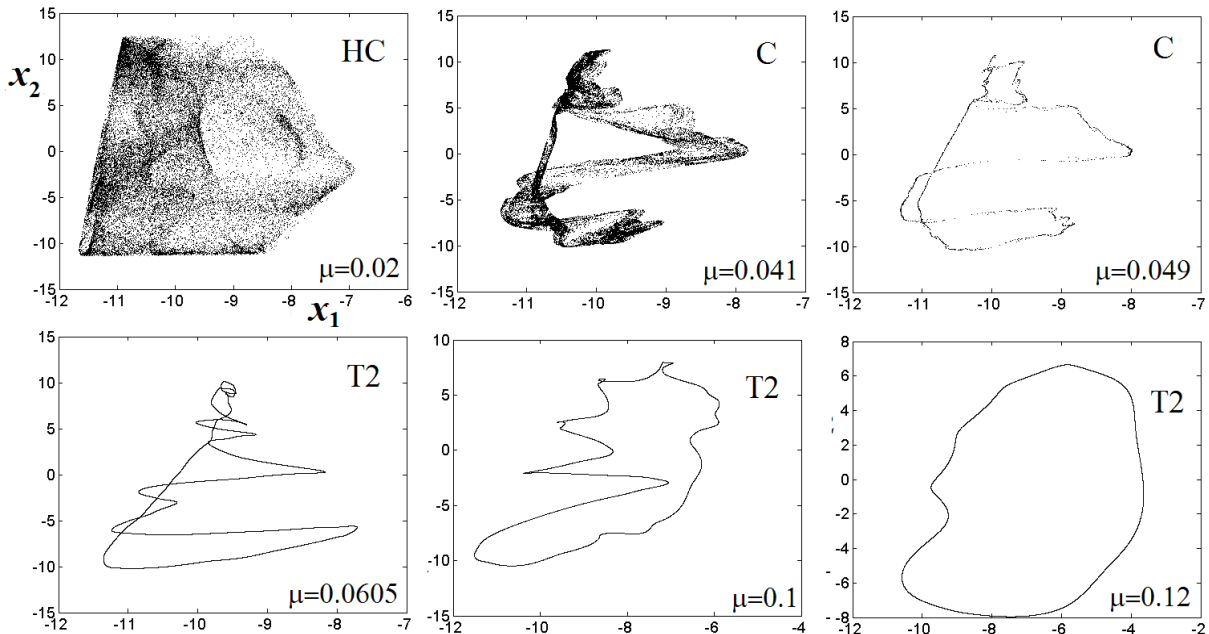


Рис. 2. Эволюция аттрактора системы (1) в сечении Пуанкаре при увеличении связи, $\Delta=0.085$. Буквами НС, С и Т2 обозначены режимы гиперхаоса, хаоса и двухчастотной квазипериодичности

Таким образом, в динамике хаотических осцилляторов присутствует некоторая «автоколебательная компонента», которая может проявиться при введении диссипативной связи и инициировать квазипериоди-

ческие колебания. Можно ожидать, что эта компонента проявится и при увеличении числа осцилляторов. Чтобы показать это, обратимся к системе трех связанных в цепочку хаотических осцилляторов.

Три хаотических осциллятора. Система уравнений имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -y_1 - z_1, & \dot{x}_2 &= -(1 - \Delta_1)y_2 - z_2, \\ \dot{y}_1 &= x_1 + py_1 + \mu(y_2 - y_1), & \dot{y}_2 &= (1 - \Delta_1)x_2 + py_2 + \mu(y_1 + y_3 - 2y_2), \\ \dot{z}_1 &= q + (x_1 - r)z_1, & \dot{z}_2 &= q + (x_2 - r)z_2, \\ & & \dot{x}_3 &= -(1 - \Delta_2)y_3 - z_3, \\ & & \dot{y}_3 &= (1 - \Delta_2)x_3 + py_3 + \mu(y_2 - y_3), \\ & & \dot{z}_3 &= q + (x_3 - r)z_3, \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь Δ_1 и Δ_2 – частотные расстройки второго и третьего осцилляторов относительно первого.

На рис. 3 показан график зависимости четырех старших ляпуновских показателей системы (2) от параметра связи для $\Delta_1 = 0.56$, $\Delta_2 = 0.05$. Можно видеть, что теперь наряду с двухчастотными T2 становятся возможными трехчастотные режимы T3 уже с тремя нулевыми показателями Ляпунова. Трехчастотные торы возникают при уменьшении величины связи в результате квазипериодической бифуркации Хопфа QH [12-14], отмеченной стрелкой на графике.

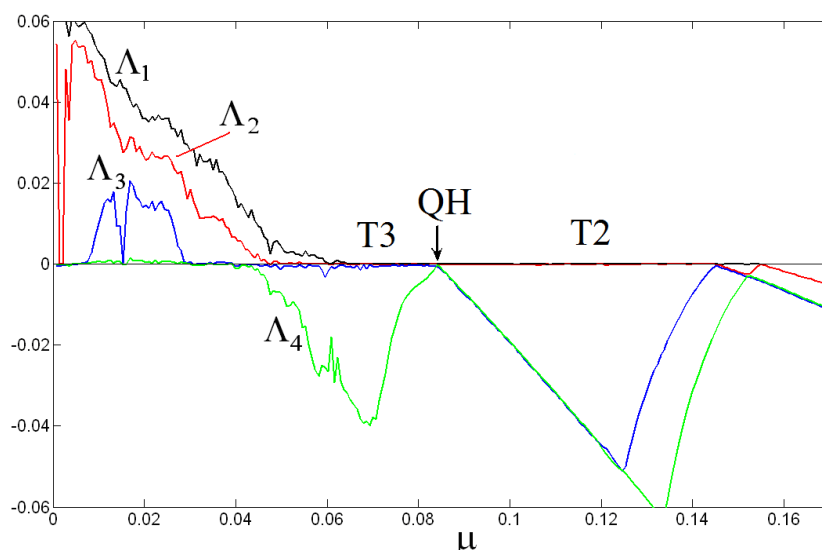


Рис. 3. Зависимость старших показателей Ляпунова трех связанных хаотических осцилляторов (2) от параметра связи, $\Delta_1 = 0.56$, $\Delta_2 = 0.05$

Примеры портретов аттракторов системы (2) в сечении Пуанкаре для $\Delta_1 = 0.19$, $\Delta_2 = 0.05$ приведены на рис. 4. При большой связи существует двухчастотный тор T2, сечение Пуанкаре которого дает инвариантную кривую, близкую по форме к окружности. При уменьшении связи из этой инвариантной кривой мягким образом возникает трехчастотный тор T3. При дальнейшем уменьшении связи можно наблюдать инвариантную кривую очень сложной формы, которая отвечает одному из возможных резонансных двухчастотных торов T_{R2} . Отметим, что при этих значениях частотных расстроек число резонансных окон достаточно велико. При малой связи торы разрушаются с возникновением хаоса и гиперхаоса.

Рис. 5 демонстрирует зависимость от параметра связи множества значений, которые принимает переменная x_1 на аттракторе в выбранном сечении Пуанкаре. Наблюдаемая картина иллюстрирует бифуркации, отвечающие за возникновение инвариантных торов разной размерности. В точке NS происходит бифуркация Неймарка-Сакера рождения двухчастотного тора. В этой точке единственная «ветка», отвечающая предельному циклу, расширяется так, что множество точек занимает при данной связи конечный интервал значений переменной. В области меньших величин связи хорошо видны также окна резонансных предельных циклов. В точке QH дерево вновь резко расширяется. Это точка бифуркации другого типа – квазипериодической бифуркации Хопфа [12-14], когда из двухчастотного тора мягким образом возникает трехчастотный тор. Таким образом, верхняя граница области трехчастотных торов по величине связи отвечает квазипериодической бифуркации Хопфа.

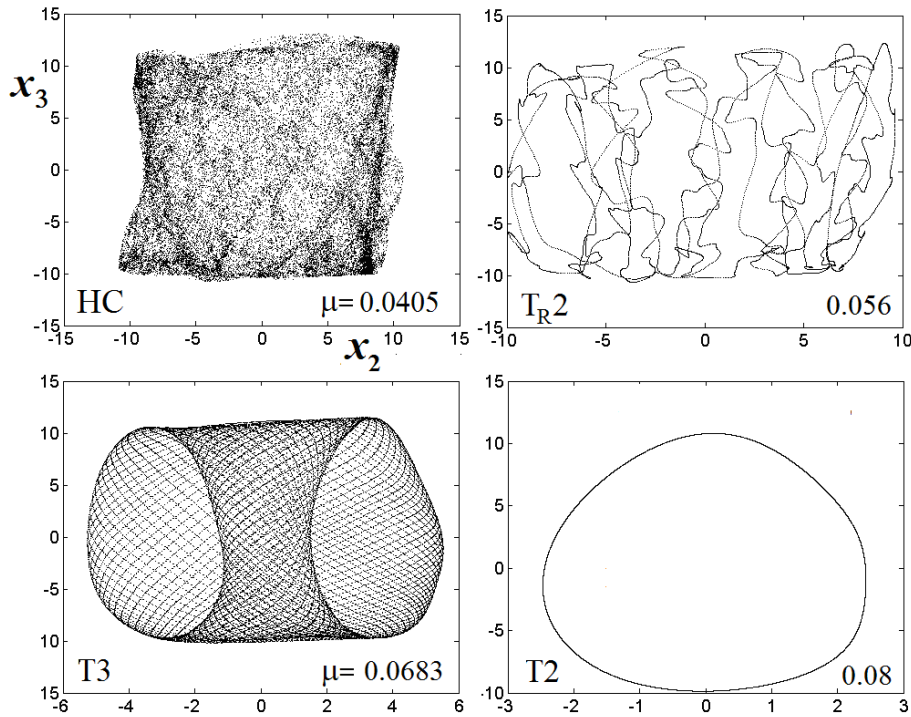


Рис. 4. Портреты аттракторов в сечении Пуанкаре для трех связанных хаотических осцилляторов Ресслера, $\Delta_1 = 0.19$, $\Delta_2 = 0.05$.

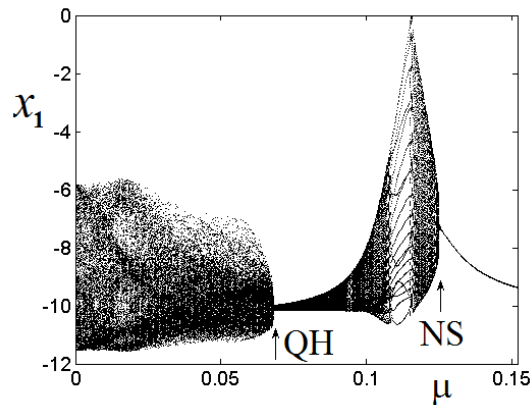


Рис. 5. Бифуркационное дерево для трех связанных хаотических осциллятора Ресслера (2), $\Delta_1 = 0.19$, $\Delta_2 = 0.05$

Заключение. Влияние диссипативной связи на хаотические осцилляторы может приводить не только к хаотической синхронизации и возникновению периодических движений, но и к появлению двух- и трехчастотных квазипериодических колебаний, причем за возникновение последних отвечает квазипериодическая бифуркация Хопфа. Можно ожидать, что увеличение числа хаотических осцилляторов будет приводить к возникновению инвариантных торов еще более высокой размерности.

Работа поддержана РФФИ проект 12-02-00342.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heinrich G. Collective Dynamics in Optomechanical Arrays / G. Heinrich, M. Ludwig, J. Qian, B. Kubala, F. Marquardt. // Phys. Rev. Lett. Vol. 107. 2011. P. 043603.
2. Zhang M. Synchronization of Micromechanical Oscillators Using Light / M. Zhang, G.S. Wiederhecker, S. Manipatruni, A. Barnard, P. McEuen, M. Lipson // Phys. Rev. Lett. Vol. 109. 2012. P. 233906.
3. Temirbayev A. Autonomous and forced dynamics of oscillator ensembles with global nonlinear coupling: An experimental study / A. Temirbayev A, Yu.D. Nalibayev, Z.Z. Zhanabaev, V.I. Ponomarenko, M. Rosenblum // Phys. Rev. E. Vol. 87. 2013. P. 062917.
4. Martens E. A. Chimera states in mechanical oscillator networks / E.A. Martens, S. Thutupalli, A. Fourriere, O. Hallatschek // arXiv:1301.7608. 2013.

5. Tinsley M.R. Chimera and Phase Cluster States in Populations of Coupled Chemical Oscillators / M.R. Tinsley, S. Nkomo, K. Showalter // *Nature Phys.* Vol. 8. 2012. P. 662-665.
6. Vlasov V. Synchronization of a Josephson junction array in terms of global variables / V. Vlasov, A. Pikovsky // *Phys. Rev. E.* Vol. 88. 2012. P. 022908.
7. Lee T.E. Pattern formation with trapped ions / T.E. Lee, M.C. Cross // *Phys. Rev. Lett.* Vol. 106. 2011. P. 143001.
8. Lee T.E. Quantum Synchronization of Quantum van der Pol Oscillators with Trapped Ions / T.E. Lee, H.R. Sadeghpour // *Phys. Rev. Lett.* Vol. 111. 2013. P. 234101.
9. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. М.: Техносфера, 2003. 496 с.
10. Rosenblum M.G. Phase Synchronization of Chaotic Oscillators / M.G. Rosenblum, A.S. Pikovsky, J. Kurths // *Phys. Rev. Lett.* Vol. 76. 1996. P. 1804–1807.
11. Osipov G.V. Phase synchronization effects in a lattice of nonidentical Rossler oscillators / G.V. Osipov, A.S. Pikovsky, M.G. Rosenblum, J Kurths // *Phys. Rev. E.* Vol. 55. 1997. P. 2353–2361.
12. Broer H. Quasi-periodic bifurcations of invariant circles in low-dimensional dissipative dynamical systems / H. Broer, C. Simó, R. Vitolo // *Regular and Chaotic Dynamics.* Vol. 16. 2011. Issue 1-2. P. 154-184.
13. Banerjee S. Local Bifurcations of a Quasiperiodic Orbit / S. Banerjee, D. Giaouris, P. Missailidis // *International Journal of Bifurcation and Chaos.* Vol. 22. 2012. Issue 12. P. 1250289.
14. Emelianova Yu.P. Quasi-periodic bifurcations and “amplitude death” in low-dimensional ensemble of van der Pol oscillators / Yu.P. Emelianova, A.P. Kuznetsov, L.V. Turukina // *Physics Letters A.* Vol. 378. 2014. P. 153–157.
15. Анищенко В.С. Регулярные и хаотические автоколебания. Синхронизация и влияние флуктуаций / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова. Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2009. 312 с.
16. Anishchenko V.S. Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems. Tutorial and Modern Development. 2nd Edition. / V.S. Anishchenko, V.V. Astakhov, A.B. Neiman, T.E. Vadivasova, L. Schimansky-Geier. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. 460 p.
17. Vadivasova T.E. Phase multistability of synchronous chaotic oscillations / T.E. Vadivasova, O.V. Sosnovtseva, A.G. Balanov, V.V. Astakhov // *Discrete Dynamics in Nature and Society.* Vol. 4. 2000. P. 231-243.
18. Broer H. Bifurcations and strange attractors in the Lorenz-84 climate model with seasonal forcing / H. Broer, C. Simó, R. Vitolo // *Nonlinearity.* Vol. 15. 2002. P. 1205-1267.
19. Кузнецов А.П. Стабилизация хаоса в системе Ресслера импульсным и гармоническим сигналом / А.П. Кузнецов, Н.В. Станкевич, Н.Ю. Чернышов // *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика.* Т. 18. 2010. № 4. С. 3-16.

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

Мигунова Наталья Александровна –
студентка Факультета нелинейных процессов
Саратовского государственного
университета имени Н.Г. Чернышевского

Седова Юлия Викторовна –
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Саратовского
филиала Института радиотехники
и электроники имени В.А. Котельникова РАН

Тюрюкина Людмила Владимировна –
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Саратовского
филиала Института радиотехники
и электроники имени В.А. Котельникова РАН

Alexander P. Kuznetsov –
Dr. Sc., Professor, Leading Research Fellow
Kotelnikov Institute of Radio Engineering
and Electronics,
Russian Academy of Sciences (Saratov Branch)

Natalia A. Migunova –
Undergraduate
Faculty of Nonlinear Processes,
Saratov State University

Julia V. Sedova –
Ph.D., Senior Research Fellow
Kotelnikov Institute of Radio Engineering
and Electronics,
Russian Academy of Sciences (Saratov Branch)

Ludmila V. Turukina –
Ph. D., Senior Research Fellow
Kotelnikov Institute of Radio Engineering
and Electronics,
Russian Academy of Sciences (Saratov Branch)

Статья поступила в редакцию 12.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТНОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ С УЧЁТОМ ВТОРОЙ ЗОНАЛЬНОЙ ГАРМОНИКИ В ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

В рамках математического моделирования баллистического перелета с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» как решения ограниченной задачи трех тел учтено возмущающее ускорение от второй зональной гармоники, обусловленное нецентральностью гравитационного поля Земли. Получены уточненные, максимально приближенные к реальному перелету, значения суммарного импульса скорости и характеристики точки старта. Полученная модель позволяет прогнозировать необходимый суммарный импульс скорости и, как следствие, минимальную потребную массу топлива для любого момента времени попадания в точку либрации.

Математическое моделирование, баллистический анализ, точка либрации, система «Земля – Луна», ограниченная задача трех тел, вторая зональная гармоника, космический аппарат (КА)

Yu.A. Okishev, Yu.V. Klinayev

MATHEMATICAL MODELING OF A RESTRICTED THREE-BODY SUBPROBLEM WITH ACCOUNT TO THE SECOND ZONAL HARMONIC IN THE GEOCENTRIC EQUATORIAL COORDINATE SYSTEM

A disturbing acceleration from the second zonal harmonics caused by the non-centrality of the Earth's gravitational field is considered as part of mathematical modeling of the ballistic flight from low-Earth orbit to the libration point L1 of the «Earth - Moon» as a solution to the restricted problem of three bodies. The obtained results are updated and are close to the real flight, the value of the total impulse velocity and specifications starting point. The resulting model can predict the required total impulse velocity and, consequently, the minimum needs of the fuel mass at any contact time with the libration point.

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

Задача проектно-баллистического анализа [1] сводится к поиску минимального суммарного импульса скорости ΔV_{Σ} и, как следствие, по формуле Циолковского (1), определяет минимальную потребную массу топлива для перелета. Такой подход является общепризнанным для проведения баллистического анализа [1]:

$$m_r = m_0 \left[1 - \exp \left(- \frac{\Delta V_{\Sigma}}{I_y} \right) \right], \quad (1)$$

где m_r – масса топлива космического аппарата (КА), m_0 – начальная масса КА, I_y – удельный импульс тяги, который задается двигательной установкой КА.

В классической механике космического полета искусственных спутников Земли (ИСЗ) помимо притяжения центра масс Земли иногда необходимо учитывать большое число возмущающих факторов. К основным возмущающим факторам и возмущающим силам принято относить:

- силы тяготения Луны, Солнца и других небесных тел;
- аэродинамические силы, которые чаще всего учитываются при исследовании движения низких спутников Земли;
- гравитационные силы, связанные с «неправильностью» фигуры Земли или, как еще принято называть, нецентральностью гравитационного поля Земли;

Помимо основных факторов, в некоторых случаях учитываются силы более сложной структуры – электромагнитные, реактивные, связанные с сублимацией материала, сила светового давления и т.д.

В предыдущих исследованиях [2-5] был детально разработан алгоритм решения задачи баллистического двухимпульсного перелета КА с помощью химического ракетного двигателя (ХРД) в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» с учетом тяготения Луны, т.е. решение ограниченной задачи трех тел.

Ключевыми результатами математического моделирования решения ограниченной задачи трех тел при перелете КА с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 без учета других возмущающих факторов были следующие:

1. Перелет происходит с низкой околоземной орбиты высотой 300 км и наклоном этой орбиты $51,6^\circ$ (старт с космодрома «Байконур»).

2. Исходя из энергетики перелета и необходимости поворота плоскости орбиты, рассматриваемой эпохой выбран 2025 год, т.к. в этот год наклонение орбиты Луны максимально и составляет $28,443^\circ$. Таким образом, угол поворота орбиты КА Δi минимален, и, исходя из (2), второй импульс скорости ΔV_2 также будет минимальным

$$\Delta V_2 = \sqrt{V_{L1}^2 + V_{KA_{L1}}^2 - 2 \cdot V_{L1} \cdot V_{KA_{L1}} \cdot \cos \Delta i}, \quad (2)$$

где \vec{V}_{L1} – вектор скорости точки либрации L1, $\vec{V}_{KA_{L1}}$ – вектор скорости КА в точке либрации L1, Δi – разница между наклонениями перелетной орбиты и орбиты точки либрации L1.

3. Существует два способа попадания в точку либрации – при перелете из окрестности восходящего или нисходящего узла базовой орбиты.

4. Оптимальной датой попадания в точку либрации L1 является 12 часов дня 13 апреля 2025 года, при этом время перелета составляет 4,25 дня. При этом оптимальная траектория реализуется при перелете из восходящего узла орбиты.

5. Суммарный минимальный импульс скорости равен 3735 м/с, где первый импульс скорости составляет 3097 м/с, а второй импульс скорости составляет 637,607 м/с.

Очевидно, что в нашем случае аэродинамические силы слишком незначительны, т.к. минимальная высота в рассматриваемом случае равна 300 км, где атмосферное влияние практически отсутствует.

Рассмотрим влияние нецентральности гравитационного поля Земли.

Если во всех точках шара, равноудаленных от его центра, плотность одинакова, то говорят, что шар имеет сферическое распределение плотности. Если бы Земля была шаром со сферическим распределением плотности, то можно было бы показать, что гравитационная сила такой Земли была бы равна ньютоновской гравитационной силе точечной массы, равной массе Земли, помещенной в ее центр, т.е. если бы Земля была такой «правильной», то гравитационная сила, действующая на КА, была бы та же, что и в задаче двух тел (3):

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = f \frac{m M_z}{r^2}, \quad (3)$$

где m – масса КА, r – радиус-вектор КА относительно центра Земли, t – время, f – гравитационная постоянная, M_z – масса Земли.

Реальная Земля существенно «сложнее». Прежде всего, на гравитационное ускорение влияет полюсное сжатие Земли. С определенной степенью точности можно считать, что сечение Земли плоскостью, проходящей через её ось, имеет форму эллипса с большой полуосью, равной экваториальному радиусу $R_{з.э.} = 6378,245 \text{ км}$, и малой полуосью, равной полярному радиусу $R_{з.п.} = 6356,863 \text{ км}$.

Коэффициент сжатия Земли рассчитывается как

$$\alpha = \frac{R_{з.э.} - R_{з.п.}}{R_{з.э.}} \approx \frac{1}{298,3} = 0,0033523 \quad (4)$$

Для того чтобы найти гравитационный потенциал произвольного тела, необходимо каждую элементарную массу тела рассматривать как притягивающую материальные точки и суммировать (проинтегрировать) элементарные ньютоновские потенциалы материальных точек тела по всему его объему. Обычно такой интеграл вычисляют, раскладывая подынтегральную функцию в ряд по сферическим функциям. Для модели Земли как сжатого сфероида получают следующее приближенное равенство:

$$U = \frac{\mu_3}{r} - \frac{\mu_3}{3r^3} \delta (3 \sin^2 \varphi - 1) \quad (5)$$

где μ_3 – гравитационный параметр Земли, r – расстояние от центра Земли до точки, потенциал в которой рассматривается, φ – широта точки, $\delta = 66.07 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ – константа.

Первое слагаемое справа в равенстве (5) – ньютоновский потенциал. Второе слагаемое учитывает сжатие Земли по полюсам.

Многочисленные исследования показали, что в громадном большинстве задач проектирования орбит КА оказывается достаточным рассматривать гравитационный потенциал Земли в виде (5). С другой стороны, понятно, что задача точного прогнозирования траектории КА на длительный интервал времени требует более сложных моделей земного потенциала, учитывающего аномалии. В нашем случае время перелета составляет чуть более 4 суток. Имея это в виду, ограничимся при моделировании учетом этих факторов согласно выражению (5).

Для записи возмущающего ускорения, вызванного нецентральностью гравитационного поля Земли, на оси орбитальной системы координат воспользуемся соотношениями, вытекающими из рис. 1.

На этом рисунке положение спутника характеризуется точкой А; плоскость орбиты спутника есть EAF; меридиональная плоскость, проходящая через точку А, – BCD. Угол между местным меридианом и трансверсальным направлением в точку А обозначен ψ , угол ECA – u (аргумент широты), угол ABC – φ – широта точки.

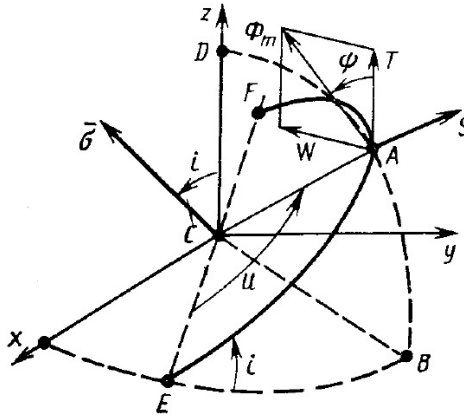


Рис. 1. Проекция возмущающих ускорений в орбитальной системе координат

Легко получить соотношения (6):

$$\begin{aligned} S &= \frac{\mu_3 \cdot \delta}{r^4} \cdot (3 \sin^2 \varphi - 1) = \frac{\mu_3 \cdot \delta}{r^4} \cdot (3 \cdot \sin^2 i \cdot \sin^2 u - 1) \\ T &= -\frac{\mu_3 \cdot \delta}{r^4} \cdot (\sin 2\varphi \cdot \cos \psi) = -\frac{\mu_3 \cdot \delta}{r^4} (\sin^2 i \cdot \sin 2u) \\ W &= \frac{\mu_3 \cdot \delta}{r^4} \cdot (\sin 2\varphi \cdot \sin \psi) = \frac{\mu_3 \cdot \delta}{r^4} \cdot (\sin 2i \cdot \sin u) \end{aligned} \quad (6)$$

При выводе последних равенств были использованы следующие формулы сферической тригонометрии:

$$\sin \varphi = \sin u \cdot \sin i, \quad \cos \psi = \operatorname{ctgu} \cdot \operatorname{ctg} i, \quad (7)$$

где i – наклонение орбиты, u – аргумент широты.

В уравнениях (6): S – радиальная, T – трансверсальная, W – нормальная составляющая возмущающего ускорения от нецентральности гравитационного поля Земли.

Для того чтобы использовать алгоритмы анализа, описанные в [2-6], необходимо выразить возмущающее ускорение от нецентральности гравитационного поля Земли в геоцентрических координатах x, y, z .

Для этого существует два способа решения.

Первый способ – выражение влияния нецентральности гравитационного поля с учетом изменения оскулирующих элементов орбиты от времени: $p(t), e(t), \Omega(t), i(t), \omega(t), t_\pi(t)$ – фокальный пара-

метр, эксцентриситет, долгота восходящего узла, наклонение орбиты, аргумент перицентра и время прохождения перицентра орбиты соответственно.

Используем матрицу перехода от геоцентрической системы координат (x,y,z) к орбитальной (n,r,b) A(8), где r – радиаль, n – трансверсаль, b – нормаль.

$$A = \begin{pmatrix} -\sin u \cos \Omega - \cos u \sin \Omega \cos i & -\sin u \sin \Omega + \cos u \cos \Omega \cos i & \cos u \sin i \\ \cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i & \cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i & \sin u \sin i \\ -\sin \Omega \sin i & \cos \Omega \sin i & -\cos i \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где Ω – долгота восходящего узла орбиты.

Матричная форма перехода имеет вид

$$\begin{pmatrix} n \\ r \\ b \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (9)$$

Таблица 1

Элементы матрицы перехода между геоцентрической и орбитальной системой координат

Система координат		Орбитальная система координат		
		N	r	b
Геоцентрическая орбитальная	x	$-\sin u \cos \Omega - \cos u \sin \Omega \cos i$	$\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i$	$-\sin \Omega \sin i$
	y	$-\sin u \sin \Omega + \cos u \cos \Omega \cos i$	$\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i$	$\cos \Omega \sin i$
	z	$\cos u \sin i$	$\sin u \sin i$	$-\cos i$

Используя матрицу перехода, возмущающие ускорения от нецентральной гравитационного поля Земли на оси x, y, z примут вид

$$\begin{aligned} \Phi_{сжX} &= T \cdot (\sin i \cos \Omega - \cos u \sin \Omega \cos i) + S \cdot (\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i) + W \cdot (-\sin \Omega \sin i) \\ \Phi_{сжY} &= T \cdot (-\sin u \sin \Omega + \cos u \cos \Omega \cos i) + S \cdot (\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i) + W \cdot (\cos \Omega \sin i), \quad (10) \\ \Phi_{сжZ} &= T \cos u \sin i + S \sin u \sin i + W(-\cos i) \end{aligned}$$

Также при решении необходимо выразить оскулирующие элементы в зависимости от времени, что существенно усложнит нашу систему, увеличивая её ещё на 6 дифференциальных уравнений.

Второй способ – учёт производных возмущающего ускорения нецентральной гравитационного поля Земли по осям геоцентрической системы координат (x, y, z).

$$\begin{aligned} \Phi_{сжX} &= \frac{\mu_3 \cdot \delta \cdot r_x}{r^5} \left(\frac{5r_z^2}{r^2} - 1 \right) \\ \Phi_{сжY} &= \frac{\mu_3 \cdot \delta \cdot r_y}{r^5} \left(\frac{5r_z^2}{r^2} - 1 \right), \quad (11) \\ \Phi_{сжZ} &= \frac{\mu_3 \cdot \delta \cdot r_z}{r^5} \left(\frac{5r_z^2}{r^2} - 3 \right) \end{aligned}$$

В геоцентрической системе координат система уравнений движения с учетом влияния нецентральной гравитационного поля Земли примет вид

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= -\frac{r_x \cdot \mu_3}{r^3} \cdot \frac{\mu_l \cdot (r_x - r_{lx})}{(\vec{r} - \vec{r}_l)^3} - \frac{\mu_l \cdot r_{lx}}{r_l^3} + \Phi_{сжX} \\ \frac{dV_y}{dt} &= -\frac{r_y \cdot \mu_3}{r^3} \cdot \frac{\mu_l \cdot (r_y - r_{ly})}{(\vec{r} - \vec{r}_l)^3} - \frac{\mu_l \cdot r_{ly}}{r_l^3} + \Phi_{сжY}, \quad (11) \\ \frac{dV_z}{dt} &= -\frac{r_z \cdot \mu_3}{r^3} \cdot \frac{\mu_l \cdot (r_z - r_{lz})}{(\vec{r} - \vec{r}_l)^3} - \frac{\mu_l \cdot r_{lz}}{r_l^3} + \Phi_{сжZ} \end{aligned}$$

где $\vec{r}(r_x, r_y, r_z)$ – радиус вектор КА относительно Земли, $\vec{r}_л(r_{лx}, r_{лу}, r_{лz})$ – радиус-вектор Луны относительно Земли, $\mu_л$ – гравитационный параметр Луны.

Для решения системы уравнения (11) воспользуемся алгоритмом математического моделирования, который подробно описан в [5].

Так как задача состоит в том, чтобы найти минимальное значение суммарного импульса скорости, рассмотрим значения не на всем интервале времени, а только в окрестности дат, при которых получили минимальные значения в ограниченной задаче трех тел без учета нецентральности гравитационного поля Земли.

Полученные результаты представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Значения второго импульса скорости, оптимального времени перелета, долготы восходящего узла, аргумента широты и суммарного импульса скорости в зависимости от даты попадания в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» для старта из нисходящего узла орбиты

Дата попадания с начала эпохи, дней	ΔV_2 , м/с	T_{opt} , дней	Ω , °	u , °	ΔV_Σ , м/с
110	688,535	4,15	-40,874	145,566	3783,3
112	721,418	3,947	-21,483	156,762	3813,2
114	675,625	3,913	-5,81	170,943	3761
116	699,267	3,697	8,398	-170,305	3784,7

Таблица 3

Значения второго импульса скорости, оптимального времени перелета, долготы восходящего узла, аргумента широты и суммарного импульса скорости в зависимости от даты попадания в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» для старта из восходящего узла орбиты

Дата попадания с начала эпохи, дней	ΔV_2 , м/с	T_{opt} , дней	Ω , °	u , °	ΔV_Σ , м/с
102	638,211	4,213	8,297	10,538	3737,67
102,5	637,653	4,233	11,414	13,962	3737
103	637,59	4,25	14,648	17,285	3736,9
103,5	638,142	4,263	18,037	20,479	3737,3
104	639,45	4,277	21,621	23,506	3738,5

Приведем сравнительный график зависимости суммарного импульса скорости от даты попадания КА в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» при перелете из восходящего узла орбиты.

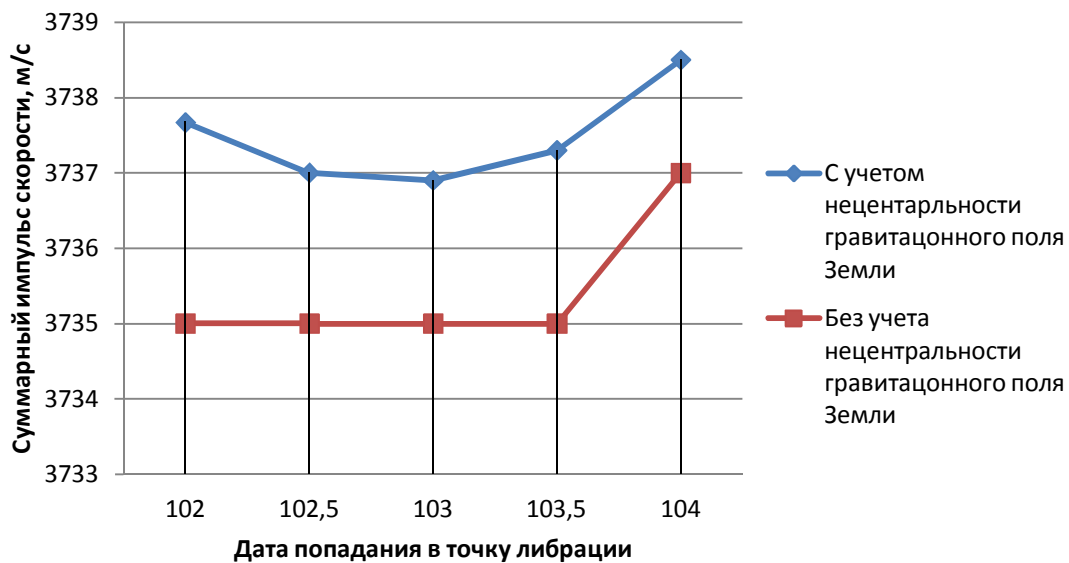


Рис. 2. Сравнительный график зависимости суммарного импульса скорости от даты попадания КА в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» при перелете из восходящего узла орбиты

На первый взгляд, значения суммарного импульса скорости изменились незначительно, но при расчете по формуле Циолковского (1) необходимо потратить дополнительно около 4 кг топлива. Следует отметить, что стоимость вывода 1 кг полезного груза только на геостационарную орбиту ракетой-носителем «Союз» составляет около \$ 25 000. Таким образом, учет нецентральности гравитационного поля Земли позволяет уточнить массу полезного груза и разумно потратить финансовые средства. Также следует учитывать, что коллинеарная точка либрации L1 системы «Земля – Луна» – неустойчивая. Соответственно, необходимо учитывать влияние нецентральности гравитационного поля Земли для минимизации количества топлива для дальнейшей стабилизации КА в точке либрации L1 системы «Земля – Луна» и, как следствие, увеличение массы полезной нагрузки КА.

Полученная математическая модель позволяет спрогнозировать потребный суммарный импульс скорости и, как следствие, потребную массу для перелета топлива в любой момент времени попадания в точку либрации L1 системы «Земля – Луна». Также можно найти оптимальные даты старта, когда энергетические затраты баллистического перелета минимальны.

Авторы выражают благодарность д.т.н., профессору Константинову Михаилу Сергеевичу (Национальный исследовательский университет «Московский авиационный институт») за ценные советы, конструктивные замечания и рекомендации по учету нецентральности гравитационного поля Земли в поставленной задаче численного моделирования баллистического перелёта КА в точку либрации L1 системы «Земля-Луна».

ЛИТЕРАТУРА

1. Механика космического полета: учеб. для втузов / М.С. Константинов, Е.Ф. Каменков, Б.П. Перелыгин, В.К. Безвербый; В.П. Мишин; под ред. акад. В.П. Мишина. М.: Машиностроение, 1989. 407 с.
2. Окишев Ю.А. Математическая модель баллистического анализа перелета космического аппарата в точку либрации системы «Земля – Луна» / Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: сб. тр. XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 6. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2012. С. 71-74.
3. Окишев Ю.А. Разработка математической модели баллистического анализа перелёта космического аппарата с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля – Луна», как решение частной ограниченной задачи трёх тел с учётом прецессии орбиты Луны / Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев // Вестник СГТУ. 2012. № 4 (68). С. 61-68.
4. Окишев Ю.А. Анализ влияния положения Луны на выбор схемы космического перелета в зависимости от даты попадания космического аппарата в точку L1 системы «Земля – Луна» / Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев // Информационные технологии, системы автоматизированного проектирования и автоматизация: сб. науч. тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2012. С. 114-118.
5. Окишев Ю.А. Алгоритм поиска оптимальной траектории баллистического перелета с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» / Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев // Прикладные аспекты исследований в радиофизике и др.: сб. науч. ст. СГУ и СГТУ. Саратов: ООО Изд. Центр «Рата», 2013. С. 50-61.
6. Окишев Ю.А. 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» / Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев // Вестник СГТУ. 2013. № 1 (69). С. 44-49.

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 Technologies, Engels Institute of Technology (Branch) Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

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 of Technical Physics and Information Technologies, Engels Institute of Technology (Branch) Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 53.082.534

Д.В. Уткин, В.Г. Германчук, А.Н. Глазков, П.С. Ерохин, А.Н. Спицын, С.Н. Задохин, Д.А. Щербаков

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Дано описание оптической системы. Цель работы – разработка оптической системы на основе методов спектроскопического анализа и оптоволоконной техники. Выявление микроорганизмов основано на регистрации максимума поглощения света в ультрафиолетовой области спектра компонентами клетки и рассеяния света биологическими частицами. Система может применяться как в стационарных, так и в полевых условиях.

Патогенные биологические агенты, оптическая система, спектроскопия

D.V. Utkin, V.G. Germanchuk, A.N. Glazkov, P.S. Erokhin, A.N. Sptysin, S.N. Zadokhin, D.A. Shcherbakov

AN OPTICAL SYSTEM FOR DETECTING MICROORGANISMS IN ENVIRONMENTAL OBJECTS

The article presents the description of an optical system. The aim of the study was to develop an optical system on the basis of spectroscopic analysis techniques and fiber optics technology. Detection of microorganisms is based on the registration of maximum light absorption of cell components in the ultraviolet region of the spectrum and the light scattering of biological particles. The system can be used both under stationary, and field conditions.

Pathogenic biological agents, optical system, spectroscopy

Оптические методы (световая микроскопия, спектроскопический анализ, биосенсоры на основе поверхностного плазмонного резонанса) широко используются для выявления и определения микроорганизмов в объектах окружающей среды. Среди них спектроскопический анализ характеризуется экспрессностью, отсутствием дополнительных реагентов, возможностью количественного учета результатов.

Целью данной работы стала разработка на основе методов спектроскопического анализа оптической системы для выявления микроорганизмов.

Методический подход к выявлению микроорганизмов в исследуемой пробе основан на анализе спектра поглощения исследуемого материала, переведенного в раствор (дистиллированную воду, 0,9 % раствор хлорида натрия и др.). Спектр поглощения клеток микроорганизмов и биологических молекул складывается из спектра поглощения входящих в их состав веществ и кривой светорассеяния [1-3]. Спектр поглощения компонентов клеток обусловлен присутствием таких биологических веществ, как белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, липиды, входящих в состав клеток микроорганизмов и имеющих максимум поглощения в ближней ультрафиолетовой (УФ) области спектра в диапазоне длин волн 200-300 нм. Светорассеяние, в свою очередь, зависит от концентрации и размера клеток микроорганизмов. Наличие максимума спектра поглощения в УФ области свидетельствует о присутствии биологических молекул. Анализ кривой светорассеяния в диапазоне длин волн 500-660 нм позволяет определить концентрацию клеток. Следует отметить, что проведение спектроскопического анализа требует предварительной очистки, концентрирования материала и перевода его в жидкую фазу [4].

Для решения поставленной задачи нами предложена стандартная оптическая схема для проведения спектроскопического анализа, включающая источник излучения, детектор, держатель кювет, оптоволоконные кабели. Свет от источника излучения поступал через входной оптоволоконный кабель в образец, установленный в держателе кювет. Прошедший через образец свет передавался по выходному оптоволоконному кабелю в детектор, соединенный с персональным компьютером со встроенным программным обеспечением. Источник излучения соединяли с внешним источником питания. В качестве детектора использовали малогабаритный волоконно-оптический спектрометр HR4000 (Ocean Optics, США), позволяющий проводить измерения различных спектральных характеристик (спектра поглощения, пропускания, отражения и др.) исследуемых образцов в широком диапазоне длин волн – 200-1100 нм. Спектральный диапазон длин волн пропускания оптоволоконных кабелей составил 200-750 нм. Для анализа использовали кюветы пластиковые с длиной оптического пути 10 мм, пропускающие свет в диапазоне длин волн 220-1600 нм.

Основным конструктивным решением при проектировании оптической системы было размещение оптического устройства внутри ударопрочного, пыле- и влагозащищенного кейса, изготовленного из материалов устойчивых к обработке дезинфектантами и включение дополнительного программного обеспечения, позволяющего проводить анализ спектров поглощения.

Все элементы оптической системы были жестко закреплены на приборной панели и дополнительно защищены панелью устойчивой к обработке дезинфектантами. Защитная панель закрывала все элементы оптической системы, имела отверстие для помещения кювет в кюветодержатель. Под защитной панелью горизонтально в одной плоскости были размещены и зафиксированы источник света, держатель кювет, спектрометр, соединенные между собой оптоволоконными кабелями. Транспортировка и хранение модуля не предусматривали наличие дополнительных упаковок.

Питание элементов устройства осуществлялось от сети переменного тока 220 В. Для подсоединения оптической системы к персональному компьютеру (ПК) с программным обеспечением использовали USB-кабель.

Для проведения анализа спектров взвесей микроорганизмов была разработана Программа по учету и анализу результатов оптической системы на базе оптоволоконного спектрометра. При разработке алгоритма работы программы были сформулированы основные функциональные характеристики программы:

- определение наличия биологических веществ в исследуемом материале;
- определение концентрации клеток микроорганизмов в растворе в пределах чувствительности метода по калибровочным кривым эталонных спектров;
- определение наличия либо отсутствия специфического взаимодействия между компонентами исследуемого образца и специфическими антителами.

Определение наличия биологических веществ (белков, нуклеиновых кислот, липидов) осуществляли по выявлению максимума поглощения в УФ области спектра.

Для определения концентрации клеток микроорганизмов по значениям оптической плотности при длине волны 600 нм эталонных спектров были построены калибровочные кривые.

Из литературных данных известно, что на участке длин волн 500-650 нм амплитуда кривой светорассеяния зависит от концентрации суспензии клеток, а угол наклона кривой – от формы и размера частиц [1]. Определение угла наклона кривой светорассеяния с помощью разработанной программы позволило ориентировочно оценить размеры частиц, присутствующие в пробе и исключить мешающие анализу крупные дисперсные частицы путем дополнительной очистки материала.

В результате проведенных исследований установлено, что при специфическом взаимодействии микроорганизмов с гомологичными антителами происходило снижение интенсивности спектра поглощения за счет образования комплексов «антиген-антитело». Снижение интенсивности в максимумах спектра поглощения объяснялось так называемым эффектом «сита» (или «проскока»). Часть лучей, пронизывая поглощающие комплексы, ослабляется, тогда как другая часть лучей «проскакивает» через толщу образца без поглощения [2, 3]. При взаимодействии микроорганизмов с гетерологичными антителами изменений спектральных характеристик не наблюдали.

В результате проведенной работы разработана оптическая система для выявления микроорганизмов в объектах окружающей среды. Отличительными ее характеристиками от аналогичных спектроскопических приборов являются:

- возможность учета и анализа данных, получаемых с помощью оптической системы, с использованием персонального компьютера (ПК) с программным обеспечением;
- проведение измерений в широком диапазоне длин волн (200-1100 нм);
- отсутствие внешнего источника питания спектрометра в составе системы (питание осуществляется через USB-кабель от ПК);
- наличие ударопрочного кейса, позволяющего его транспортировать и эксплуатировать в полевых условиях.

Разработанная программа позволяет анализировать спектры поглощения растворимых веществ, дисперсных частиц, клеток микроорганизмов, сравнивать их с хранящимися в базе данных спектрами клеток микроорганизмов, выдавать ответ о наличии в исследуемой пробе биологических молекул по положению максимума спектра поглощения в УФ-области, определять концентрацию клеток микроорганизмов в пределах чувствительности метода, определять ориентировочно размеры биологических частиц по углу наклона кривой спектра поглощения, выявлять наличие либо отсутствие специфического взаимодействия между биологическими молекулами и специфическими антителами после совместной инкубации.

Работа выполнена по Государственному контракту № 52-Д от 04.06.2012 г. в рамках реализации федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2013 годы)».

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров Ю.А. Фотобиология и спектральные методы исследования: практикум по общей биофизике / Ю.А. Владимиров, Ф.Ф. Литвин. Вып. 8. М.: Высш. шк., 1964. 211 с.
2. Спектры поглощения и рассеяния света клеточными суспензиями некоторых цианобактерий и микроводорослей / М.Н. Мерзляк, О.Б. Чивкунова, И.П. Маслова, Р.К. Накви, А.Е. Соловченко, Г.Л. Клячко-Гурвич // Физиология растений. 2008. 55 (3). С. 464-470.
3. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов / В. Шмидт. М.: Техносфера, 2007. 368 с.
4. Специфическая индикация патогенных биологических агентов: практ. руководство / под ред. акад. РАМН, проф. Г.Г. Онищенко. М.: ЗАО «МП Гигиена», 2006. 288 с.

Уткин Денис Валерьевич –
ведущий научный сотрудник Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Denis V. Utkin –
Leading Research Fellow
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Германчук Валерий Геннадьевич –
ведущий научный сотрудник Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Valery G. Germanchuk –
Leading Research Fellow
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Глазков Андрей Николаевич –
начальник сектора Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Andrey N. Glazkov –
Head of Section
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Ерохин Павел Сергеевич –
младший научный сотрудник Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Pavel S. Erokhin –
Junior Research Fellow
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Спицын Алексей Николаевич –
младший научный сотрудник Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Alexey N. Spitsyn –
Junior Research Fellow
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Задохин Сергей Николаевич –
главный электроник Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Sergei N. Zadohin –
Chief of Electronics Engineer
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Щербakov Дмитрий Анатоліевич –
начальник сектора Федерального казенного учреждения здравоохранения Российского научно-исследовательского противочумного института «Микроб», Саратов

Dmitri A. Scherbakov –
Head of Section
Russian Research Anti-Plague Institute «Microbe»,
Saratov

Статья поступила в редакцию 16.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

В.И. Шестеркин**ФОРМОВКА МАТРИЧНЫХ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ ИЗ СТЕКЛОУГЛЕРОДА
В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ**

Приведены результаты экспериментального исследования процессов, протекающих на поверхности матричных автоэмиссионных катодов (МАЭК) из стеклоуглерода СУ-2000 при их формовке. Определены временные рамки процесса формовки МАЭК от первого включения до получения стабильной автоэлектронной эмиссии. Исследовано влияние давления остаточных газов в макетах на величину автоэмиссионного тока катода и амплитуду его флуктуаций во времени. Показано, что МАЭК из стеклоуглерода стабильно работают в условиях технического вакуума ($1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ тор) и восстанавливают эмиссионную способность после работы при вакууме $\approx 1 \times 10^{-5}$ тор.

Матричный автоэмиссионный катод, углеродный автоэмиссионный катод, стабильность автоэлектронной эмиссии, формовка

V.I. Shesterkin**ACTIVATION OF FIELD EMISSION ARRAY CATHODES FROM GLASSY-CARBON
WITHIN THE HIGH ELECTRICAL FIELD**

Physical processes on the surface of field-emission array cathodes from glassy-like carbon (SU-2000) are investigated during the experiment with the diode end triode mock-up at their activation. The time limits are determined for the process of field emission cathode activation from the first turning to stable field-emission condition. The influence of vacuum on the value of the cathode current and its fluctuations in time is investigated. It is shown that field-emission array cathodes are characterized for stable operation under the condition of technical vacuum ($1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ tore) and maintain the regeneration ability of emission at the vacuum level 1×10^{-5} tore.

Field-emission array cathode, carbon field-emission cathode, stability field-emission

Введение

Процесс активировки металлопористых термоэмиссионных катодов является важным технологическим процессом, направленным на стабилизацию работы выхода электронов, повышение равномерности термической эмиссии по поверхности катода и стабилизации ее во времени. Для автоэмиссионных катодов также необходимо проводить процесс его активировки, который в литературе получил название – процесс формовки [1]. Для термоэмиссионных катодов активировку осуществляют повышением температуры, как параметра, определяющего величину плотности тока. Для автоэмиссионных катодов аналогичным параметром, определяющим плотность тока автоэлектронной эмиссии, является напряженность электрического поля. Процесс формовки автоэмиссионных катодов направлен на стабилизацию работы выхода ϕ , форм-фактора β , связывающего напряжение анода U_a и напряженность электрического поля E_0 на эмиссионных центрах и эффективной площади эмиссии $S_{эф}$ автоэмиссионного катода. Изменения работы выхода во времени обусловлены процессами адсорбции-десорбции молекул и радикалов остаточных газов (далее адсорбаты), а изменение форм-фактора – геометрией микроострий и их взаимным расположением [2]. Поскольку эффективная площадь эмиссии автоэмиссионного катода определяется количеством эмиссионных центров на вершинах микроострий, то процесс формовки направлен на увеличение количества работающих эмиссионных центров.

Процесс формовки автоэмиссионных катодов из углеродных волокон достаточно подробно исследован в [3]. Процесс формовки МАЭК из стеклоуглерода СУ-2000 как способ введения его в режим стабильной автоэлектронной эмиссии, а также его влияние на величину и амплитуду флуктуаций автоэмиссионного тока в условиях технического вакуума изучены недостаточно [4] и требуют дальнейших исследований.

Целью работы является экспериментальное исследование физических процессов на поверхности микроострий в процессе формовки МАЭК из стеклоуглерода в зависимости от давления остаточных газов в сильных электрических полях (1×10^7 В/см \div 7×10^7 В/см).

Объекты экспериментальных исследований

В работе исследовались эмиссионные свойства матричных автоэмиссионных катодов, изготовленных с использованием тонкопленочной технологии, фотолитографии и термохимического травления монолитного стеклоуглерода СУ-2000 [5]. Стеклоуглерод выбран в качестве материала МАЭК из-за его уникальных характеристик [6]:

- по своему химическому составу на 99.99 % состоит из углерода;
- не образует устойчивых химических связей с атомами и молекулами остаточных газов, что обеспечивает постоянство работы выхода;
- имеет хорошую газонепроницаемость;
- обладает высокой температурой фазового перехода $\approx 5000^\circ\text{C}$.

Следует отметить, что только на стеклоуглероде удалось сформировать воспроизводимую топологию матриц микроострий с использованием технологии термохимического травления.

МАЭК представляли собой диски диаметром 3 мм, высотой 2 мм с плоскими торцами на одном из которых была сформирована матрица микроострий в форме усеченного конуса высотой $h=15$ мкм, диаметрами основания $d=14$ мкм и вершины $d=1.5$ мкм. Микроострия располагались в углах квадрата со стороной $L=20$ мкм, что соответствовало плотности упаковки $N_o=2.5 \times 10^5$ см⁻². Поверхность вершин микроострий представляла собой топологию хаотически расположенных наноострий высотой $h_{cp} \approx 7$ нм, радиусом кривизны $r_{cp} \approx 0.5$ нм и усредненным значением расстояния между ними $L_{cp} \approx 80$ нм, что соответствовало плотности упаковки $N_o \approx 1.6 \times 10^{10}$ см⁻² [7].

Учитывая, что напряженность поля на вершине наноострия определяется его аспектным отношением (h/r_{cp}), а плотность автоэмиссионного тока изменяется от напряженности поля по экспоненциальному закону, то физический смысл формовки состоит в формировании на вершинах микроострий максимально возможного количества идентичных по своим геометрическим размерам наноострий. Это необходимое условие обеспечения примерно одинаковой напряженности электрического поля на каждом из них. При этом возрастает эффективная площадь эмиссии катода, токовая нагрузка на эмиссионные центры снижается до значений плотности тока, существенно меньших, чем предельно допустимые для стабильной автоэлектронной миссии ($\approx 1 \times 10^9$ А/см²) [8].

Исследования процесса формовки и оценка стабильности автоэлектронной миссии проводились на макетах диода и триода с плоскими электродами. Для защиты от пробоев в цепь катода последовательно было включено сопротивление $R = 84$ кОм. Токи на электродах регистрировались в непрерывном режиме микроамперметрами класса точности 1.5, а в импульсном режиме – с помощью осциллографа. Измерения параметров МАЭК проводились при непрерывной откачке. Вакуумный стенд был снабжен смотровым окном для визуального наблюдения пробойных явлений и измерения температуры катода с помощью пирометра.

Исследование процесса формовки МАЭК в диодном режиме

Исследования эмиссионных характеристик МАЭК проводились на макетах диодов аноды которых были изготовлены из стеклоуглерода. Использование анодов из молибдена или меди не привели к положительным результатам. Это было связано с выделением на поверхности анода высоких значений мощности электронного потока до ($\approx 2.2 \times 10^3$ Вт/см²), что приводило к расплавлению участков анода напротив микроострий и осаждению материала анода на микроострия. На аноде из меди был обнаружен отпечаток матрицы микроострий в виде кратеров. На аноде из молибдена обнаружен отпечаток матрицы микроострий. В процессе непродолжительной работы обоих диодов автоэмиссионный катод постепенно деградировал. Формовка МАЭК в диоде проводилась в непрерывном режиме, что позволяло осуществлять процесс десорбции молекул остаточных газов с поверхности микроострий не только за счет действия пондеромоторных сил электрического поля, но и за счет их разогрева джоулевым теплом и излучением с поверхности анода. Измерения температуры катода через смотровое окно вакуумной камеры методом пирометрирования показали, что температура в диодном промежутке достигала $\approx 1200^\circ\text{C}$. Естественно предположить, что температура непосредственно на эмиссионных центрах была значительно выше.

Формовка диодов начиналась при давлении остаточных газов $\approx 5 \times 10^{-7}$ тор и напряженности электрического поля в диоде $E_d \approx 1 \times 10^5$ В/см. На начальном этапе наблюдался самопроизвольный рост автоэмиссионного тока катода с кратковременными выбросами тока, на порядок превышающими его среднее значение (рис. 1). С течением времени по мере увеличения напряженности поля среднее значение тока катода увеличивалось, амплитуда флуктуаций тока ΔI уменьшалась. При этом начало эмиссии смещалось в сторо-

ну более высоких напряжений. Флуктуации тока автоэлектронной эмиссии после 2-3 часов работы диода уменьшились до 3.5%. Вольт-амперные характеристики диода воспроизводились. Наблюдаемые процессы изменения тока и его флуктуации обусловлены процессами десорбции молекул и атомов остаточных газов с поверхности микроострий. Работа выхода и напряженность электрического поля на эмиссионных центрах все в большей степени определялись непосредственно материалом автоэмиссионного катода и геометрией эмиссионных центров на вершинах микроострий.

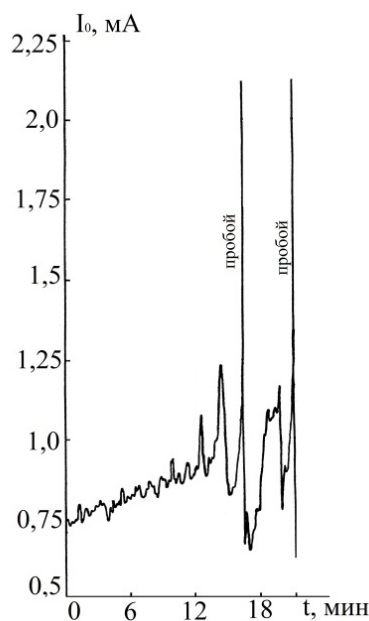


Рис. 1. Изменение тока катода от времени

Когда поверхность микроострий в основном была очищена от адсорбатов, дальнейшее увеличение напряжения на аноде диода приводило к запредельному увеличению тока некоторых наноострий, имеющих наиболее высокий коэффициент усиления поля. За счет термического разогрева значительно уменьшалось их аспектное отношение вплоть до единицы (разрушение наноострия). В результате этого напряженность поля на вершинах соседних наноострий возрастала, что приводило к увеличению их тока автоэлектронной эмиссии. Гибель старых и рождение новых эмиссионных центров приводили к изменению эффективной площади автоэлектронной эмиссии катода (рис. 2).

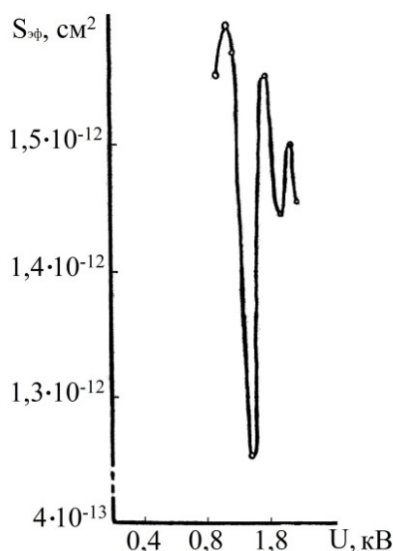


Рис. 2. Изменение эффективной площади эмиссии катода от напряжения анода при зазоре диодного промежутка $d_{ка} = 30$ мкм

В ходе экспериментов возникали настолько мощные пробой, в результате которых эмиссия МАЭК уменьшалась на 30-50% и потом не восстанавливалась. В этом случае происходило разрушение одного или нескольких микроострий на поверхности автоэмиссионного катода (рис. 3).

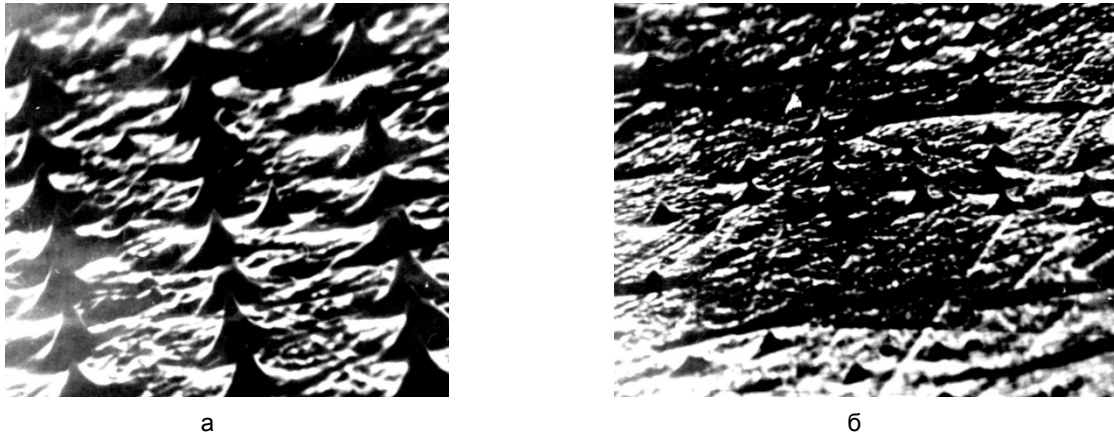


Рис. 3. Фотография поверхности МАЭК: а – до пробоя; б – после пробоя

Изучение процессов формовки показали, что для каждого типа МАЭК, отличающихся геометрией микроострий и плотностью их упаковки, существует индивидуальное значение критической напряженности поля в диоде $E_{д.кр.}$, выше которой происходили необратимые процессы в результате которых эмиссия катода не восстанавливалась. Для МАЭК с плотностью упаковки $N_o = 2.5 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$, высотой $h \approx 15 \text{ мкм}$ и радиусом вершин $r \approx 0.75 \text{ мкм}$ и зазора диодного промежутка $d_{ка} \approx 1-2 \text{ мкм}$ величина критической напряженности поля составляла $E_{д.кр} \approx 90 \text{ В/мкм}$, а для промежутка $d_{ка} \approx 5 \text{ мкм}$ $E_{д.кр} \approx 120 \text{ В/мкм}$.

Формовка МАЭК в макете триода. Конструктивно макет триода состоял из МАЭК, вытягивающей сетки и анода. МАЭК был выполнен в форме диска с диаметром 3 мм и высотой 2 мм. Матрица имела микроострия высотой $h \approx 15 \text{ мкм}$, с радиусом кривизны вершин $r \approx 1.5 \text{ мкм}$ и плотностью упаковки $N_o = 2.5 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$. Вытягивающая сетка, изготовленная из танталовой фольги толщиной 0.1 мм, имела ячейки в форме круглых отверстий диаметром 0.3 мм, расположенных на расстоянии 0.1 мм друг от друга. Геометрическая прозрачность сетки составляла 30%. Расстояние от вершин микроострий до сетки составляло 0.05 мм. Анод был выполнен из стеклоуглерода в виде диска диаметром 10 мм и толщиной 2 мм. Он размещался на расстоянии 0.5 мм от сетки и имел потенциал на 200 вольт выше, чем ее потенциал. Перед постановкой МАЭК в макет триода он подвергался процессу формовки в диодном режиме.

Формовка МАЭК начиналась при вакууме 1×10^{-7} тор. Напряжение на сетке повышали, начиная от $U_a = 500 \text{ В}$, с интервалом 20 В. На рис. 4 представлены вольт-амперные характеристики триода после их работы в течение 6, 10, 14 и 20 часов в непрерывном режиме. В процессе формовки МАЭК начало вольт-амперных характеристик триода смещалось в область более низких напряжений. После 20 часов тренировки его ВАХ стабильно воспроизводились и процесс формовки считался завершенным.

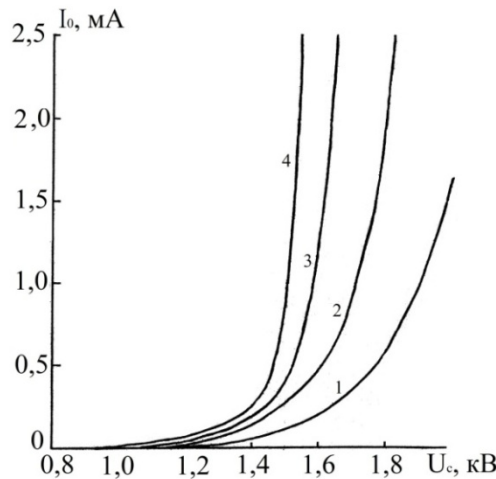


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики МАЭК в триоде от времени: 1 – 6 часов; 2 – 10 часов; 3 – 14 часов; 4 – 20 часов

На этом же макете были проведены исследования влияния давления остаточных газов на эмиссию и флуктуации катодного тока (рис. 5). Было установлено, что величина тока автоэлектронной эмиссии МАЭК не изменяется при увеличении давления до $p \approx 1 \times 10^{-6}$ тор. Увеличение давления остаточных газов до 5×10^{-6} тор приводило к уменьшению тока автоэлектронной эмиссии примерно на 10% и увеличению амплитуды его флуктуаций до 12%. При достижении давления остаточных газов

2×10^{-5} тор ток катода уменьшалось почти на 30%, а амплитуда флуктуаций увеличивалась до 15%. При восстановлении давления остаточных газов до 1×10^{-7} тор в течение примерно 12 часов первоначальные значения катодного тока и амплитуда его флуктуации на уровне 3.5% полностью восстановились.

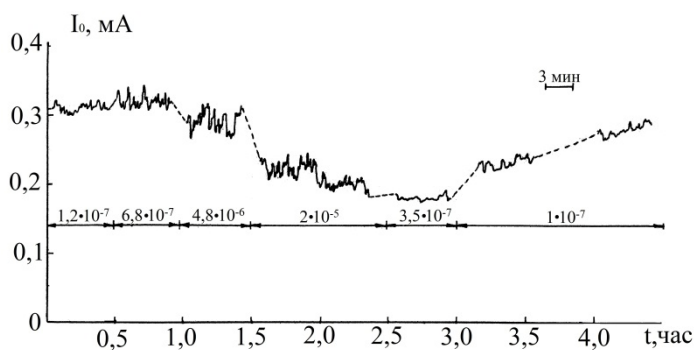


Рис. 5. Изменение катодного тока от давления остаточных газов

Заключение

В работе исследованы закономерности автоэмиссионных процессов МАЭК из стеклоуглерода в диодах и триодах при его активировке от момента постановки в вакуумную камеру до момента получения стабильной автоэлектронной эмиссии. Показано, что процесс активировки МАЭК состоит из двух этапов. На первом этапе – очищения поверхности катода от адсорбатов наблюдался самопроизвольный рост эмиссионного тока, который сопровождался микропробоями. Однако это не приводило к существенному снижению общего тока автоэлектронной эмиссии. Микропробойи на этом этапе формовки МАЭК были обусловлены миграцией атомов и молекул остаточных газов к вершинам микроострий, что приводило к возрастанию коэффициента усиления и эмиссионного тока и последующей их десорбции. После процесса очищения поверхности МАЭК от адсорбатов наступал этап его формовки в сильных электрических полях. В процессе этой фазы процесса формовки происходили изменения геометрических размеров микроострий вследствие их разрушения под действием термического нагрева, и изменения напряженности электрического поля на соседних микроостриях и тока автоэлектронной эмиссии с них. Эти явления на этапе формовки приводили к флуктуации эффективной площади эмиссии с последующей ее стабилизацией. Экспериментально подтверждена стабильная автоэлектронная эмиссия МАЭК из стеклоуглерода при давлении остаточных газов не хуже 5×10^{-6} тор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Б.В. Автоэлектронные эмиттеры с развитой рабочей поверхностью / Б.В. Бондаренко, В.И.Макуха, Е.П. Шешин // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1984. Вып. 10 (370). С. 44-47.
2. Бондаренко Б.В. Проблема стабильности автоэлектронной эмиссии и некоторые пути ее решения / Б.В.Бондаренко // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1980. Вып. 9 (321). С. 3-8.
3. Бондаренко Б.В. Флуктуации автоэмиссионного тока катода из углеродного волокна / Б.В. Бондаренко, Ю.В. Писаренко, Е.П. Шешин // Радиотехника и электроника. 1986. Вып. 10. С. 2056-2060.
4. Григорьев Ю.А. Экспериментальное исследование стабильности эмиссионных характеристик матричных углеродных автокатодов из стеклоуглерода марки СУ-2000 в условиях технического вакуума / Ю.А.Григорьев, В.И.Шестеркин // Электронные приборы и устройства СВЧ: тез. докл. конф. Саратов, 5-7 сентября 2012 г. Саратов, 2012. С. 66-69.
5. Способ формирования топологии преимущественно многоострийного автокатаода: Пат.1738013, Российская Федерация, МКИ Н01 j 1/ 30 / Ю.А. Григорьев, С.В. Васильковский, В.И. Шестеркин, З.А.Ярцева. № 481/973/24-21; Заявл. 09.04.90; Оpubл. 06.04.93.
6. Федоров В.Б. Углерод и его взаимодействие с металлами / В.Б. Федоров, М.Х. Шоршоров, Д.К. Хакимова. М.: Металлургия, 1978. 208 с.
7. Гуляев Ю.В. Исследование автоэмиссионных характеристик фрактальных структур / Ю.В. Гуляев, Ю.А. Григорьев, В.Н. Король и др. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2005. №1-2. Т. 13. С. 88-97.
8. Елинсон М.И. Ненакаливаемые катоды / М.И. Елинсон. М.: Сов. радио, 1974. 336 с.

Шестеркин Василий Иванович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ОАО «НПП» Алмаз», Саратов

Vasily I. Shesterkin – Ph. D., Senior Research Fellow JSC NPP Almaz, Saratov

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 544.65

И.Б. Кучмин, Г.Г. Нечаев, Н.Д. Соловьёва

О ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО СИЛИКАТНО-ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ В ХОДЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены экспериментальные данные об изменении физико-химических свойств силикатно-щелочного электролита в ходе серийного производства. Дано объяснение зависимости рН электролита от величины заряда, прошедшего через электролит в ходе процесса микродугового оксидирования. Предложена связь между проводимостью электролита и изменением качества покрытия: началом его разрушения.

Электролит, вязкость, проводимость, плотность, энергия активации, микродуговое оксидирование

I.B. Kuchmin, G.G. Nechaev, N.D. Solovyeva

CHANGES IN THE CHARACTER OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF TWO-SILICATE ALKALINE ELECTROLYTE FOR MICROARC OXIDATION OVER THE PRODUCTION PROCESS

Experimental data relating the changes of the physical and chemical properties of silicate and alkaline electrolyte are provided in the course of the mass production process. Explanation is given as to the dependence of the pH electrolyte on the size of the charge which passes through the electrolyte during the process of microarc oxygenating. The relationship between conductivity of electrolyte and changes in the quality of the covering is described starting from its destruction process.

Electrolyte, viscosity, conductivity, density, activation energy, microarc oxidation

Введение. В источниках научно-технической информации появляются все новые публикации о результатах разнообразных исследований, связанных с процессами формирования защитных функциональных покрытий методом микродугового оксидирования (МДО) [1-4]. Не в последнюю очередь такой интерес обусловлен появлением и успешным функционированием производств, использующих технологию МДО при выпуске своей продукции. Свойства покрытий, формируемых методом МДО, определяются как технологическим режимом, так и составом электролита [1]. В условиях серийного производства особое значение приобретает информация о стабильности и воспроизводимости значимых характеристик покрытия, о сроке эксплуатации электролита.

Целью настоящего исследования являлось изучение изменений физико-химических свойств двухкомпонентного силикатно-щелочного электролита в процессе эксплуатации и разработка рекомендаций по его корректировке.

Методика проведения исследований. Процесс МДО деталей, выполненных из алюминиевого сплава Д16Т, проводился в водном двухкомпонентном электролите состава: 4 г/дм³ NaOH, 12 г/дм³ жидкого стекла натриевого. Режим процесса – анодный, однополупериодный. Частота следования импульсов – 50 Гц. Катодом служила электролитическая ванна из нержавеющей стали. Перемешивание электролита производилось подачей сжатого воздуха. Корректировок состава электролита в ходе исследования не производилось.

Отбор проб рабочего электролита производился через каждые три рабочие смены, что соответствует количеству прошедшего электричества порядка 6 Ач/дм³, после формирования покрытия на серии контрольных образцов. Всего было отобрано 7 проб. Эксперимент продолжался до момента появления на покрытии дефектов (наростов, «прогаров»).

Для отобранных проб растворов были проведены исследования вязкости, плотности и удельной проводимости электролита в диапазоне температур от 25 до 55°C. Выбор конечной температуры 55°C обусловлен режимом МДО. Термостатирование проводилось с помощью термостата марки VT-20. Определение вязкости проводили измерением времени истечения жидкости по капилляру вискозиметра ВПЖ-2М ТУ4321-006-72002039-2005. Для измерения плотности электролита использовался набор ареометров АОН-1 ГОСТ 18481-81. Удельная проводимость электролита определялась кондуктометром лабораторным КЛ-С-1 ТУ4215-003-14725095-08 с наливной ячейкой и платиновыми электродами.

Для измерения рН электролита был использован электронный рН-метр модели рН-150М с электродом стеклянным комбинированным ЭСК-1033/7, выполненным по ГОСТ 22261-94.

Наличие катионов алюминия Al^{3+} в растворе электролита определялось по реакции с ализарином. В аммиачной среде образуется ярко-красное комплексное соединение ализарионат алюминия – «алюминиевый лак» [5].

Измерение открытой пористости и диаметра пор на образцах покрытия производили на анализаторе изображения микроструктур АГПМ-6М ФУЛК 401163.001-01 с программой «Металлограф».

Результаты и их обсуждение. Результаты измерения физико-химических свойств электролита приведены в табл. 1.

Физико-химические свойства силикатно-щелочного электролита

Таблица 1

№, пробы электролита	Заряд, прошедший через электролит Q, А·ч/дм ³	Кинематическая вязкость ¹ ν , 10 ⁻⁶ м ² /с ²	Динамическая вязкость ¹ $\eta \cdot 10^{-6}$, Па·с	Плотность ρ^1 , кг/м ³	Удельная проводимость $\chi \cdot 10^{-3}$, (См/м)
1	0,8	0,634	630,89	995,66	1,705
2	6,4	0,603	600,36	995,66	1,672
3	11,25	0,634	630,68	995,33	1,391
4	17,7	0,613	610,13	995	1,082
5	24,1	0,644	640,64	995	1,105
6	29,7	0,634	630,47	995	1,097
7	32	0,644	640,42	994,66	0,999

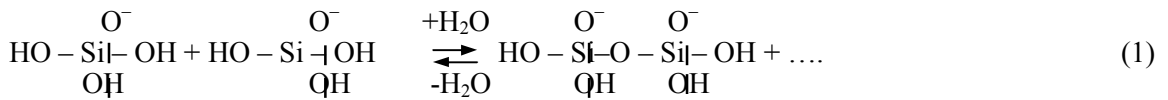
¹Значения величин при температуре 55 °С.

Как видно из представленных результатов, значения кинематической и динамической вязкости колеблются и имеют слабо выраженную тенденцию к увеличению. Плотность и проводимость электролита уменьшаются по мере возрастания величины заряда, пропущенного через электролит в ходе процесса МДО.

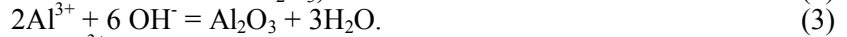
Характеристикой, которая существенно изменилась в процессе эксплуатации электролита, является проводимость. Проводимость электролита при прочих одинаковых условиях определяется концентрацией ионов. Уменьшение концентрации анионов в составе электролита в прианодной области приводит к уменьшению количества ионов электролита, попадающих в объем плазменного образования, уменьшению ионной составляющей тока микродугового разряда и, соответственно, к уменьшению объема продуктов плазмохимических реакций. Таким образом, при уменьшении проводимости электролита, условия, при которых канал микроразряда оказывается незаполненным, реализуются раньше. Соответственно раньше возникают условия, при которых расплав металла, возникающий в зоне термического воздействия микроразряда, начинает вытекать на поверхность покрытия. Логично предположить, что именно там, где образуются незаполненные поры и разряды возникают на одном и том же месте и образуются дефекты покрытия.

В случае двухкомпонентного силикатно-щелочного электролита, по мнению авторов [6], в электрохимическом процессе участвуют гидроксильные и силикатные анионы. В этом случае рост покрытия происходит по двум параллельным путям: первый – формирование покрытия по механизму электрохимического роста оксидных слоев в системе металл-оксид-электролит, а второй – образование на поверхности электрода химических соединений с участием компонентов электролита.

В разбавленных растворах силикаты щелочных металлов диссоциируют на катион Na^+ и мономерный анион $[H_3SiO_4]^-$, который в результате поликонденсации в концентрированных электролитах образует полимерные цепи разной длины [6]:



Встреча ионов металла с диффундирующими к аноду ионами окислителя приводит к образованию оксидов. Для алюминия вероятные уравнения будут иметь следующий вид:



В процессе работы электролита в первую очередь расходуются OH^- ионы, что должно отразиться на величине проводимости и pH электролита (табл. 1, рис. 1).

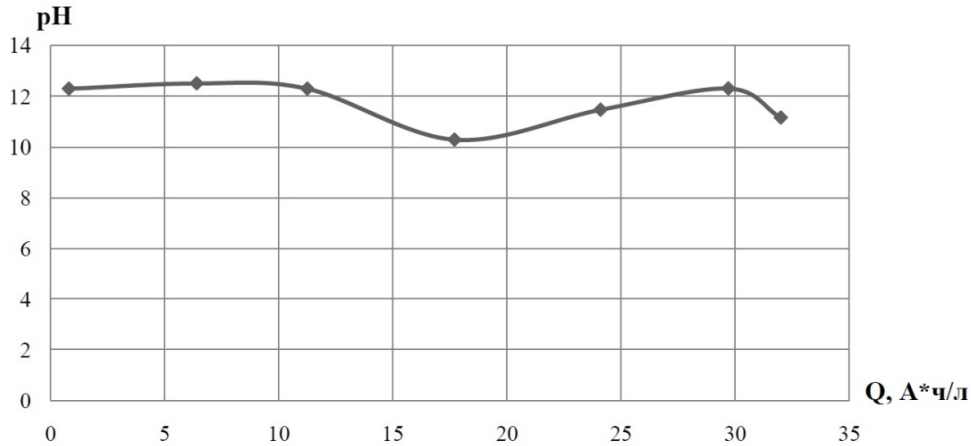


Рис. 1. График зависимости pH электролита от заряда, прошедшего через электролит в ходе процесса МДО алюминиевых деталей

Для разбавленных водных растворов электролитов (концентрация 0,1М и менее) характерна тетраэдрическая структура с развернутой трехмерной сеткой водородных связей, которая разрушается при повышении температура до 45-55°C. Это отражается в изменении энергии активации вязкого течения (E_η^*) (табл. 2, 3). Величина E_η^* рассчитывалась, исходя из температурной зависимости динамической вязкости (рис. 2) при использовании уравнения:

$$E_\eta^* = 2,3 R (\Delta \lg \eta) / (1/T). \quad (5)$$

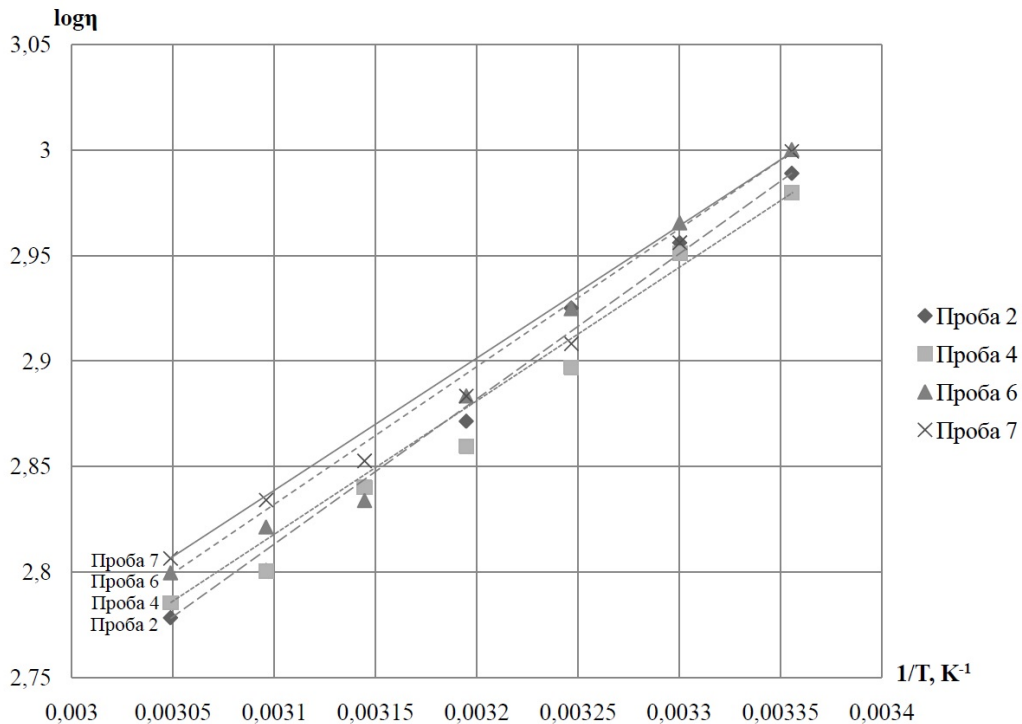


Рис. 2. Графики зависимости $\log \eta$ от $1/T$ для проб электролита, отобранных после прохождения заряда величиной: 2 – 6,4 Ач/дм³; 4 – 17,7 Ач/дм³; 6 – 29,7 Ач/дм³; 7 – 32 Ач/дм³

Изменение энергии активации вязкого течения двухкомпонентного силикатно-щелочного электролита МДО в процессе эксплуатации в диапазоне температур 45-55°C

№ пробы	2	3	4	5	6	7
Q, Ач/дм ³	6,4	11,25	17,7	24,1	29,7	32
E _п , кДж/моль	11,5	11,5	15,3	9,6	11,5	15,3

Таблица 3

Изменение энергии активации вязкого течения двухкомпонентного силикатно-щелочного электролита МДО в процессе эксплуатации в диапазоне температур 25-40°C

№ пробы	2	3	4	5	6	7
Q, Ач/дм ³	6,4	11,25	17,7	24,1	29,7	32
E _п , кДж/моль	22,9	19,1	26,8	26,8	26,8	30,6

Анализ изменения pH и энергии активации электролита в диапазоне температур 45-55°C от величины заряда, прошедшего через электролит в ходе процесса МДО, позволил выявить, что после прохождения через электролит заряда 17 Ач/дм³ наблюдается рост этих величин. Эту аномалию можно объяснить изменениями, происходящими в составе и структуре электролита. В процессе анодного окисления алюминия происходит растворение металла. Основная часть растворенного металла принимает участие в реакциях окисления (2-4). Продукты этих реакций образуют оксидное покрытие на обрабатываемой поверхности. В тоже время часть растворенного металла переходит в состав электролита, вызывая изменение его состава. Эти изменения могут быть связаны с накоплением в составе электролита ионов Al³⁺ и образованием гидроксида алюминия Al(OH)₃. Образование этого нерастворимого в воде соединения, связано с уменьшением концентрации в составе электролита ионов OH⁻ и соответственно уменьшением величины pH электролита. При проведении реакций по определению наличия катионов алюминия в растворе электролита пробы №1,2,3 дали умеренное окрашивание, проба №4 – интенсивное окрашивание с мутью, проба №5 – умеренное окрашивание, пробы №6,7 – сильное окрашивание. Качественный анализ на наличие ионов алюминия в составе электролита показал, что в четвертой пробе электролита, отобранной после пропускания через электролит заряда 17,7 Ач/дм³, количество ионов алюминия достигает максимума, после чего его содержание уменьшается. Содержание ионов алюминия в растворе вновь возрастает к моменту прохождения через электролит заряда 32 Ач/дм³ и началу разрушения покрытия.

Восстановление pH в ходе дальнейшей эксплуатации электролита может быть связано с изменением характера реакций, в которых принимают участие ионы Al³⁺ и изменением структуры электролита в области исследуемых температур.

Рассмотренный механизм изменения проводимости и pH электролита позволяет рекомендовать корректировку состава электролита добавлением гидроксида натрия. Проведение корректировок состава электролита в ходе серийного производства покрытий на поверхности запорных элементов из сплава Д16Т для шаровых кранов позволило продлить срок эксплуатации двухкомпонентного силикатно-щелочного электролита в два раза – с одного до двух месяцев.

В результате проведенных исследований было установлено, что характер изменения среднего диаметра незакрытых пор, остающихся в покрытии в момент прекращения процесса МДО, соответствует изменению величины обратной проводимости (удельного сопротивления) электролита. С увеличением удельного сопротивления раствора электролита (уменьшением проводимости) средний диаметр незакрытых пор возрастает от 8,6 до 17,4 мкм. Наглядно видно изменение размера пор на изображениях поверхности покрытий, полученных в свежеприготовленном электролите (рис. 3 а) и в электролите после прохождения заряда 24,1 Ач/дм³ (рис. 3 б).

Такая зависимость хорошо согласуется с известными представлениями о протекании плазмохимических процессов в плазме микрозарядов [7] и моделью развития плазменных образований в процессе микродугового оксидирования [8].

Уменьшение концентрации анионов в плазме микрозаряда приводит к уменьшению количества продуктов плазмохимических реакций. В итоге при уменьшении проводимости электролита возникает ситуация, при которой после микрозаряда пора (канал разряда) остается незаполненной. Последующий разряд возникает в этом же месте. В результате последовательного возникновения в одном и том же месте микрозарядов, происходит локальный перегрев покрытия и металла основы, плавление и вытекание на поверхность части металла и начинается локальное разрушение покрытия. Таким образом, проводимость электролита определяет максимально достижимую в ходе процесса МДО толщину и момент начала разрушения покрытия под действием микрозарядов.

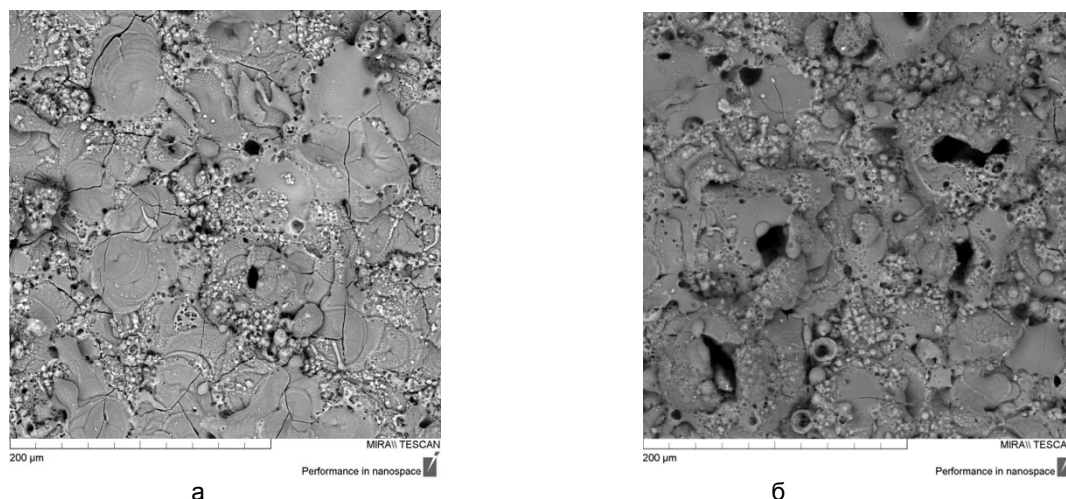


Рис. 3. Поры на поверхности покрытия полученного методом МДО:

а – в свежеприготовленном электролите; б – в электролите после прохождения заряда $24,1 \text{ А} \cdot \text{ч}/\text{дм}^3$

Выводы

В ходе серийного производства покрытий в двухкомпонентном силикатно-щелочном электролите методом МДО происходит уменьшение проводимости электролита, что приводит к увеличению размера пор и началу разрушения покрытия. Корректировка состава электролита добавлением щелочи позволяет вдвое увеличить срок службы электролита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слонова А.И. Морфология, структура и фазовый состав микроплазменных покрытий, сформированных на сплаве Al – Cu – Mg / А.И. Слонова, О.П. Терлеева // Защита металлов. 2008. т.44. №1. С.72-83.
2. Ракоч А.Г. О кинетических особенностях роста покрытия на поверхности сплава Д16 при смене технологических режимов анодирования / А.Г. Ракоч, А.Г. Сеферян, А. Номине // Коррозия: материалы, защита. 2012. №7. С. 38-45.
3. Кучмин И.Б. Плотность тока как определяющий параметр процесса микродугового оксидирования / И.Б. Кучмин, Г.Г. Нечаев // Вестник СГТУ. 2013. №1(69). С. 62-66.
4. Кучмин И.Б. Физико-химические характеристики электролита и механические характеристики покрытия, формируемого в процессе микродугового оксидирования / И.Б. Кучмин, Г.Г. Нечаев, Н.Д. Соловьева // III Международная конференция по химии и химической технологии: сб. материалов / ред.: д.т.н. Н.Б. Князян, к.т.н. Г.Г. Манукян, к.т.н. А.Р. Исаакян, д.т.н. А.Е Костянян. Ереван: Ин-т общей и неорганической химии НАН РА, 2013. С. 152-154.
5. Пономарев В.Д. Аналитическая химия / В.Д. Пономарев. М.: Медицина, 1977. С. 132.
6. Черненко В.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом / В.И. Черненко, Л.А. Снежко, И.И. Папанова. Л.: Химия, 1991. 128 с.
7. Нечаев Г.Г. Модель микрозарядов в процессе микродугового оксидирования / Г.Г. Нечаев // Вестник СГТУ. 2013. №1 (69). С. 107-112.
8. Кучмин И.Б. О характере изменения плазменных образований в процессе микродугового оксидирования и их влиянии на характеристики покрытия в ходе серийного производства / И.Б. Кучмин, Г.Г. Нечаев, Н.Д. Соловьева // Быстрозакаленные материалы и покрытия // Сб. тр. 12-й Всерос. с междунар. участием науч.-техн. конф. : в 2 т. 26-27 ноября 2013 г. / МАТИ. М.: МАТИ, 2013. Т. 1. С. 275-281.

Кучмин Игорь Борисович – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor B. Kuchmin – Postgraduate Department of Electrochemical Production Technology, Engels Institute of Technology (Branch) Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

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 Bioengineering and Medical Devices and Systems
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

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

Nina D. Solovyeva – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Technology Electrochemical Production
Engels Institute of Technology (Branch)
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 17.08.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 677.494.745.32.661.838

К.Р. Рамазанов, В.П. Севастьянов

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ В ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМОХЛОРИДА

Исследован процесс очистки от механически и органических примесей и переработки алюмохлорида – отхода производства фенола и ацетона по кумольной технологии и подобраны оптимальные регулируемые условия получения гексагидрата, полиоксихлоридов, гидроксида и оксида алюминия - функциональных добавок в полимерные композиты. Разработана эффективная технология полной очистки от механических и органических примесей и последовательного получения функциональных добавок из алюмохлорида.

Отход, алюмохлорид, технология, функциональная добавка, наполнитель, полимер, композиты

K.R. Ramazanov, V.P. Sevastyanov

FUNCTIONAL ADDITIVES TO POLYMERIC COMPOSITES. ALUMINIUM CHLORIDE PROCESSING TECHNOLOGY

The process of cleaning of aluminium chloride (a waste of the phenol and acetone production by the cumene technology) from mechanical and organic impurities and its treatment were studied, optimum adjustable conditions of obtaining hexahydrate, polyoxychlorides, aluminium hydroxide and oxide (functional additives to polymeric composites) were found. An effective technology of full cleaning from mechanical and organic impurities and consecutive obtaining functional additives from aluminium chloride has been developed.

Waste, aluminium chloride, technology, functional additive, filler, polymer, composites

В настоящее время гидрокси- и гидроксихлоридные соединения алюминия, среди которых гексагидрат хлорида, полиоксихлориды, гидроксид алюминия и оксид алюминия, широко используются в качестве функциональных добавок в полимерные композиты для улучшения их огнезащитных, гидрофобных, физико-механических, триботехнических и других свойств [1-4].

Источником дешевого сырья для получения функциональных добавок к полимерным композитам являются крупнотоннажные алюминийсодержащие отходы производства нефтехимического синтеза этилбензола, кумола, изобутилбензола или алкилбензолов [5, 6] и других

органических соединений, технология которых основана на применении в качестве катализатора безводного хлорида алюминия [7].

Цель работы – проведение исследований процесса термообработки при «деликатных» условиях пониженного давления и температуры и разработка эффективной технологии очистки от примесей и переработки алюмохлорида в функциональные добавки полимерных композитов.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали отход производства фенола и ацетона по куольной технологии [5, 6] – алюмохлорид с техническими показателями согласно ТУ 5152-005-47773738-2002 «Алюмохлорид». Для полного удаления механических и смолообразных примесей из алюмохлорида подобран фильтрующий материал, который после фильтрации представляет собой раствор с зеленоватым оттенком. Исследована зависимость температуры кипения $T_{\text{кип}}$ (°C) очищенного алюмохлорида при атмосферном давлении и плотности ρ (г/см³) от содержания хлорида алюминия C (% масс). Найдены аппроксимационные формулы для зависимостей $C=100\cdot(\rho-1)$ и $T_{\text{кип}}=100+0,533\cdot C$ или $T_{\text{кип}}=100+53,3\cdot(\rho-1)$, описывающие экспериментальные данные и позволяющие упростить анализ с достаточной в промышленных условиях точностью $\pm 0,1\%$ масс концентрацию и $\pm 0,2^\circ\text{C}$ температуру кипения по плотности алюмохлорида в практически важном диапазоне изменения концентрации хлорида алюминия $1\leq C\leq 30\%$ масс в рецикле алюмохлорида [6]. В предварительных опытах установлено, что при отгонке воды из алюмохлорида при атмосферном давлении и повышении температуры термообработки выше 115°C происходит не регулируемый термический гидролиз алюмохлорида до образования не растворимого в воде гидроксида алюминия. Поэтому из-за термической нестабильности соединений гидроксидов алюминия в растворе [8,9] были подобраны «деликатные» условия удаления воды при пониженных остаточных давлениях (вакуум) для снижения температуры кипения и термообработки алюмохлорида. Исследования по термообработке алюмохлорида путем отгона конденсата проводили на вакуумной установке, состоящий из колбы-реактора объемом 250-500 мл, вакуумметра-манометра, вакуум-насоса, холодильника, фазоразделителя-нейтрализатора с рН – метром и внутри трубкой для ввода конденсата и кислых газов.

В процессе эксперимента контролировали величины: остаточное давление или глубина вакуума в пересчете на техническую единицу [кгс/см²], температуру куба и верха, количество отгона конденсата в зависимости от времени (кинетика); наблюдали за началом кристаллообразования, изменением цвета маточного раствора и выпавшего осадка. В дальнейшем для экспериментов по термообработке выбрали очищенный от механических примесей алюмохлорид с плотностью 1,20 г/см³, содержанием органики 0,50 г/дм³, свободной соляной кислоты 0,65% масс и хлорида алюминия 20% масс из диапазона концентрации 17-27 % согласно ТУ 5152-005-47773738-2002 «Алюмохлорид».

Обсуждение результатов

Исследована кинетика отгона конденсата или зависимость объемной доли конденсата $\vartheta(\tau) = (V_k/V_0)\cdot 100$ от времени τ , где текущее значение объема конденсата V_k , исходный объем алюмохлорида V_0 в мл, а τ в мин. К примеру, для равновесного остаточного давления паровой фазы $P = -0,74$ кгс/см² значениям $\tau = 7, 12, 23$ и 36 мин соответствуют объемные доли конденсата $\vartheta(\tau) = 5, 10, 25$ и 50% (рис. 1).

На рис. 1 представлены результаты исследования термообработки при «деликатных» условиях пониженного давления (вакуум) и температуры очищенного от механических примесей алюмохлорида с содержанием 0,65% масс свободной соляной кислоты и 20% масс хлорида алюминия с плотностью 1,20 г/см³ при непрерывной отгонке солянокислого конденсата с последующей нейтрализацией и непрерывным фазовым разделением и выводом из фазоразделителя-нейтрализатора органического слоя и водного раствора хлорида натрия. Изучены процессы кристаллизации основных солей хлорида алюминия из очищенного от примесей алюмохлорида, установлены их термическая нестабильность и подобраны «деликатные» технологические условия – диапазоны температур и остаточных давлений их вакуум – кристаллизации (рис. 2). Установлено, что уже при отгоне $\vartheta(\tau) = 25\%$ конденсата (рис. 1, кривые 1-5) из алюмохлорида полностью удаляется органика вместе с конденсатом при температуре кипения кубового маточного раствора $72-115^\circ\text{C}$ под вакуумом при остаточных давлениях от $-0,2$ до $-0,9$ кгс/см². Показано, что в практическом важном диапазоне удаления конденсата до $\vartheta(\tau) = 70\%$ в кубовом растворе и осадках-продуктах (см. ниже) отсутствуют органические примеси, в конденсате содержание свободной соляной кислоты достигает значений 1,5-3 % масс.

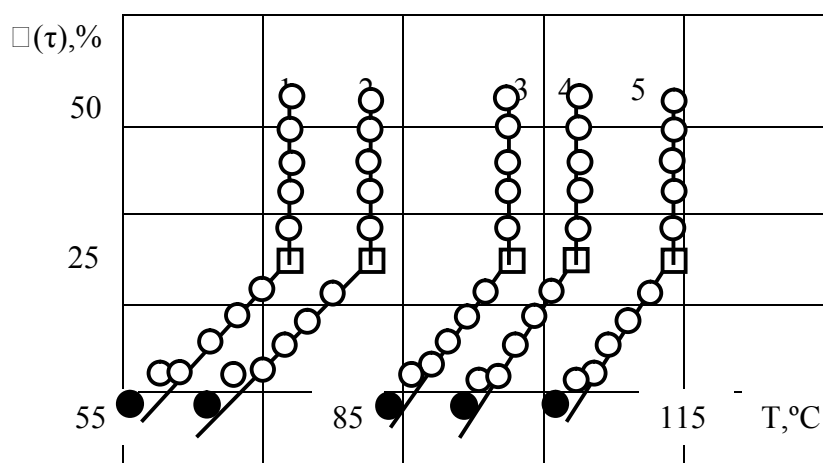


Рис. 1 Зависимость объемной доли конденсата $\vartheta(\tau)$ от температуры куба маточного раствора алюмохлорида при равновесных остаточных давлениях газовой фазы (глубина вакуума) P [кгс/см²]: -0,9(1), -0,8 (2), -0,6 (3), -0,4 (4), -0,2 (5); (черные кружочки – температура кипения алюмохлорида с содержанием 20% хлорида алюминия; светлые квадраты – температура начала вакуум – кристаллизации $AlCl_3 \cdot 6H_2O$)

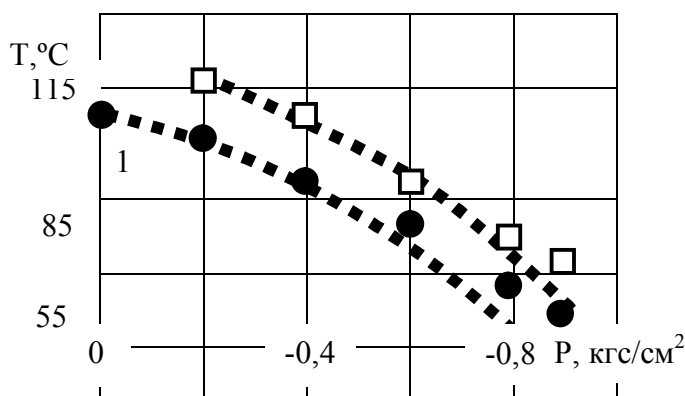


Рис. 2 Зависимости температуры кипения кубового раствора алюмохлорида (1) и температуры начала изотермической вакуум-кристаллизации $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (2) от равновесного остаточного давления (глубина вакуума) газовой фазы

Установлено, что в фазоразделителе-нейтрализаторе с раствором щелочи происходит обезвреживание свободной соляной кислоты до $pH = 6,5$ с образованием 2-5 % раствора хлорида натрия и происходит фазовое разделение на верхний органический и нижний водный слой. По мере накопления органического и водного слоя из фазоразделителя-нейтрализатора непрерывно отводили органический слой и нижний 2-5% раствор хлорида натрия. Газохроматографическим методом исследован состав органического слоя, представленный в основном бензолом, в малой степени кумолом и следовыми количествами толуола, что говорит о возможном рецикле ценного сырья (бензол и кумола) в производство кумола [6].

В диапазоне объемной доли конденсата $0 \leq \vartheta(\tau) \leq 25$ % (рис. 1, кривые 1-5) происходит отгон конденсата с постоянным градиентом $\Delta\vartheta(\tau)/\Delta T \sim 1,6\%/град$ в диапазоне значений равновесных остаточных давлений паровой фазы от -0,2 до -0,9 кгс/см². При объемной доле отгона конденсата $\vartheta(\tau) = 25\%$ при любых значениях температуры и остаточного давления из исследованного диапазона происходит начало процесса образования кристаллического осадка из маточного раствора с зеленоватым оттенком. При этом температура начала кипения алюмохлорида и температура начала кристаллизации или процесса изотермической кристаллизации зависит от равновесного остаточного давления паровой фазы (рис. 2, кривые 1 и 2).

В диапазоне отгона солянокислого конденсата $\vartheta(\tau) = 25-50\%$ при постоянной температуре (рис. 1, кривые 1-5) происходит образование кристаллического осадка желтоватого цвета или изотермическая вакуум-кристаллизация. Выделенный кристаллический осадок после промывки ацетоном проанализирован на содержание алюминия $11,2 \pm 0,1\%$, хлора $44,1 \pm 0,1\%$ и кристаллизационной воды $44,7 \pm 0,1\%$ масс., что соответствует брутто-формуле гексагидрата хлорида алюминия $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, представляющий собой гигроскопические кристаллы желтоватого цвета, расплывающиеся на воздухе и очень хорошо растворимые в воде.

При дальнейшем увеличении объема отгона солянокислого конденсата ϑ от 50 до 70% из кубового маточного раствора происходит изменение цвета как маточного раствора, так и выпадающих из раствора кристаллов от зеленоватого до белого. Выделенные, промытые ацетоном и высушенные при 100°C белые кристаллы, которые гигроскопичны и на воздухе меняют цвет от белого до зеленоватого, хорошо и полностью растворяются в воде и имеют $pH=3,5-5,0$ водного раствора. Химический анализ кристаллов полученных из маточного раствора в диапазоне отгона конденсата $\vartheta(\tau) = 25, 30, 40$ и 50% (рис. 2, кривые 1-5) по содержанию алюминия (пересчет на оксид алюминия Al_2O_3) и хлора показал их переменный состав. При увеличении объемной доли отгона конденсата $\vartheta(\tau)$ от 50% до 70% в образцах кристаллов возрастает содержание оксида алюминия от 27 до 33 % масс со средним значением $30,0 \pm 3,0\%$ масс (табл. 1), что связано с повышением основности или термическим гидролизом гексагидрата хлорида алюминия $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ [8,9]. Вещества с таким составом по содержанию оксида алюминия и хлора типичны для полиоксихлорида алюминия с брутто-формулой $Al_x(OH)_yCl_{3x-y} \cdot zH_2O$ ($m > 6, x > 1/3, y < 3, 2,4 \leq z \leq 4,5$) [8,9], которые относятся к классу бертоллидов [10].

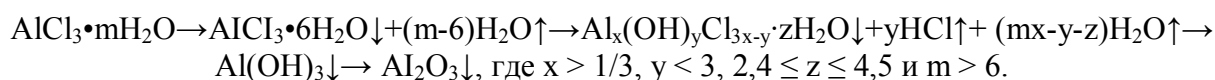
Таблица 1

Качественные показатели полученного ПОХА из отхода – алюмохлорида и промышленного образца Аква Аурат 30 (Россия)

№	Показатели, %, масс	ПОХА	Аква Аурат 30
1	Оксид алюминия (Al_2O_3)	$30,0 \pm 3,0$	$30,0 \pm 3,0$
2	Хлор	$35,0 \pm 5,0$	$35,0 \pm 5,0$
3	Железо, не более	0,03	0,04
4	Свинец, не более	0,002	0,003
5	Кадмий, не более	0,002	0,001
6	Мышьяк, не более	0,0002	0,003
7	Никель, не более	0,005	-
8	Хром, не более	0,004	-
9	Не растворимый в воде осадок, не более	0,004	0,4

Полученный из отхода – алюмохлорида образцы полиоксихлорида алюминия (ПОХА) по качественным показателям: содержанию оксида алюминия и хлора, нерастворимого в воде осадка и микропримесям металлов (Fe, Pb, Cd, As, Ni, Cr) (табл. 1) имеют технический уровень промышленного образца флокулянта Аква Аурат 30 (Россия), получаемого из чистого дорогостоящего алюминиевого порошка [9]. Проверка флокулирующей способности образцов полученного ПОХА из алюмохлорида на модельной системе – взвешенная дисперсия бентонитовой глины в воде показала большую эффективность по очистке от взвешенных частиц, чем традиционный коагулянт – сульфат алюминия [9].

При увеличении отгона солянокислого конденсата $\vartheta(\tau) > 70\%$ в выделенном осадке из маточного раствора происходит увеличение доли нерастворимого гидроксида алюминия и в температурном интервале $160 < T < 200$ °C при атмосферном давлении образуется не растворимый в воде белый рыхлый осадок гидроксида алюминия, прокаливанием которого при $T = 550$ °C количественно был получен оксид алюминия. Последовательное получение из алюмохлорида функциональных добавок к полимерным композитам на различных этапах удаления солянокислого конденсата (рис. 1, кривые 1-5) основано на процессах термического гидролиза алюмохлорида $AlCl_3 \cdot mH_2O$ по схеме:



Выводы

1. Исследован процесс очистки от механически и органических примесей и переработки алюмохлорида – отхода производства фенола и ацетона по кумольной технологии и подобраны оптимальные регулируемые условия получения гексагидрата, полиоксихлоридов и гидроксида и оксида алюминия – функциональных добавок в полимерные композиты.

2. Регулируя последовательно процесс отгона солянокислого конденсата из отхода производства фенола и ацетона – алюмохлорида – при условиях пониженного остаточного давления от -0,2 до -0,9 кгс/см² и температуры 72-115°C (по ранее предложенной нами технологии [11]), а также последовательно (при атмосферном давлении в интервале $160 < T < 200$ °C или при 550°C), можно получать ряд важных функциональных добавок в полимерные композиты – гексагидрат хлорида алюминия, полиоксихлориды алюминия, гидроксид алюминия и оксид алюминия. При этом выделенная органи-

ка, хотя и в небольшом количестве, можно возвращать в производство кумола, а не токсичный 2-5 % раствор хлорида натрия отводить на очистные сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pat. 2412283 RU, Int. Cl.: C 25C 3/08, C 23C 20/08, C 04B 35/58. Wettable cathode material for aluminium electrolysis cell / Ivanov V.V. (RU) et al. (RU). № 2010106594/02; filin. 24.02.2010; publ. 20.02.2011; Bull. 5.
2. Пат. 32237768 RU, МПК D 21H11/02, D 21H17/70. Способ изготовления целлюлозосодержащих материалов/Тарасов С.М. (RU) [и др.] (RU). № 2003124773/12; заявл. 12.08.2003; опублик. 10.10.2004.
3. Стрельников, С.В. Новые решения в технологии изготовления препрегов для панели интерьера / С.В. Стрельников [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т.13, № 4(2). С. 498-507.
4. Охлопкова А.А. Триботехнические и физико-механические свойства нанокompозитов на основе ПТФЭ и оксида алюминия / А.А. Охлопкова [и др.] // Трение и износ. 2008. Т. 29, № 6. С. 635-639.
5. Кружалов Б.Д. Совместное получение фенола и ацетона / Б.Д. Кружалов, Б.И. Голованенко. М.: Наука, 1963. 200 с.
6. Постоянный технологический регламент №37-03 цеха получения изопропилбензола производства органического синтеза ООО «Саратоворгсинтез». Саратов. 2003. 252 с.
7. Томас Ч. Безводный хлористый алюминий в органической химии / Ч. Томас. М.: Издательство, 1949. 1001 с.
8. Petzold D. Thermoanalytische untersuchungen zur bildung kristalliner Al₂O₃-formen bei der thermischen zersetzung von aluminiumchloridhexahydrat / D. Petzold, R. Naumann // J. of Thermal Analysis, Vol. 20, 1981, P. 71-86.
9. Гетманцев С.В. Комбинированная технология производства высокоэффективных коагулянтов / С.В. Гетманцев, В.С. Гетманцев // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 3. С. 8-10.
10. Некрасов Б.В. Основы общей химии / Б.В. Некрасов. М.: Химия, 1973. Т. 2. 688 с.
11. Пат. 2442748 RU, МПК C 01F 7/58. Способ получения полиоксихлоридов алюминия / Рамазанов К.Р. (RU). №2010131419; заявл. 26.07.2010; опублик. 20.02.2012.

Рамазанов Кенже Рамазанович – кандидат физико-математических наук, доцент, соискатель-докторант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Kenje R. Ramazanov – PhD, Associate Professor, Doctoral Candidate at the Department of Chemical Technology, Technological Institute of Yuri Gagarin Technical University of Saratov

Севостьянов Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора ООО НПП «ВЕНД», Саратов

Vladimir P. Sevostyanov – Dr. Sc., Professor Deputy Director: LLC Refinery VEND, Saratov

Статья поступила в редакцию 17.08.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 677.494.745.32.661.838

К.Р. Рамазанов, В.П. Севостьянов

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ В ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ

Исследован процесс обессоливания и очистки от механических примесей фенольной смолы – основного отхода производства фенола и ацетона по кумольной технологии и подобраны оптимальные условия регенерации. Разработана эффективная технология регенерации до содержания ионов натрия 0,0006 % масс и полной очистки от механических примесей фенольной смолы для получения функ-

функциональных добавок в полимеры и их композиты, технического углерода – наполнителя полимеров. Установлено, что регенерированные образцы фенольной смолы являются высококалорийным котельным топливом и при сжигании не образуют диоксины, по техническим показателям находятся на уровне высококачественных сортов флотского мазута марки Ф5 и Ф12.

Фенольная смола, регенерация, функциональная добавка, наполнитель, полимер, композиты

K.R. Ramazanov, V.P. Sevastyanov

FUNCTIONAL ADDITIVES TO POLYMERIC COMPOSITES. A PHENOLIC RESIN REGENERATION TECHNOLOGY

The process of desalting and purification of phenolic resin (the major waste of phenol and acetone production by the cumene technology) from mechanical impurity was studied and optimum regeneration conditions were found. An effective technology of phenolic resin regeneration down to 0.0006 wt. % of sodium ions and full purification of mechanical impurity was developed to produce functional additives to polymers and their composites (technical carbon as filler to polymers). Regenerated samples of phenolic resin were found to be high-calorific boiler fuel not to release dioxine when burning; they are at the level of high-quality grades of the F5 and F12 naval fuel oil by technical indicators.

Phenolic resin, regeneration, functional additive, filler, polymer, composites

Фенол и ацетон является сырьевой базой [1-4], а основной отход их производства – фенольная смола служит крупнотоннажным источником дешевого и доступного сырья для получения функциональных добавок в полимеры и их композиты [5, 6] и элементного углерода – наполнителя полимеров.

Ежегодно в мире производится до 7 млн. тонн фенола и 6,5 млн. тонн ацетона и из них 96% фенола и 93% ацетона получают совместно по кумольной технологии [7-11], которая является доминирующей технологией их мирового производства. Несмотря на значительные усилия, приложенные для совершенствования кумольной технологии, конкретно стадии сернокислотного разложения технического гидропероксида кумола [9,10], в процессе образуется значительное количество фенольной смолы. Выход фенольной смолы даже при высокоселективной кумольной технологии [10] составляет до 70 кг, а при низко селективной [11] достигает до 180-200 кг на тонну фенола или в мире ежегодно образуется до 490-900 тыс. тонн, в т. ч. на фенольных заводах России до 40 тыс. тонн.

Фенольная смола является трудно утилизируемым и неликвидным отходом фенольного производства. Высокое содержание сульфата натрия и механических примесей затрудняет процессы утилизации, ректификационного разделения [12] и термического крекинга [10] на ценные компоненты, химической модификации в высоколиквидные продукты различного технического назначения (фенолформальдегидные смолы и технический углерод - связующие и наполнитель полимерных композитов, битумы, кокс, пластификаторы бетонных смесей [13]) и ограничивает область квалифицированного использования [5, 6].

Таким образом, все способы утилизации и переработки фенольной смолы требуют предварительной очистки её от сульфата натрия и механических примесей. К примеру, для получения технического углерода из фенольной смолы содержание в ней не должно превышать (% масс): ионов натрия 0,005, механических примесей 0,02, кокса (коксуемость) 2,0. В известном промышленном процессе [14] обессоливание фенольной смолы проводят до содержания ионов натрия 0,003% масс путём многоступенчатой экстрактивной обработки фенольной смолы водой в присутствии растворителя – диизопропилового эфира (далее эфир) или кумола при массовом соотношении смола:эфир:вода = 1:0,9:0,6 или смола:кумол:вода = 1:1,5:0,6.

Цель работы – проведение исследований процесса и разработка эффективной технологии регенерации фенольной смолы или обессоливания и очистки от механических примесей для повышения качества и расширения области её квалифицированного использования.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали фенольную смолу с техническими показателями согласно ТУ 2424-05757601-98 «Смола фенольная», растворителя фенольной смолы диизопро-

пиловый эфир по ТУ 38.402-62-133-92 (далее эфир), экстрагента минеральных солей воду дистиллированную и техническую воду (далее вода) и для создания рН концентрированную серную кислоту по ГОСТ 2184-77 (далее кислота).

Обессоливание смолы проводили в колбе объемом 300 мл, снабженную механической мешалкой, обратным холодильником и термометром, помещенную в баню ультратермостата, где температуру поддерживали с точностью до $\pm 0,1\%$. Загружали смолу и эфир, перемешивали до полной гомогенизации в течение 10 мин., добавляли кислоту и воду. Систему перемешивали со скоростью 500 оборотов/мин в течение 1-8 часов. Далее, определяли время фазового расслоения, объёмы органической и водной фазы. Регенерацию или отгонку эфира от органической фазы проводили на лабораторной установке. При этом фиксировали время перегонки, температуру верха и куба, объёмы полученного дистиллята и обессоленной смолы. После фильтрации механических примесей смолу сжигали в муфельной печи до постоянного веса при температуре 700°C и сухой остаток растворяли в воде и определяли содержание ионов натрия, как и водного слоя двумя методами – потенциометрически на приборе рН-340 и атомно-адсорбционной спектроскопии по метрологический аттестованным методикам аналитического контроля производства фенола и ацетона [11].

Для чистоты эксперимента в качестве экстрагента минеральных солей из фенольной смолы с содержанием ионов натрия 0,014% масс использовали сначала дистиллированную воду (табл. 1) с добавкой 0,4 мл кислоты на 250 мл объема смеси всех компонентов. Было установлено, что изменение температуры $25-50^{\circ}\text{C}$ и времени перемешивания 1-8 часов не вызывает заметного влияния на время фазового расслоения органического и водного слоя и на эффективность обессоливания 0,0001-0,0004% масс по иону натрия, а также на объёмы полученных фаз.

Таблица 1

Обессоливание фенольной смолы с содержанием ионов натрия 0,014% масс

№ п/п	Время		Объёмное соотношение компонентов вода:смола:эфир,	T, °C	Объём слоя, мл		Na ⁺ , %, масс,	
	Перемешивания, час	Расслоения, мин			Органический	Водный	Водный слой	Смола
1	2	12	1:1:0,5	25	147	99	0,0135	0,0002
2	4	12	1:1:0,5	25	146	97	0,0136	0,0002
3	8	16	1:1:0,5	25	147	98	0,0136	0,0001
4	1	11	1:1:0,5	50	145	100	0,0137	0,0001
5	1	160	1:1,5:0,5	25	161	83	0,0134	0,0003
6	2	215	1:1,5:0,5	25	163	82	0,01360	0,0002
7	4	200	1:1,5:0,5	25	167	78	0,0136	0,0001
8	1	8	0,6:1:0,9	25	176	66	0,0135	0,0003
9	2	5	0,6:1:0,9	25	182	61	0,0135	0,0003
10	4	5	0,6:1:0,9	25	179	63	0,0135	0,0003
11	6	3	0,6:1:0,9	25	183	61	0,0134	0,0004

Таблица 2

Обессоливание фенольной смолы при соотношении компонентов вода:смола:эфир = 0,6:1:0,9 и температуре 25°C при различных содержаниях кислоты

№ п/п	H ₂ SO ₄ , %	Время расслоения, мин	Состояние разделённых фаз в промывной воде	Содержание ионов натрия, %, масс		
				Водный слой	Фенольная смола	
					Исходная	Обессоленная
1	0,1	11	Мутная, темно-коричневого цвета	–	–	–
2	0,2	3	Мутная, темно-коричневого цвета	–	–	–
3	0,4	2	Четкое разделение фаз	0,0331	0,0336	0,0005
4	0,5	1		0,0263	0,0266	0,0001

Однако изменение соотношения компонентов влечет за собой существенное изменение времени расслоения. Так увеличение содержания исходной смолы увеличивает время фазового расслоения от 3-16 мин до 160-200 минут (опыты 5-7). Для оптимальных объемных соотношений вода:смола:эфир (опыты 1-3 и 8-11, табл. 1) при температуре 25°C и времени перемешивания 1 час проводили обессоливание смолы с содержанием ионов натрия 0,014% масс дистиллированной водой, но с использованием водного слоя каждого опыта в последующем для обессоливания новой партии исходной смолы (четырёх кратное использование). Установлено, что возрастает содержание ионов на-

трия от 0,0333 до 0,1712% в водном слое, от 0,0003 до 0,0008% масс, хотя еще высокая эффективность обессоливания (степень обессоливания уменьшается от 99 до 97,6%). При этом возрастает время фазового разделения от 16 до 70 мин, на границе раздела фаз увеличивается объем межфазной эмульсии, промывная вода загрязняется компонентами смолы и возрастает pH промывной воды от 7 до 10 и обессоленной смолы от 6 до 10 (водная вытяжка смолы). Установлено, что при $\text{pH} < 7$ обессоленной смолы наблюдается четкое фазовое разделение на органический и водный слой, а при $\text{pH} \geq 7$ происходит загрязнение смолой водного слоя и образование устойчивой межфазной эмульсии. Для разрушения эмульсий на каждой стадии возврата водного слоя требуется подкисление кислотой. В следующей серии опытов для подкисления выбрали серную кислоту в количестве 0,1; 0,2; 0,4; 0,5% объемных к объему исходной смолы, а вместо дистиллированной воды использовали техническую воду (табл. 2).

При использовании технической воды и содержании кислоты более 0,4% наблюдается четкое разделение фаз или четкая граница поверхности раздела фаз, уменьшается время фазового разделения, не происходит образование эмульсий, промывная вода имеет прозрачный слегка желтоватый цвет. Установлено также, что при возврате водного слоя (только один раз) для очистки новой партии исходной смолы достаточно добавления 0,4% кислоты для эффективного обессоливания до содержания ионов натрия в смоле не более 0,0005% масс и исключения образования межфазной эмульсий.

Обсуждение результатов

Таким образом, для эффективного процесса обессоливания до содержания ионов натрия 0,0005% масс. в фенольной смоле оптимальными условиями являются объемное соотношение компонентов смола:эфир:вода:кислота = 1:(0,5-0,9):(0,6-1):0,004, время перемешивания 1 час смеси при температуре 25°C, однократное использование водного слоя на стадии обессоливания.

На втором этапе проводили отработку технологического режима регенерации эфира (температура кипения 68,5°C) из органической фазы для возврата на стадию обессоливания и получения обессоленной смолы (табл. 3), а также подобрали фильтрующий материал для полной очистки кубовой жидкости от механических примесей.

Таблица 3

Температурный режим регенерации эфира из органической фазы

№	Объем, мл			Время отгона, мин	Температура регенерации эфира, °C			
	Органическая фаза	Обессоленная смола	Эфир		Куб		Верх	
					Начало	В конце	Начало	В конце
1	154	100	48	20	84	102	68	96
2	152	96	49	25	84	102	72	98
3	150	100	48	30	75	103	60	95
4	149	96	50	25	75	101	57	92
5	147	98	47	20	74	101	60	98
9	150	100	47	20	85	101	68	96

В табл. 3 приведены объемы органической фазы, полученного эфира и кубовой жидкости или обессоленной фенольной смолы, потери эфира при регенерации составляют 5-6% и методом газохроматографического анализа кубовой жидкости показано, что в течение 20-30 мин из органической фазы эфир полностью отгоняется при температуре куба 101-105°C и паров 92-98°C. Регенерированный диизопропиловый эфир по показателям полностью соответствуют требованиям ТУ 38.402-62-133-92, поэтому эфир может использоваться в режиме рецикла для обессоливания новой партии фенольной смолы.

Для полной очистки обессоленной фенольной смолы от механических примесей подобран фильтрующий материал. На рис. 1 приведена температурная зависимость условной вязкости исходной фенольной смолы с содержанием ионов натрия 0,014% и механических примесей 11,4% масс (кривая 1), исходной смолы после фильтрации от механических примесей нагретого до 80°C (кривая 2) и обессоленной смолы с содержанием ионов натрия 0,0005% масс (кривая 3). С повышением температуры вязкость фенольной смолы падает (кривые 1-3) и постоянна при температурах выше 80°C. Однако при температуре выше 80°C постоянное значение условной вязкости 1,75 усл. град. для исходной смолы с механическими примесями выше, чем после очистки её от них, причем при $T \geq 80^\circ\text{C}$ вязкость для исходной смолы и обессоленной смолы постоянна и равна 1 усл. град. и не зависит от содержания сульфата натрия или ионов натрия в диапазоне 0,0005-0,014% масс. По составу механические примеси с размером 0,1-2 мм представляют собой песок и разрушенные частицы гранул сульфокатионита, используемого на стадии каталитической очистки сырца фенола от органических примесей [11]. Установлено, что наиболее эффективно проводит процесс фильтрации «горячей» кубовой жидкости или обессоленной смолы с низкой вязкостью при температуре 40-80°C после регенерации эфира, нежели «холодной» исходной фенольной смолы с высокой вязкостью при температуре 25°C, которую необходимо дополнительно нагревать (рис. 1).

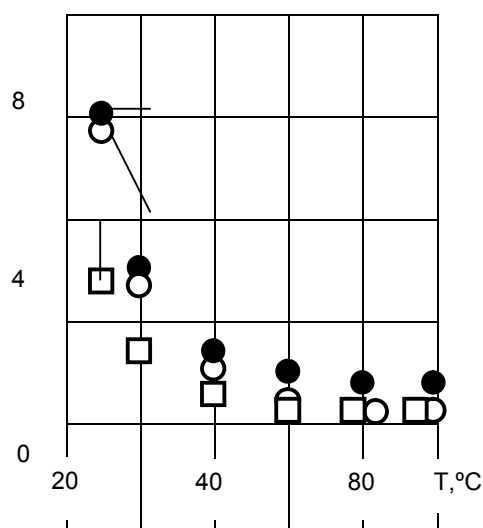
η , усл. градусы

Рис. 1. Зависимость условной вязкости фенольной смолы от температуры: исходной смолы до (1) и после очистки (2) от механических примесей, обессоленной смолы (3) без механических примесей

Исследован состав водного слоя после повторного использования (один раз) для обессоливания фенольной смолы и установлено, что водный слой имеет прозрачный вид с желтоватым оттенком с $\text{pH}=2,2-2,5$, содержит фенола до 1,6 г/л и сульфата натрия до 0,2 % масс. При производстве фенола и ацетона после нейтрализации серно кислотной реакционной массы разложения и фазового разделения образуется водный слой, содержащий фенол, компоненты фенольной смолы и сульфат натрия, который перерабатывают с извлечением фенола эфиром на узле экстракции. Поэтому наиболее целесообразно подача образующего водного слоя после обессоливания фенольной смолы на узел экстракции [11] для извлечения из него фенола.

Для отработки процесса обессоливания фенольной смолы, очистки от механических примесей и наработки опытной партии конечного продукта разработана технология и установка [15]. Результаты процесса обессоливания фенольной смолы на пилотной установке при использовании в качестве экстрагента минеральных солей ПХВ приведены в табл. 4 и показано, что при содержании ионов натрия в образцах исходной фенольной смолы 0,0133-0,0336% масс происходит эффективная очистка до их содержания 0,0006% масс в обессоленной смоле (без механических примесей).

Таблица 4

Результаты обессоливания фенольной смолы на пилотной установке

№ анализа	Время расслоения, мин	Объемное соотношение компонентов смола:эфир:вода:кислота	Расход фазо-разделителя, м ³ /ч		Фенольная смола, содержание Na ⁺ , %, масс	
			Органический слой	Водный слой	Исходная	Обессоленная
1	10	1:0,5:1:0,004	1,5	1,0	0,0133	0,0005
2	12	1:0,5:1:0,004			0,0141	0,0002
6	12	1:0,8:0,7:0,004	1,8	0,7	0,0137	0,0003
7	16	1:0,9:0,6:0,004	1,8	0,6	0,0336	0,0005
8	13	1:0,8:0,7:0,004	1,8	0,7	0,0277	0,0006
9	15	1:0,8:0,7:0,004			0,0334	0,0005

Таблица 5

Качественные показатели обессоленной фенольной смолы

Показатели качества	Фенольная смола		Смола фенольная	Мазут марки	
	Исходная	Обессоленная		Ф5	Ф12
Внешний вид	Вязкая жидкость темного цвета			Ф5	Ф12
Ионы натрия, %, масс	0,0133 - 0,0336	$\leq 0,0006$	–	–	
Температура вспышки, °С	105	95	≥ 62	≥ 80	≥ 90
Вязкость условная, усл. градусы	7,5(30°С)	4,0 (30°С)	≤ 5 (80°С)	≤ 5 (50°С)	≤ 12 (50°С)
Фенол, %, масс	8	7	≤ 8	–	–
Сера, %, масс.	0,3	$\leq 0,2$	–	$\leq 2,0$	$\leq 0,6$
Коксуемость, %, масс.	5,0	$\leq 2,2$	–	$\leq 6,0$	
Зольность, %, масс.	0,22	$\leq 0,05$	–	$\leq 0,05$	$\leq 0,10$
Механические примеси, %, масс	11,4	отсутствие	–	$\leq 0,10$	$\leq 0,12$
Вода, %, масс		отсутствие	–	$\leq 0,3$	
Теплота сгорания, кДж/кг	37254	40740÷42420	–	≥ 41454	

Путем анализа дымовых газов методом хроматомасс-спектрометрии показано, что при сжигании обессоленной фенольной смолы не образуется диоксида. При температуре окружающей среды 20-40°С обессоленная смола более транспортабельна для перекачивания насосами и имеет условную вязкость почти в два раза ниже, чем исходная фенольная смола, а по качественным техническим характеристикам как содержание серы, золы, кокса, влаги, механических примесей и низшей теплоте сгорания находится на уровне высококачественных сортов мазута флотского марки Ф5 и Ф12 по ГОСТ 10585-75 (табл. 5).

Отметим, что в обессоленной смоле содержание ионов натрия $\leq 0,0006\%$ и в почти в 10 раз ниже, чем требования $\leq 0,005\%$ масс для фенольной смолы используемого в производстве технического углерода. Действительно проведенные испытания опытных образцов обессоленной фенольной смолы с содержанием иона натрия не более $0,0006\%$ в Ивановском заводе технического углерода показали, что обессоленная фенольная смола является высококачественным сырьем для производства технического углерода.

Таким образом, системное исследование процесса обессоливания и очистки от механических примесей фенольной смолы позволило разработать эффективную двухступенчатую технологию и установку получения качественной обессоленной смолы, которая по аппаратурному оформлению отличается простотой и высокой производительностью и менее энерго- и материалоемка (рис. 2), чем известный промышленный процесс [14]. При этом сам процесс характеризуется двух стадийностью (смешение компонентов и фазовое разделение) с экономией эфира, не требует использования конденсата, с получением обессоленной смолы с низким содержанием ионов натрия $\leq 0,0006\%$ масс. (без механических примесей) или в 5 раз ниже, чем $0,003\%$ масс. в промышленном процессе [14].

Выводы

1. Разработана эффективная технология и установка обессоливания до содержания ионов натрия $0,0006\%$ масс и полной очистки от механических примесей фенольной смолы, которая позволяет устранить трудности утилизации и переработки, расширить область рационального её использования.

2. Показано, что полученные опытные образцы обессоленной смолы являются высококачественным сырьем для получения функциональных добавок в полимеры и их композиты, технического углерода – наполнителя полимеров. Одновременно установлено, что полученные образцы обессоленной смолы являются высококалорийным котельным топливом и при сжигании не образуют диоксины, по техническим показателям находятся на уровне высококачественных сортов флотского мазута марки Ф5 и Ф12.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакеева И.В. Синтез олигомеров и полимеров поликонденсационным методом: учеб. пособие / И.В. Бакеева, В.С. Бырихин. М.: МТХТ. Ч.2. 2008. 66 с.
2. Смирнова О.В. Поликарбонаты / О.В. Смирнова, С.Б. Ерофеева. М.: Химия, 1975. 288 с.
3. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе / А.Ф. Николаев. Л.: Химия. 1964. 784 с.
4. Воробьев А. Фенолоформальдегидные смолы / А. Воробьев // Компоненты и технологии. 2003. №7. С. 176-179.
5. Мусавилов Р.С. О проблеме рационального использования фенольной смолы / Р.С. Мусавилов [и др.] // Башкирский химический журнал. 1996. Т. 3, № 4. С. 8-16.
6. Сангалов Ю.А. Проблемы рационального использования фенольной смолы / Ю.А. Сангалов [и др.] // Химическая промышленность. 1997. № 4. С. 219-304.
7. Кружалов Б.Д., Голованенко Б.И. Совместное получение фенола и ацетона / Б.Д. Кружалов, Б.И. Голованенко. М.: Наука, 1963. 200 с.
8. Hock H. Autoxidation of Hydrocarbons Peroxides of benzene derivatives/ H. Hock, S. Lang // Ber. 1944. V. 77, № 3. P. 257-264.
9. Закошанский В.М. Кумольный процесс получения фенола-ацетона / В.М. Закошанский // Нефтехимия. 2007. Т. 47, № 4. С. 301-313.
10. Закошанский В.М. Альтернативные технологии получения фенола / В.М. Закошанский // Российский Химический Журнал (ЖРХО им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. LII, № 4. С. 53-71.
11. Постоянный технологический регламент №53-06 цеха получения фенола и ацетона производства органического синтеза ООО «Саратоворгсинтез». Саратов: 2006. 158 с.
12. Пат. 2237650 RU, МПК ⁷ C07C37/74, C07C39/04, C07C49/78. Способ выделения фенола и ацетофенона из продуктов производства фенола кумольным методом / Дыкман А.С. (RU), Зиненков А.В. (RU), Фулмер Джон В. (US). № 2003101453/04; заяв. 20.01.2003; опубл. 10.10.2004.
13. Пат. 2382005 RU, МПК C04B24/20, C04B103/30 (2006.01). Пластифицирующая добавка в строительные материалы, включающие минеральные вяжущие вещества / Чулкова И.Л. [и др.] (RU). № 2008130570/03; заяв. 23.07.2008; опубл. 20.02.2010.
14. Пат. 2057110 РФ, МПК C07C 39/06, 37/80. Способ обессоливания фенольной смолы/ заявитель и патентообладатель ОАО «Уфаоргсинтез» (RU). № 93009969/04; завл. 26.02.1993; опубл. 27.03.1996.
15. Пат. 2454393 RU, МПК C07C 39/06, 37/80 (2006.01). Способ обессоливания фенольной смолы и установка для его осуществления/Рамазанов К.Р. (RU). № 2011108434; заявл. 05.03.2011; опубл. 27.06.2012.

Рамазанов Кенже Рамазанович – кандидат физико-математических наук, доцент, соискатель-докторант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Севостьянов Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора ООО НПП «ВЕНД», Саратов

Kenje R. Ramazanov – PhD, Associate Professor, Doctoral Candidate at the Department of Chemical Technology, Technological Institute of Yuri Gagarin Technical University of Saratov

Vladimir P. Sevostyanov – Dr. Sc., Professor Deputy Director: LLC Refinery VEND, Saratov

Статья поступила в редакцию 17.08.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 651.357

В.И. Шпекина, Е.А. Савельева, В.В. Краснов, О. Н. Лузановская
ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ТОКОВЕДУЩЕЙ ОСНОВЫ НА РАЗРЯДНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОКСИДНОСВИНЦОВОГО ЭЛЕКТРОДА В ХЛОРНОЙ КИСЛОТЕ

Резервные источники тока в основном применяются в космической и военной технике, в аварийно-спасательных и сигнализирующих системах, как дублирующие

источники электрической энергии в объектах бесперебойного питания. Одной из систем, применяемой в резервных ХИТ, является система $Pb/HClO_4/PbO_2$. Повышение разрядных характеристик системы $Pb/HClO_4/PbO_2$ можно добиться, совершенствуя технологию нанесения диоксидносвинцового покрытия. Цель работы состояла в исследовании влияния материала подложки и режима электроосаждения диоксида свинца на механические и электрохимические характеристики источника тока.

Диоксид свинца, резервный источник тока, сталь, подложка, титан, покрытие, графит, хлорная кислота, оксидирование, анодная поляризация

V.I. Shpekina, E.A. Savelieva, V.V. Krasnov, O. N. Lyzanovskaya

EFFECT OF THE CURRENT CARRYING BASIS MATERIAL FOR DISCHARGE CHARACTERISTICS OF LEAD DIOXIDE ELECTRODE IN PERCHLORIC ACID

Reserve current sources are basically applied in space and military hardware, as well as rescue and signaling systems to duplicate sources of electric energy in uninterruptible power supply units. One of the systems used in the HIT reserves is the $PbO_2/HClO_4/Pb$ system. Upgrading the digit characteristics of the $Pb/HClO_4/PbO_2$ system is achievable by improving the technology of the lead oxide covering. The aim of the work was to research the impact of the substrate material and electro sedimentation mode of the lead oxide on mechanical and electrochemical characteristics of the lead oxide electrode.

Lead dioxide, reserve current source, steel, titanium, coating, graphite, perchloric acid, oxidation, anodic polarization

Введение

Диоксидносвинцовые электроды использовались в промышленной электрохимии много лет в двух основных областях: вторичные батареи и гальванические элементы. Действительно, PbO_2 представляет собой дешевый материал для электрода и его устойчивость в кислых средах очень хорошая. Резервные элементы $Pb-PbO_2$ имеют высокие удельные мощность и энергию, способны работать в широком интервале температур, при значительных механических нагрузках. При этих условиях неприменимы электроды намазного типа (подобно паре $Pb-PbO_2$ свинцового аккумулятора); электроды получают электроосаждением активных материалов на металлическую подложку.

Огромное значение имеет выбор материала подложки, особенно для диоксидносвинцового электрода, обладающего высокой пористостью.

Недостатком активируемого хлорной кислотой источника тока является достаточно быстрое растворение активного слоя PbO_2 и возникновение на отдельных участках короткозамкнутых гальванических пар $PbO_2 | HClO_4 | металл подложки$. Работа короткозамкнутых пар приводит к бесполезной трате активного материала диоксидносвинцового катода. Материал для наращивания осадков диоксида свинца должен удовлетворять следующим требованиям: он должен обеспечивать хорошее сцепление с покрытием и обладать достаточной химической стойкостью. Растворение основы не должно происходить ни в процессе изготовления электрода, ни во время его работы.

В качестве подложки широко используется сталь, которая требует создания на своей поверхности защитного слоя. Можно применять никель, титан. Наибольший интерес представляет титан при контакте с электроположительным диоксидом свинца покрывается прочной оксидной пленкой, защищающей от действия хлорной кислоты. На титане необходимо создание электропроводного слоя для того, чтобы подавить дальнейшее оксидирование титана и сделать подавляющим процесс образования диоксида свинца при анодном его осаждении. В качестве такого слоя в литературе известны драгоценные палладий [1], платина [2], а также более дешевая смесь оксидов $SnO_2-Sb_2O_3$ [3].

Цель работы состоит в том, чтобы получить диоксидносвинцовые электроды с улучшенной стабильностью для биполярных свинцово-кислотных элементов, путем выбора материала токоведущей основы, обеспечивающей наименьшую эффективность коррозионных пар в процессе разряда источника тока.

Экспериментальная часть

В качестве материала подложки использовалась сталь 08 КП (Т), никелевая фольга, титан:

- сталь:
 - электрохимически оксидированная;
- никель:
 - в виде фольги;
 - фосфатированный;
 - покрытый коллоидным графитом;
 - оксидированный химически и электрохимически;
- титан:
 - обработанный в коллоидном графите.

Ранее [4] была проверена устойчивость подложек к коррозии в рабочем растворе хлорной кислоты. В данной работе на первом этапе снимались циклические потенциодинамические кривые (ЦПДК) в растворе для электроосаждения диоксида свинца – азотнокислом свинце – при температуре 20 °С и скоростях развертки потенциала 10, 20, 40 мВ/с.

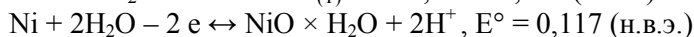
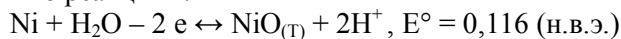
ЦПДК снимались от стационарного потенциала ($E_{\text{стан}}$) до +2 В и обратно до $E_{\text{стан}}$.

Циклические потенциодинамические кривые на всех исследованных подложках различаются между собой (рис. 1-3).

На оксидированной стали (рис. 1) до потенциала 1,45 не протекает никаких процессов, $i = 0$. При погружении электрода в раствор потенциал $E_{\text{ст}}$ составляет 0,21 В. При потенциале 1,45 В начинается резкий подъем плотности тока, связанный с протеканием двух параллельных процессов: выделения кислорода и образования диоксида свинца. Обратный ход ЦПДК характеризуется площадкой в области потенциалов 1,55 – 1,5 В, которая связана с восстановлением PbO_2 , образующегося при анодной поляризации.

На рис. 2 и 3 представлены ЦПДК для Ni в растворе $Pb(NO_3)_2$ - 350 г/л при $V_p = 20$ мВ/с.

На никелевой фольге (рис. 2а) при анодной поляризации сразу же наблюдается рост плотности тока до величины 35 mA/cm^2 . Подъем плотности тока в начальный момент поляризации связан, очевидно, с окислением никеля по реакциям:



На фосфатированном никеле (рис. 2б) ход кривых ЦПДК аналогичен таковому на никеле, с той лишь разницей, что токи в первой активной области ниже. Это можно объяснить тем, что процесс начинается на уже пассивированной поверхности (покрытой фосфатной пленкой). Ток в максимуме составляет: 12 mA/cm^2 при 20 °С. После максимума наблюдается спад плотности тока с выходом на область пассивации. В области пассивации токи лежат в пределах от 1 до 5 mA/cm^2 . При потенциале 1,52 – 1,55 В наблюдается резкий подъем плотности тока, связанный с выделением кислорода и образованием диоксида свинца.

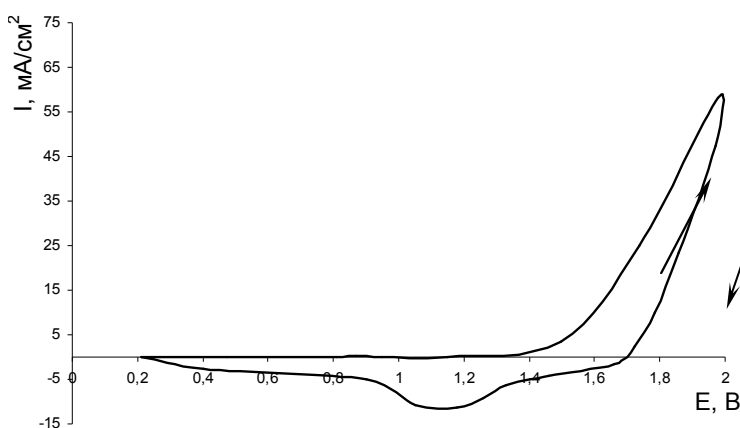


Рис 1. Циклическая потенциодинамическая кривая на электрохимически оксидированной стали при 20 °С в растворе $Pb(NO_3)_2$ - 350 г/л и $V_p = 20$ мВ/с

Образующиеся пассивирующие оксидные слои закрывают поверхность электрода, и при потенциалах максимума ток резко падает; область пассивации достаточно широкая – новый подъем плотности тока начинается при $E = 1,55$ В. Новый подъем плотности тока, начинающийся при указанных потенциалах, связан с протеканием двух процессов: образование осадка диоксида свинца и выделение кислорода. При обратном ходе ЦПДК наблюдается пологая продолжительная площадка в

катодной области потенциалов. Она может быть связана как с восстановлением образовавшегося диоксида свинца, так и восстановлением пассивной пленки (оксидов никеля).

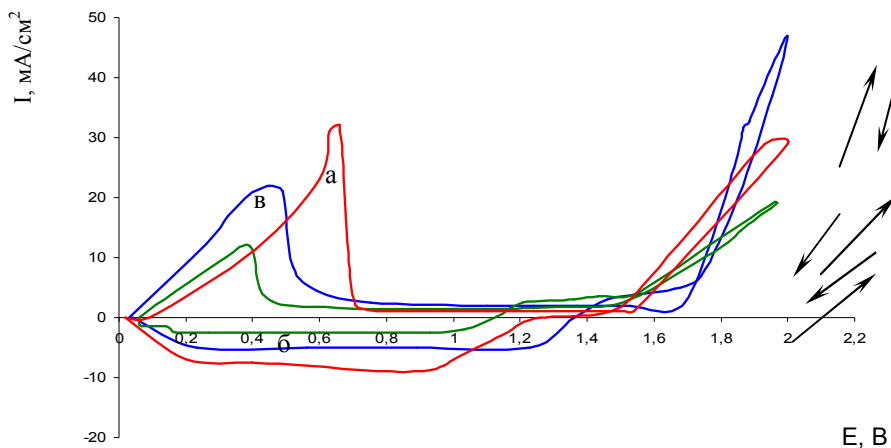


Рис. 2. Циклические потенциодинамические кривые при температуре 20 °С:
а – никелевая фольга; б – фосфатированный никель; в- никель, покрытый коллоидным графитом

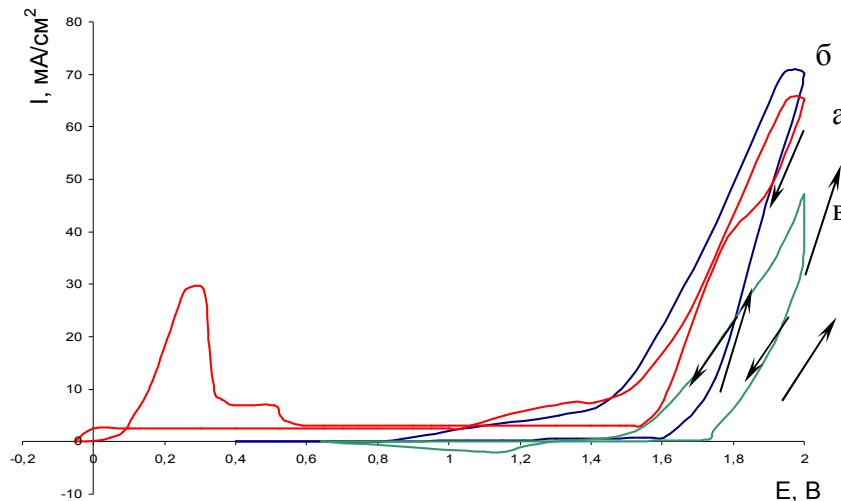


Рис. 3. Циклические потенциодинамические кривые при температуре 20 °С:
а – электрохимически оксидированный никель; б – химически оксидированный никель;
в – титан, обработанный в коллоидном графите

На никеле, обработанном в коллоидном графите (рис. 2 в), стационарный потенциал электрода составляет величину 0,04 В. Никелевый электрод, покрытый слоем коллоидного графита, ведет себя аналогично никелевому электроду без слоя коллоидного графита. В начальный момент наблюдается активная область, связанная с окислением никеля и образованием оксида никеля на поверхности электрода. К тому моменту, когда потенциал достигает величины 0,3... 0,45 В поверхность электрода полностью закрывается пассивирующим слоем (наблюдается максимум на ПДК), затем ток резко падает и токи в пассивной области составляют 1-2 mA/cm^2 . Пассивная область – широкая (от 0,45 до 1,7 В). Затем наблюдается рост плотности тока, связанный с образованием PbO_2 и выделением кислорода. Ток в первой активной области при 20 °С составляет 22 mA/cm^2 . Ток образования диоксида свинца (при $E_a = 2$ В) составляет 47 mA/cm^2 . Обратный ход ПДКЦ характеризуется площадкой катодного тока, связанной с восстановлением PbO_2 , образованного при анодной поляризации.

Никелевый электрод подвергался предварительному электрохимическому оксидированию (рис. 3а). Очевидно, что такая обработка приводит к некоторой активации (стационарный потенциал смещен к более отрицательным значениям и составляет величину – 0,05... – 0,07 В). При наложении анодной поляризации наблюдается небольшая область пассивного состояния ($i = 0$). Максимум плотности тока достигается при $E_a = 0,4$ В. Рост тока в первой активной области обусловлен образованием оксида никеля, в максимуме ПДК поверхность электрода полностью покрывается слоем NiO , и далее ток резко падает. Вплоть до потенциала $E_a = 1,58... 1,65$ В на ПДК прямого хода наблюдается вторая область пассивации, токи в этой области составляют 2,0...7,0 mA/cm^2 . Второй резкий подъем плотно-

сти тока при $E_a = 1,58 \dots 1,65$ В связан с процессами образования PbO_2 и выделением O_2 . Ток при $E_a = 2$ В составляет 76 мА/см^2 .

Химически оксидированный никель (рис. 3б) имеет $E_{ст.ц}$ в растворе $Pb(NO_3)_2$, лежащий в пределах $0,35 - 0,39$ В. Пассивное состояние устойчиво, подъем плотности тока наблюдается при потенциалах $1,53$. Этот подъем плотности тока связан с образованием PbO_2 и протеканием параллельно процесса выделения кислорода. При обратном ходе ЦПДК не наблюдается токов в катодной области, но наблюдается 1 площадка, которая может быть связана с восстановлением образовавшегося PbO_2 . Ток образования PbO_2 (при $E_a = 2$ В) равен 72 мА/см^2 .

На титане, обработанном в коллоидном графите (рис. 3в), до потенциала $1,73$ не протекает никаких процессов. Стационарный потенциал $E_{ст.}$ составляет $0,64$ В. При потенциале $1,73$ В начинается резкий подъем плотности тока, связанный с образованием диоксида свинца. При обратном ходе ЦПДК наблюдается небольшая площадка в катодной области потенциалов. Она может быть связана с восстановлением образовавшегося диоксида свинца.

Для области ЦПДК, отвечающей образованию диоксида свинца строились кривые в координатах $E - \lg i$, наклон которых характеризует затрудненность процесса образования диоксида свинца на различных подложках (табл. 1). Из таблицы 1 следует, что при температуре 20°C и скорости развертки 20 мВ/с в зависимости от материала подложки значение коэффициента наклона $\Delta E - \Delta \lg i$ уменьшается в ряду: электрохимически оксидированная сталь, никель, обработанный в коллоидном графите, электрохимически оксидированный никель, фосфатированный никель, химически оксидированный никель, никелевая фольга, титан, обработанный в коллоидном графите.

Таблица 1

Значения наклона (В) кривых $E - \lg i$ для области образования диоксида свинца на различных подложках

Сталь электрохимически оксидированная	Никель, покрытый коллоидным графитом	Никель электрохимически оксидированный	Никель фосфатированный	Никель, оксидированный химически	Никелевая фольга	Титан, покрытый коллоидным графитом
1,20	0,56	0,40	0,31	0,22	0,21	0,19

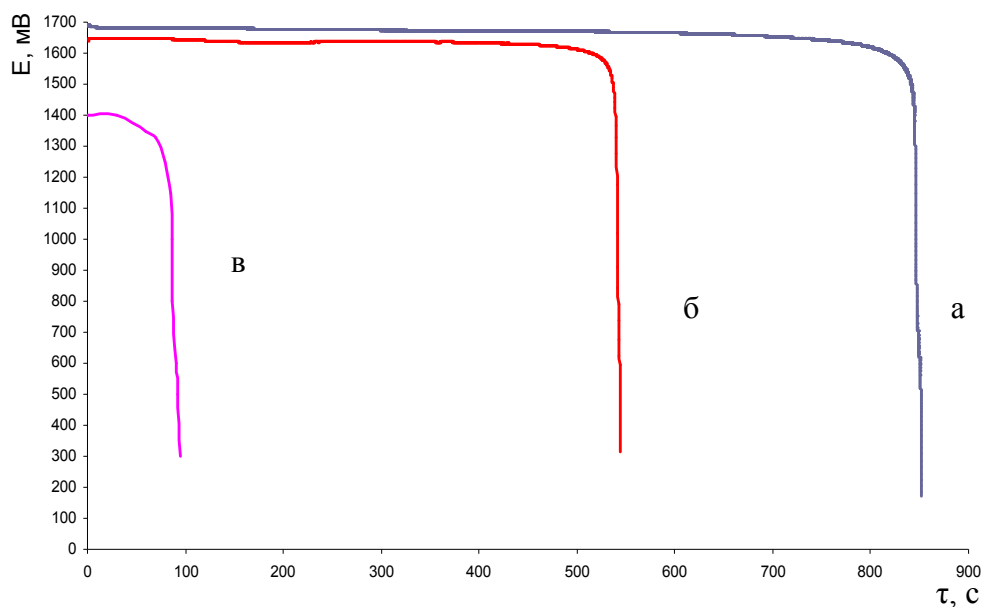


Рис. 4. Разрядная кривая системы $Pb/HClO_4/PbO_2$ током 60 мА/см^2 при $t = 25^\circ\text{C}$: а – титан, обработанный в коллоидном графите; б – электрохимически оксидированная сталь; в – фосфатированный никель

Таким образом, исходя из полученных экспериментальных данных можно говорить о кинетике процесса образования диоксида свинца на различных подложках. Полученные значения наклонов кривых $E - \lg i$ показали, что с наименьшими затруднениями при комнатной температуре процесс образования диоксида свинца идет на титане, покрытом коллоидным графитом, никелевой фольге, химически оксидированном никеле, где тангенс угла наклона приблизительно составляет $0,19 - 0,22$ В. Наиболее затрудненно процесс протекает на электроде, полученном путем осаждения на электрохимически оксидированную сталь при комнатной температуре (тангенс угла наклона – $1,2$).

На втором этапе работы на всех подложках осаждали PbO_2 в гальваностатическом режиме и снимали разрядные кривые. Гальваностатические кривые снимались до полного израсходования активного реагента при $25\text{ }^\circ\text{C}$ в 40 % хлорной кислоте со свинцовым противоэлектродом. Разрядные кривые характеризуются пологим ходом (рис. 4).

Разрядные кривые, снятые при $i = 60\text{ мА/см}^2$ (рис. 4а) показали, что применение титановой подложки, обработанной в коллоидном графите, позволяет увеличить разрядную емкость электрода.

Выводы

1. Исследование кинетики процесса образования диоксида свинца на различных подложках показало, что при комнатной температуре с наибольшими затруднениями процесс идет на электрохимически оксидированной стали и значительно менее затруднен на никелевой фольге и химически оксидированном никеле и титане, покрытом коллоидным графитом.

2. В результате проведенных экспериментов были получены диоксидсвинцовые покрытия толщиной от 35 до 85 мкм на различных подложках с хорошей адгезией с высокими разрядными характеристиками при комнатной температуре. Для практического применения рекомендуется осаждение двухслойного диоксидсвинцового покрытия на титановую основу, обработанную в «коллоидном графите», что позволяет увеличить разрядную емкость в макете резервного источника тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агуф И.А. Токоведущие основы для резервных свинцово-кислотных батарей / И.А. Агуф, М.А. Дасоян, Н.К. Михайлова // Электротехническая промышленность. Сер. Химические и физические источники тока. 1973. Вып. 7. С. 4-6.

2. Малевич Д.В. Изучение процессов формирования платино-оксидтитановых электродов и их электрохимическую стабильность / Д.В. Малевич, А.Ф. Мазец, В.Б. Дроздович // ЖПХ. 1997. Т. 70. №4. С. 583-586.

3. Didier Devilliers Dimensionally Stable PbO_2 Electrodes for Lead Acid Batteries / Didier Devilliers, Barbara Devos, Henri Groult // Journal of New Materials for Electrochemical Systems. 2007. № 10. P. 187-193.

4. Выбор материала подложки под диоксидсвинцовое покрытие / Е.А. Савельева, В.И. Шпекина, И.Е. Шпак, В.В. Краснов // Актуальные проблемы электрохимической технологии: сб. статей молодых ученых. Саратов, 2008. С. 281-283.

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

Elena A. Saveleva – Ph. D., Associate Professor
Department of Technology of Electrochemical Production,
Engels Institute of Technology (Branch)
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Шпекина Варвара Игоревна – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Varvara I. Shpekina – Postgraduate
Department of Technology of Electrochemical Productions
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Краснов Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическая и органическая химия» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir V. Krasnov – Ph. D., Associate Professor
Department of Electrochemical Production Technology,
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Лузановская Ольга Николаевна – студентка кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Olga N. Luzanovskaya – Undergraduate,
Engels Institute of Technology (Branch)
Yuiy Gagarin State Technical University of Saratov

М.Д. Элькин, О.Н. Гречухина, С.А. Громовой, М.В. Каргашов, А.А. Попов, В. Ф. Пулин

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРОВ В ДИМЕРАХ УРАЦИЛ-ЦИТОЗИН

В рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP осуществлены модельные квантовые расчеты геометрической структуры и колебательных спектров димеров урацил-цитозина. Выявлены признаки спектральной идентификации соединений.

Димеры урацила и цитозина, колебательные спектры, спектральная идентификация

M.D. Elkin, O.N. Grechuhina, S.F. Gromovoy, M.V. Kartashov, A.A. Popov, V.F. Pulin

MODELING THE STRUCTURE AND SPECTRA IN URACIL-CYTOSINE DIMERS

The analysis of vibrational spectra and geometric structure for dimers uracil-cytosine is carried out using the DFT/B3LYP method. The indications of spectral identification are determined.

Uracil and cytosine dimers, vibrational spectra, spectral identification

Введение

Цитозин ($C_4N_2OH_3NH_2$) и урацил ($C_4N_2O_2H_4$) являются базовыми фрагментами (рисунок) простейших оснований нуклеиновых кислот. Интерпретация колебательных спектров соединений, основанная на результатах модельных квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала в рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP/6-311G** [1] предложена, к примеру, в публикациях [2-4]. Подтверждено, что механизмом димеризации является сильная водородная связь типа $NH\cdots O=C$ в димерах цитозина и урацила. В димерах урацила может иметь место и слабая водородная связь типа $CH\cdots O=C$.

Анализ результатов модельных расчетов спектра фундаментальных колебаний димеров цитозина и урацила, весь набор частот можно разделить на две группы. К первой группе относятся колебания циклических фрагментов соединений, ко второй – валентные (ν_{NH}) и неплоские деформационные (ρ_{NH}) колебания связей NH. Смещение полос по сравнению с мономерами для первой группы не превосходит величины $\sim 50 \text{ см}^{-1}$ и касается в основном высокочастотного диапазона. Для второй группы смещение полос достигает соответственно величины ~ 450 и 300 см^{-1} . Указанный факт использован для построения структурно-динамических моделей димеров цитозин-урацил, что и является предметом данной статьи.

Анализ модельных расчетов и их обсуждение

Для оценки колебательных состояний исследуемых молекулярных объектов использовано известное соотношение:

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

Оценка ангармонических констант χ_{sr} осуществлялась по соотношениям, предложенным в работе [5]. Необходимые для этого значения кубических и квартичных силовых констант заимствованы из публикаций [2-4].

Результаты модельных расчетов представлены в табл. 1-3. В двух первых таблицах (для первой группы фундаментальных колебаний) они сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными по колебательным спектрам мономеров соединений. Имеющееся расхождение в диапазоне выше 1400 см^{-1} связано с наличием межмолекулярного взаимодействия (механизм водородной связи типа $NH\cdots O=C$). Димеризация приводит к расхождению полос (дублеты), интерпретированных как валентные ($\nu_{C=O}$) и деформационные (ρ_{NH}) колебания связей $C=O$ и NH соответственно. Полосы обладают заметной интенсивностью в ИК и КР спектрах, энергетическая щель между ними может достигать величины $\sim 50 \text{ см}^{-1}$. Этот факт, а также заметное различие в интенсивностях полос дают возможность привлекать указанный диапазон для задачи спектральной идентификации димеров урацил-цитозина.

В диапазоне ниже 1400 см^{-1} дублетное расщепление полос димеров цитозина и урацила по сравнению с мономерами соединений [2-4] не превышает величины $\sim 20 \text{ см}^{-1}$. Колебания данного диапазона следует считать характеристическими по частоте, поэтому их спектральная идентификация возможна только по значениям интенсивностей полос [2-4]. Сказанное имеет место и для димеров цитозин-урацил, а имеющиеся исключения в характере смещения полос по отношению к мономерам цитозина и урацила связаны с взаимодействием фрагмента NH_2 с водородными связями.

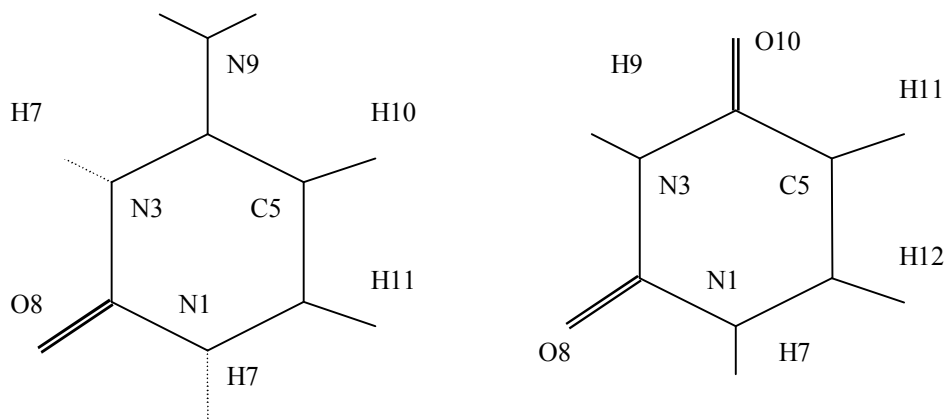
Использовать для спектральной идентификации диапазон ниже 900 см^{-1} затруднительно. Большинство полос имеют слабую интенсивность в ИК и КР спектрах. Ряд полос имеют сравнимую по порядку ве-

личины интенсивность. В диапазон ниже 350 см^{-1} согласно расчетам попадают крутильные колебания фрагмента NH_2 , однако к этим результатам надо относиться критически, поскольку в низкочастотном диапазоне могут сказаться известные недостатки численных методов компьютерной технологии «Gaussian» [1].

Приведенные в табл. 3 результаты интерпретации валентных и неплоских деформационных колебаний связей NH в димерах цитозин-урацил следует рассматривать как явные признаки спектральной идентификации соединений. Особенно это касается колебаний неплоских деформационных колебаний (ρ_{NH}). Полосы, отнесенные к валентным колебаниям этих связей, участвующих в образовании димеров, в реальных условиях находятся в конденсированном состоянии, обладают существенной шириной, а их использование в задачах спектральной идентификации может встретить затруднение.

Заключение

Результаты предсказательных модельных квантовых расчетов структуры и спектров димеров урацил-цитозин дают основание утверждать, что проявляющиеся закономерности в характеристиках полос в оптических колебательных спектрах исследуемых молекулярных объектов являются общими для всего класса урациловых и цитозиновых оснований ДНК. Весь набор фундаментальных колебаний можно отнести к колебаниям урацилового и цитозинового фрагментов, к колебаниям связей NH , участвующим в образовании водородных связей. Выявленные закономерности позволяют выявить признаки спектральной идентификации исследуемого класса молекулярных объектов.



Молекулярные диаграммы N1, N3 цитозина и урацила

Таблица 1

Интерпретация колебаний урацилового фрагмента в димерах цитозин-урацил

Форма колеб.	$\nu_{\text{вкс}}$ [6]	$\nu_{\text{анг}}$	8-7;8-7		9-8;7-8		10-7;8-9		9-8;8-7		9-8;8-9		9-10;8-9	
			ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
$\text{Q}_{\text{C=O}}$	1764	1771	-	-	-	-	544	13	-	-	-	-	538	13
	1741	1723	1704	49	1719	41	-	-	1987	48	2043	39	-	-
	-	1677	-	-	-	-	134	92	-	-	-	-	1749	1.1
Q, β, γ	1643	1621	70	10	62	18	22	16	47	8.1	418	7.0	12	13
$\beta_{\text{NH}}, \text{Q}$	-	1524	77	72	-	-	-	-	32	59	-	-	-	-
	1472	1454	-	-	135	68	188	26	144	3.7	47	27	144	3.7
β_{NH}, β	1399	1406	122	3.4	-	-	-	-	126	2.5	12	0.4	16	0.6
$\beta_{\text{NH}}, \beta, \text{Q}$	1360	1364	35	20	253	9.1	169	14	144	14	14	7.1	99	25
$\text{Q}, \beta, \beta_{\text{NH}}$	1217	1223	47	6.0	-	-	-	-	102	3.6	-	-	-	-
$\text{Q}, \beta_{\text{NH}}$	1184	1181	29	24	105	12	85	23	31	23	106	12	84	28
β, Q	1073	1061	13	11	5.4	5.6	4.0	6.1	9.0	3.6	2.3	2.2	4.0	5.5
$\gamma, \text{Q}, \beta_{\text{NH}}$	950	962	42	9.5	33	5.4	59	10	32	14	46	4.9	99	12
$\gamma, \rho_{\text{C=O}}, \chi$	759	758	35	12	25	13	27	11	31	15	14	21	22	19
$\gamma, \beta_{\text{C=O}}$	565	551	12	11	78	5.1	39	5.5	14	12	46	3.4	-	-
γ	516	517	61	4.8	5.6	3.3	27	3.5	66	5.7	7.2	6.3	36	3.9
$\beta_{\text{C=O}}, \chi$	396	399	48	2.6	73	3.3	87	3.7	48	2.8	48	3.3	78	5.1
$\rho, \rho_{\text{C=O}}$	804	798	67	0.6	42	1.1	34	1.3	64	0.6	46	1.1	30	1.1
χ, ρ	718	714	0.1	2.2	18	2.1	25	1.3	0.0	2.0	19	2.0	24	1.1

Примечание. Частоты колебаний (ν) в см^{-1} , интенсивности в спектрах ИК в км/моль , в спектрах КР в $\text{Å}^4/\text{а.е.м.}$

Таблица 2

Интерпретация колебаний цитозинового фрагмента в димерах цитозин-урацил

Форма колебаний	V _{экс} [4]	V _{анг}	Димер_N ₃		9-8;8-7		9-8;8-9		9-10;8-9	
			ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
Q _{C=O} ,γ,β _{NH}	1730	-	-	-	-	-	295	39	154	82
Q _{C=O} ,γ,β _{NH}	-	1678	1505	3.4	685	24	89	17	445	11
Q,β,β _{CNH}	1602	1627	962	27	468	8.9	70	20	55	24
Q,β,β _{NH}	1569	1570	16	60	39	24	-	-	-	-
Q,β,β _{NH}	-	1498	-	-	-	-	48	36	212	28
	1465	1465	353	13	170	8.5	-	-	-	-
	-	1430	84	3.5	4.8	0.8	-	-	-	-
β,Q,β _{NH}	1382	1384	-	-	-	-	154	27	169	11
	1340	1342	341	31	187	26	-	-	-	-
β	1125	1163	7.3	21	5.3	10	9.2	10	7.2	10
γ	968	943	150	16	60	3.2	45	3.4	-	-
γ,ρ _{C=O} ,χ	784	795	42	67	18	36	16	38	23	39
ρ	717	750	56	0.0	30	0.2	31	0.4	31	0.4
γ,β _{C=O}	-	602	122	11	65	4.4	-	-	-	-
			Димер_N ₁		7-8;7-8		7-8;8-9		7-10;8-9	
Q _{C=O} γ	1730	1678	1700	43	827	36	575	50	1668	2.8
Q,β,γ	1668	1632	1304	17	711	9.1	566	7.6	618	9.3
Q,β,γ,β _{NH}	1540	1540	101	54	59	12	82	13	71	16
β _{NH}	1423	1466	408	33	220	4.9	147	2.3	189	3.2
β,Q	1461	1450	311	70	123	39	108	8.2	29	67
β,Q	1340	1330	191	21	84	10	71	10	76	10
Q,β	1258	1251	32	10	16	8.7	15	9.2	13	8.4
β,Q	1196	1215	94	22	96	5.5	39	7.3	41	7.9
β,Q	1083	1106	34	41	10	18	10	16	11	18
γ,Q,ρ	-	965	85	16	10	10	27	5.9	56	5.9
Q,β,β _{NH}	-	918	54	12	10	4.1	7.5	4.4	8.4	5.2
χ,ρ _{C=O}	784	772	61	46	30	32	30	41	29	42
ρ,ρ _{CN} ,χ	749	750	65	2.5	25	0.9	25	0.8	28	1.0
γ	-	585	68	18	40	8.4	27	6.7	26	7.2
γ,β _{C=O} ,χχ	524	535	108	23	77	12	38	11	49	11

Таблица 3

Интерпретация колебаний валентных (q_{NH}) и неплоских деформационных (ρ_{NH}) колебаний связей NH в димерах цитозин-урацил

Форма колеб.	V _{экс} [2-6]	Таутомер_N1: 7-8;8-7			7-8;8-9			7-10;8-9		
		V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР
q _{NH}	3424-3463	3426	57	72	3467	91	93	3460	100	132
q _{NH}	3127-3197	3122	1958	301	3172	1641	268	3126	2035	313
q _{NH}	2920-3092	2915	1904	605	3016	1147	472	2973	1155	483
ρ _{NH}	890-976	911	123	0.4	934	98	0.1	943	71	0.2
ρ _{NH}	839-890	848	14	1.9	845	35	0.8	866	32	1.1
ρ _{NH}	669-672	671	49	2.5	-	-	-	-	-	-
ρ _{NH}	555-557	-	-	-	554	62	0.9	574	59	0.8
		Таутомер_N3:9-8;8-7			9-8;8-9			9-1;-8-9		
q _{NH}	3424-3463	3426	55	73	3467	90	86	3458	105	129
q _{NH} -	3092-3129	3089	1707	216	3131	1503	203	3083	1880	202
q _{NH} -	2851-3092	2878	1783	498	2986	881	506	2942	993	402
ρ _{NH} -	890-946	920	127	1.1	940	104	0.1	950	117	0.3
ρ _{NH} -	840-897	846	29	0.5	843	48	0.2	865	40	0.3
ρ _{NH}	669-672	671	50	2.4	-	-	-	-	-	-
ρ _{NH}	555-557	-	-	-	553	66	0.9	579	59	0.8

ЛИТЕРАТУРА

1. Frisch M.J. Gaussian / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel. Inc., Pittsburgh PA, 2003.
2. Элькин П.М. Математическое моделирование структуры и динамики димеров урацила и азаурацилов / П.М. Элькин, М.А. Эрман, В.М. Карташов // Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та. Сер. Актуальные проблемы управления, выч. техники и информатики в техн. системах. 2012. № 10 (97). Вып. 14. С. 55-63.
3. Моделирование колебательных состояний урациловых оснований ДНК и их спектральная идентификация / М.Д. Элькин, В.В. Смирнов, Е.Ю. Степанович, В.Ф. Пулин, А.М. Лихтер, О.Н. Гречухина // Вестник СГТУ. 2013. № 1 (69). С. 74-79.
4. Структурно-динамические модели гидроксцитозинон / М.Д. Элькин, В.В. Смирнов, Е.А. Джалмухамбетова, О.М. Алькова, А.Р. Гайсина, В.И. Коломин, Н.А. Равчеева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 102-110.
5. Программно-алгоритмическая поддержка задач молекулярного моделирования / Е.А. Эрман, П.М. Элькин, Г.П. Стефанова, Н.А. Равчеева // Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та. Сер. Актуальные проблемы управления, выч. техники и информатики в техн. системах. 2012. № 10 (97). Вып. 14. С. 63-67.
6. Yarasi S. Vibrational property of thymine and uracyl and their isotopomers / S. Yarasi, B B.E. illinghurst, G.R. Loppnow // J. Raman Spectroscopy. 2007. Vol. 38/ № 9. P. 1117-1120.

Элькин Михаил Давыдович – доктор физико-математических наук, доцент кафедры технической физики и информационных технологий Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mihail D. Elkin – Dr. Sc., Professor
Department of Technical Physics and Information Technologies
Engels Technological Institute (Branch)
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

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

Oksana N. Grechuhina – Ph. D., Associate Professor
Department of Applied Mathematics and Informatics
Astrakhan State University

Громовой Сергей Александрович – магистрант Астраханского государственного университета

Sergey A. Gromovoy – Master's Student
Astrakhan State University

Карташов Максим Вячеславович – магистрант Астраханского государственного университета

Maxim V. Kartashov – Master's Student
Astrakhan State University

Попов Андрей Александрович – магистрант Астраханского государственного университета

Andrey A. Popov – Master's Student
Astrakhan State 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
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 539.193/.194;535/.33.34

П.М. Элькин, О.Н. Гречухина, С.А. Громовой, М.В. Карташов, А.А. Попов, В.Ф. Пулин

**МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРА
1- И 3 НИТРОУРАЦИЛОВ В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ**

В рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP выполнены модельные квантовые расчеты конформационной структуры и колебательных состояний димеров 1- и 3-нитроурацилов. Выявлены признаки спектральной идентификации соединений.

Димеры нитроурацила, колебательные спектры, спектральная идентификация

P.M. Elkin, O.N. Grechuhina, S.F. Gromovoy, M.V. Kartashov, A.A. Popov, V.F. Pulin

MODELING THE STRUCTURE AND SPECTRA IN URACIL-CYTOSIN DIMERS

The analysis of vibrational spectra and conformic structure for dimmers 1- and 3-nitrouracils is carried out utilizing the DFT/B3LYP method. The indications of spectral identification are revealed.

1- and 3-nitrouracils, vibrational spectra, spectral identification

Введение

Замещенные урацила (рисунок) являются базовыми фрагментами пиримидиновых оснований нуклеиновых кислот. Многообразие таутомерных форм соединений в различных фазовых состояниях определяют их многофункциональное биохимическое поведение. Отметим, что в периодической литературе наиболее полный эксперимент по колебательным спектрам представлен для метилзамещенных урацила. Этот факт дает возможность оценить достоверность результатов расчета параметров структурно-динамических моделей урациловых оснований ДНК в рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP [1]. Сошлемся на публикации [2-4]. Для галоидо-, amino-, карбоксифрагментов экспериментальные исследования касаются в основном 5- и 6-замещенных урацила. Теоретическая интерпретация указанного эксперимента, основанная на результатах модельных квантовых расчетов, представлена, к примеру, в [4,5].

Однако теоретический и практический интерес представляет замещение в 1- и 3- положениях. Здесь будет сказываться влияние соседних атомов кислорода связей C=O. Особенно это касается кислородосодержащих фрагментов, в частности нитрогруппы.

Цель данной работы – построение структурно-динамических моделей возможных таутомерных форм димеров 1- и 3-нитрозамещенных урацила, выявление признаков их спектральной идентификации. Экспериментальные данные по колебательным (ИК и КР) спектрам 1- и 3-метилзамещенных урацила и их теоретическая интерпретация [2] привлечены в качестве теста.

Результаты модельных расчетов и их обсуждение

Для воспроизведения частот крутильных колебаний исходная геометрическая структуры 1- и 3-нитроурацилов предполагалась неплоской за счет поворота нитрофрагмента относительно плоскости пиримидинового кольца (группы симметрии C₁). В 1- нитроурациле крутильные колебания воспроизвелись для двугранного угла D(C₄,C₅,O₁₁,H) ~ 13°. Для 3-нитроурацила квантовые расчеты привели к конфигурации, при которой плоскости пиримидинового цикла и нитрофрагмента ортогональны (симметрия C_s).

Образование димеров с водородными связями типа NH---O=C приводит к отклонению значений геометрических параметров урациловых фрагментов на величины ~ 0.01 Å для валентных связей и 0.5° для валентных углов. Значения длин водородных связей располагаются в интервале 1.78-1.91 Å, что совпадает с аналогичными данными, приведенными в работах [2-5].

Для нитрофрагмента согласно модельным расчетам значения длин валентных связей C-N и N-N располагаются в диапазоне 1.46-1.49 Å, длин связей NO – 1.20-1.22 Å, валентные углы – 126-129°.

Интерпретация спектра фундаментальных колебаний и оценки интенсивностей полос в ИК и КР спектрах исследуемых нитроурацилов представлены в табл. 1-4. Из рассмотрения исключены полосы низкой интенсивности, как не представляющие интерес для задачи спектральной идентификации соединений.

Оценка ангармонического смещения полос осуществлялась в рамках известного соотношения теории возмущения

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

Здесь ν_s – частоты гармонических колебаний, n_s – набор квантовых чисел.

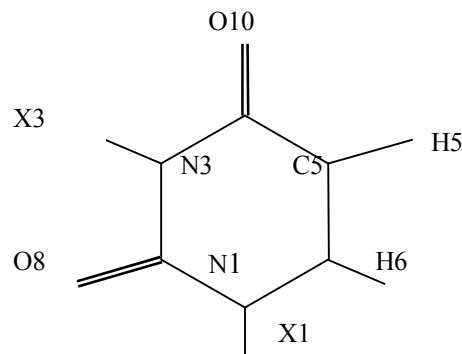
Расчеты ангармонических констант χ_{sr} осуществлялись по методике, предложенной в работе [6]. Оценки ангармонических силовых констант заимствованы из [2-5].

Для 1-нироурацила (табл. 1) возможно существование двух типов димеров с сильной водородной связью (N₃H₉---O₈C₂ и N₃H₉---O₁₀C₄). В качестве признака спектральной идентификации ди-

меров можно использовать интенсивность полосы $\sim 930 \text{ см}^{-1}$ в ИК спектре, интерпретированную как колебания пиримидинового кольца (Q, γ), а также полосы, отнесенные к валентному и неплоскому деформационным колебаниям связи N_3H_9 и валентному колебанию связи $C=O$ (табл. 2). Здесь явным признаком является смещение положения полос, достигающее величины $\sim 100 \text{ см}^{-1}$ для валентных колебаний связи NH и наличие дублета ($\Delta \sim 100 \text{ см}^{-1}$) для валентным колебаний связей $C=O$ в димере 9---10. Отличительной особенностью 1-нитроурацила является сильная по интенсивности полоса, интерпретированная как валентное колебание связи $N-N$ (q_{NN}).

Для 3-нитроурацила имеется один тип димера с сильной водородной связью (табл. 3). В отличие от 1-нитроурацила интенсивность полосы в ИК спектре, отнесенной к валентному колебанию связи $N-N$ на порядок ниже, низкочастотном диапазоне в ИК спектре заметной интенсивностью обладают полосы, отнесенные к деформационному колебанию связи $C=O$ ($\beta_{C=O}$) $\sim 530 \text{ см}^{-1}$ и неплоскому деформационному колебанию этой связи ($\rho_{C=O}$) $\sim 800 \text{ см}^{-1}$.

Положение и интенсивность полос валентных (q_{NO}) и деформационных (γ_{ONO} , β_{CNO} , β_{NNO}) также можно использовать для идентификации типа замещения в нитроурацилах. Об этом свидетельствуют данные, приведенные в табл. 5.



Молекулярная диаграмма 1-, 3-нитроурацилов ($X=H, NO_2$)

Таблица 1

Интерпретация колебаний пиримидинового фрагмента в 1-X-урацилах

Форма колеб.	$V_{\text{эксп}}$ [2]	$V_{\text{выч}}$	8-9		9-10		Форма колеб.	$V_{\text{выч}}$	8-9		9-10	
			ИК	КР	ИК	КР			ИК	КР	ИК	КР
Q, γ, β	1644	1622	151	38	110	37	Q, β, γ	1629	56	96	43	109
β, β_{NH}	-	1457	-	-	96	87	β_{NH}, Q, β	1451	69	35	14	27
β, β_{NH}	1432	1415	269	22	84	1.5	-	-	-	-	-	-
β_{NH}	1386	1378	-	-	-	-	β_{NH}	1396	105	19	125	0.8
Q, β_{NH}, β	1358	1350	342	31	280	48	-	-	-	-	-	-
β, Q	1320	1304	128	5.5	196	7.4	$Q, \gamma, \beta_{C=O}$	1330	260	5.0	172	129
q_{N-C}, β	1224	1201	36	29	55	57	β, Q, q_{NO}	1250	896	13	946	86
Q, β	1188	1166	25	18	14	9.7	β, Q	1182	186	60	251	1.3
-	-	-	-	-	-	-	β, Q	1104	48	1.5	30	1.9
Q, β	1027	1006	26	4.5	30	3.5	q_{NN}	1005	572	18	664	13
γ, Q	963	952	12	6.6	16	18	Q, γ	936	69	11	255	27
Q, γ	749	736	19	52	58	68	γ, Q	730	53	8.3	59	22
$\beta_{C=O}, \gamma$	608	612	25	4.0	7.4	6.3	$\beta_{C=O}$	628	28	6.1	49	6.0
-	-	-	-	-	-	-	γ	594	7.6	4.8	52	6.5
$\gamma, \beta_{C=O}$	538	537	65	8.9	46	8.7	γ	540	55	6.4	45	11
γ	461	458	38	10	50	11	γ	332	51	14	94	1.2
$\beta_{C=O}$	388	396	90	1.5	120	1.3	$\beta_{C=O}, \chi$	388	73	8.2	35	23
$\rho, \rho_{C=O}$	-	796	58	1.6	55	1.9	ρ	804	48	2.8	58	16
$\chi, \rho_{C=O}$	760	750	22	0.5	28	0.5	$\chi, \rho_{C=O}$	745	79	19	70	6.5

Примечание. Частоты колебаний в см^{-1} , интенсивности в спектрах ИК в км/моль , в спектрах КР в $\text{в}^4/\text{аеи}$

Интерпретация валентных и неплоских деформационных колебаний связей NH, валентных колебаний связей C=O в 1-X-урацилах

Форма колеб.	V _{эксп} [2]	Мономер			Димер 8-9			Димер 9-10		
		V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР
1-метилурацилы										
q _{NH}	3430	3425	61	84	3198	1854	-	3139	2488	-
q _{NH}	-	-	-	-	3171	-	592	3104	-	742
Q _{C=O,γ}	1704	1736	369	17	1729	747	82	1740	919	14
Q _{C=O,γ}	1694	1728	818	39	1700	1843	30	1688	2027	164
ρ _{NH}	-	667	49	2,8	889	165	-	915	161	-
1-нитроурацилы										
q _{NH}	-	3464	76	89	3275	1654	-	3179	2651	-
q _{NH}	-	-	-	-	3251	-	598	3143	-	804
Q _{C=O,γ}	-	1803	590	8,0	1769	1142	21	1808	1026	20
Q _{C=O,γ}	-	1755	537	86	1754	1416	167	1712	1683	265
ρ _{NH}	-	659	37	3,2	865	199	-	906	172	-

Таблица 3

Интерпретация колебаний пиримидинового фрагмента в 3-X-урацилах

3-метилурацил							3-нитроурацил					
Форма колеб.	V _{эксп} [3]	V _{выч}	Мономер		Димер		Форма колеб.	V _{выч}	Мономер		Димер	
			ИК	КР	ИК	КР			ИК	КР	ИК	КР
Q,β,γ	1648	1628	43	17	240	27	Q,β,γ	1633	91	21	268	36
β _{NH,Q}	-	1514	-	-	34	81	β _{NH,Q}	1516	-	-	139	90
β _{NH,Q}	1471	1460	63	5.5	-	-	β _{NH,Q}	1465	74	8.5	-	-
Q,β	1398	1380	31	3.4	20	8.6	β,β _{NH,Q}	1385	3.8	3.3	68	7.3
Q,β,γ	-	1356	104	4.5	94	23	Q,β	1366	9.9	8.8	26	32
	1274	1254	28	5.7	118	4.1		1225	-	-	238	3.7
β	1212	1206	33	9.1	49	27	β,β _{NH,Q}	1196	55	7.2	-	-
q _{C-C,γ,β}	1124	1132	1.0	3.1	2.3	7.6	Q,β _{NH}	1168	74	10	42	52
Q,β _{C=O}	1121	1101	59	6.3	55	35	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	β,Q	1072	23	9.5	4.3	32
Q,β,γ	1070	1058	4.1	3.2	37	14.4	Q,β,γ	1046	6.8	2.6	60	7.1
	-	-	-	-	-	-	γ,Q	998	28	10	71	17
γ	-	844	0.5	3.2	26	3.2	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	γ	778	2.5	9.1	18	19
Q	-	691	1.4	21	3.5	54	Q,γ	707	8.7	0.4	29	0.7
β _{C=O}	595	581	10	0.4	68	1.2	γ,β _{C=O}	589	14	16	27	40
γ	-	536	12	4.0	101	11	β _{C=O}	550	5.2	1.0	50	7.4
γ	-	497	5.6	5.2	4.6	20	γ	523	17	4.2	122	13
β _{C=O}	-	405	26	1.2	96	1.6	β _{C=O}	423	1.1	9.3	10	19
	-	340	7.0	0.2	19	0.3	-	-	-	-	-	-
β _{CC}	-	-	-	-	-	-	γ	280	16	4.6	41	10
ρ	810	800	52	1.1	106	1.6	ρ,ρ _{C=O}	792	49	0.8	101	1.2
ρ _{C=O,χ}	760	750	17	0.1	12	0.2	ρ _{C=O,χ}	735	22	0.0	15	0.5
ρ _{C=O,χ}	721	710	21	1.5	3.1	3.1	ρ _{C=O,χ}	695	18	1.8	1.6	3.4
χ,ρ	400	424	11	2.1	3.7	2.8	ρ _{NN}	397	15	1.3	7.3	1.5

Интерпретация валентных и неплюских деформационных колебаний связей NH, валентных колебаний связей C=O в 3-X-урацилах

Форма колеб.	V _{эксп} □	Мономер			Димер			Мономер			Димер		
		V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР
q _{NH}	3464	3462	99	100	3124	3374		3505	116	109	3187	3168	
q _{NH}					3082		934				3147		599
ρ _{NH}	583	561	63	0,8	861	149		555	62	1,0	846	145	
Q _{C=O}	1744	1742	304	20	1722	348	109	1784	319	20	1765	391	117
Q _{C=O}	1697	1694	773	22	1670	2592	2.2	1744	719	27	1711	2529	10

Таблица 5

Интерпретация колебаний NO₂ фрагмента в нитроурацилах

Форма колеб.	1-NO ₂ (8---9)			1-NO ₂ (9---10)			3-NO ₂ (7---8)		
	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР	V _{выч}	ИК	КР
q _{NO}	1666	264	13	1667	373	12	1707	673	7.9
q _{NO}	1281	163	95	1282	186	129	1284	686	25
β _{ONO}	831	280	22	831	270	27	832	344	11

Сопоставление экспериментальных и вычисленных значений частот фундаментальных колебаний урациловых фрагментов в метил- и нитроурацилах (табл. 1, 3) подтверждают выводы работ [2-4], что влияние заместителя на электронную структуру пиримидинового кольца носит локальный характер и сказывается на валентных и деформационных колебаниях связей NX (X=CH₃, NO₂), а также деформационных колебаниях валентных углов шестичленного цикла, примыкающим к связям NX.

Заключение

Результаты проведенных модельных расчетов структуры и спектра димеров нитроурацилов дают основание полагать, что метод функционала плотности DFT/b3LYP позволяет получить достоверные предсказательные оценки параметров адиабатического потенциала пиримидиновых оснований ДНК, выявить признаки спектральной идентификации в зависимости от положения заместителя и его электронной структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Frisch M.J. Gaussian / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel. Inc., Pittsburgh PA, 2003.
2. Элькин П.М. Анализ колебательных спектров метилзамещенных урацила в ангармоническом приближении / П.М. Элькин, М.А. Эрман, О.В. Пулин // Журн. прикл. спектр. 2006. Т. 73. № 4. С. 431-436.
3. Структурно-динамические модели Тимина в конденсированном состоянии / М.Д. Элькин, А.М. Лихтер, Н.А. Равчеева, И.Т. Шагаутдинова // Естественные науки. 2013. №3 (44). С. 121-127.
4. Системный анализ модельных расчетов параметров адиабатического потенциала 5-Х замещенных урацила в конденсированном состоянии / М.Д. Элькин, В.В. Смирнов, Е.А. Джалмухамбетова, О.Н. Гречухина, О.М. Алыкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 3 (23). С. 78-85.
5. Структурно-динамические модели и колебательные состояния димеров хлорурацила / Е.А. Эрман, М.Д. Элькин, А.М. Лихтер, Е.А. Джалмухамбетова, О.М. Алыкова, Н.А. Равчеева // Естественные науки. 2012. № 2. С. 220-227.
6. Элькин М.Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М.Д. Элькин, Л.М. Бабков // Изв. Сарат. гос. ун-та. Нов. сер. Физика. 2011. Т. 11. Вып. 1. С. 20-25.

Элькин Павел Михайлович –
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Техническая физика»

Pavel M. Elkin –
Ph. D., Professor
Department of Technical Physics and Information

и информационные технологии»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

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

Громовой Сергей Александрович –
магистрант Астраханского
государственного университета

Карташов Максим Вячеславович –
магистрант Астраханского
государственного университета

Попов Андрей Александрович –
магистрант Астраханского
государственного университета

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

Technologies
Engels Technological Institute (Branch)
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Oksana N. Grechuhina –
Ph. D., Associate Professor
Department of Applied Mathematics and Informatics
Astrakhan State University

Sergei A. Gromovoy –
Master's Student
Astrakhan State University

Maxim V. Kartashov –
Master's Student
Astrakhan State University

Andrey A. Popov –
Master's Student
Astrakhan State University

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

Статья поступила в редакцию 12.12.13, принята к опубликованию 15.12.13

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.78.012.8

М.М. Журавлев, А.В. Королев, М.К. Решетников

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ

Аналитически определены рациональные режимы лазерной закалки: требуемое время действия и интенсивность теплового источника, необходимая скорость перемещения лазерного пучка относительно детали.

Лазер, интенсивность теплового источника, глубина закалки

M.M. Zhuravlev, A.V. Korolev, M.K. Reshetnikov

DEFINING THE RATIONAL MODES OF LASER HARDENING

Analysis was used to define the rational modes of laser hardening. These modes include the required operating time and intensity of the heat source, and the required movement speed of the laser beam with respect to the unit.

Laser, intensity of the heat source, depth of hardening

Из аналитических методов для решения линейных задач теплопроводности используются методы функций Грина, преобразований Фурье, интегральных преобразований по пространственным переменным, преобразований Лапласа по временной переменной, и др. Однако лишь очень ограниченное число задач теплопроводности может быть точно решено в аналитическом виде и требует численного решения на ЭВМ.

При нагреве полубесконечной изотропной среды с теплопроводностью λ и температуропроводностью $a = \lambda/(\rho c)$ движущимся со скоростью v поверхностным тепловым источником $q(\vec{r}, t)$ уравнение теплопроводности имеет вид [1]:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \text{grad} T \right) - \text{div}(\lambda \text{grad} T) = q(\vec{r}, t) \quad (1)$$

где ρ — плотность (среды), c — удельная теплоёмкость, λ — теплопроводность, \vec{v} — скорость перемещения среды относительно источника тепла, $q(\vec{r}, t)$ — плотность мощности поверхностного источника тепла. Граничные условия для данной задачи записываются в следующем виде:

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=0} = q, \quad (2)$$

$$(T)_{z \rightarrow \infty} = T_0. \quad (3)$$

Распределение температуры в полубесконечной ($z \geq 0$) среде связано с вычислением интеграла [1]:

$$T(x, y, z) = T_0 + \frac{a}{4\lambda(\pi a)^{3/2}} \int_0^\infty \frac{\partial t}{t^{3/2}} \int_{-\infty}^\infty dx' \int_{-\infty}^\infty q(x', y') \exp \left[-\frac{(x - x' + vt)^2 + (y - y')^2 + z^2}{4at} \right] dy' \quad (4)$$

и предполагает использование численных методов [1].

На практике часто требуется решение обратной задачи теплопроводности, когда по заданным свойствам материала и требуемым размерам закаленной зоны требуется определить режимы лазерной обработки и параметры теплового источника. Ниже приводится метод приближенного решения

обратной тепловой задачи для случая лазерной закалки, с помощью которого можно получить достаточно точные для практического применения и удобные для инженеров-технологов аналитические выражения [2].

Рассмотрим модель одномерного нагрева полубесконечной среды неограниченным поверхностным тепловым источником с постоянной интенсивностью $q = AP_0 / (\pi r^2 G)$, действующим в течение времени $t = 2r / v$. Параметр $G \geq 1$ описывает степень несимметричности (вытянутости) теплового источника. Значению $G = 1$ соответствует пучок круглой формы.

Если теплофизические характеристики вещества считать не зависящими от температуры и пренебречь теплоотдачей с поверхности, то распределение температуры по глубине в любой момент времени $t \geq 0$ описывается известным выражением [2]

$$T(z, t) = \frac{q}{\lambda} 2(at)^{1/2} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{4at}\right) - \frac{z}{2(at)^{1/2}} \Phi\left(\frac{z}{2(at)^{1/2}}\right) \right], \quad (5)$$

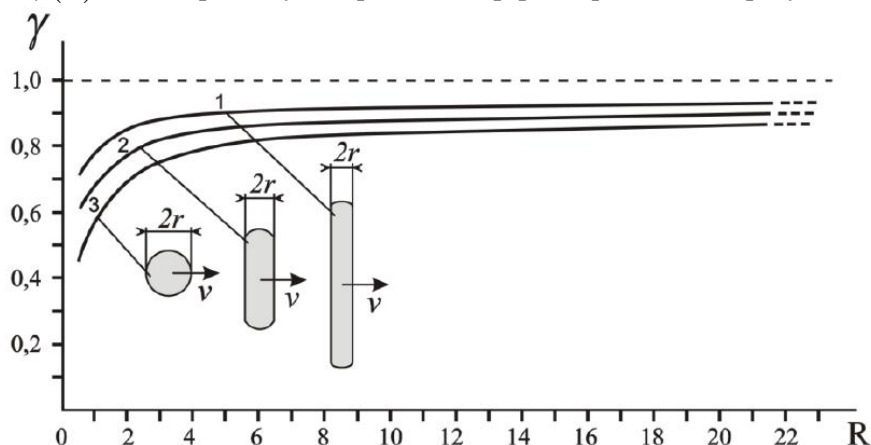
где $\Phi = 1 - \Phi^*$ – функция ошибок.

В линейном приближении, при разложении (5) в ряд при условии $z \ll 2(at)^{1/2}$, данное выражение имеет вид:

$$T(z, t) = \frac{q}{\lambda} \left[\left(\frac{4at}{\pi}\right)^{1/2} - z \right] \quad (6)$$

В условиях, когда величина отражательной способности материала R близка к единице, непосредственно использовать выражения (5), (6) вместо уравнения (4) нельзя. Только при $R \gg 1$ эти три уравнения дают практически один результат. Однако вполне логично предположить, что с уменьшением R сначала будут расти количественные расхождения, и лишь затем существенно изменится и качественный вид рассчитанных по этим формулам зависимостей. Оказалось [2], что в линеаризованную модель можно ввести всего один численно рассчитанный поправочный коэффициент $\gamma(R)$, чтобы получить достаточно точные расчетные формулы вплоть до $R \sim 1$.

Физический смысл коэффициента γ – это доля тепла, распространяющегося в глубь металла (по оси z). Расчетные графики $\gamma = \gamma(R)$ для лазерных пучков различной формы приведены на рисунке [2].



Значения поправочного коэффициента γ в зависимости от параметра $R = vr / (2a)$.

- 1 – движущийся поверхностный однородный тепловой источник в виде полосы с отношением длина/ширина $G > 10$; 2 – источник в виде прямоугольника с отношением длина/ширина $G \sim 3 \dots 5$;
- 3 – источник в виде круга ($G = 1$)

В результате с достаточной для практики точностью можно рассчитывать температуру по формулам (3) и (4) при не слишком малых R , характерных для задач с точечным источником, используя в этих формулах эффективную поглощенную мощность:

$$P^{эф} = \gamma AP_0 = \gamma P \quad (7)$$

или плотность мощности:

$$q^{\text{эф}} = \lambda q = \lambda \frac{q_{\text{нл}}^{\text{эф}}}{\gamma} = \frac{\lambda A P_0}{\pi r^2 G} \quad (8)$$

Считая, что закалка происходит во всей области, где температура материала выше температуры закали $T_{\text{зак}}$, из формулы (6) можно определить максимально достижимую глубину закали на оси пучка без оплавления поверхности [3]:

$$z_{\text{зак}} = \left(\frac{4at}{\pi} \right)^{1/2} - \frac{\gamma \lambda T_{\text{зак}}}{q_{\text{нл}}^{\text{эф}}}. \quad (9)$$

Отсюда видно, что для каждого конкретного металла со своими конкретными теплофизическими константами определяющим фактором глубины закали является время действия источника тепла.

Соответственно если известна требуемая глубина закали $z_{\text{зак}}$, например, из условия допустимого износа детали в процессе эксплуатации, то, преобразовав выражение (9), найдем требуемое время действия источника тепла

$$t_{\text{зак}} = \frac{\pi}{4a} \left(z_{\text{зак}} + \frac{\gamma \lambda T_{\text{зак}}}{q_{\text{нл}}^{\text{эф}}} \right)^2 \quad (10)$$

и из выражений (6) и (8) получим необходимую интенсивность теплового источника:

$$q_{\text{нл}}^{\text{эф}} = \frac{\gamma \lambda T_{\text{зак}}}{2 \sqrt{\frac{at_{\text{зак}}}{\pi} - z_{\text{зак}}}} \quad (11)$$

Отсюда следует, что для закали на глубину $z_{\text{зак}}$ требуемый радиус лазерного пучка на детали должен составлять:

$$r_{\text{лаз}} = \sqrt{\frac{A P_0 (2 \sqrt{at_{\text{зак}}/\pi} - z_{\text{зак}})}{\pi G \lambda T_{\text{зак}}}}, \quad (12)$$

а необходимая скорость перемещения пучка $v_{\text{зак}}$ относительно детали равна

$$v_{\text{зак}} = \frac{2r_{\text{лаз}}}{t_{\text{зак}}} = 2 \sqrt{\frac{A P_0 (2 \sqrt{at_{\text{зак}}/\pi} - z_{\text{зак}})}{\pi G \lambda T_{\text{зак}}}} \quad (13)$$

Так как величина $\gamma(R)$ заранее не известна, расчет по формулам (9)-(11) производить непосредственно нельзя. Рекомендуется использовать метод последовательных приближений. Полагая $\gamma = 1$, рассчитывают режим из вышеприведенных формул. Затем определяют величину R , из рисунка находят $\gamma(R)$ и, используя полученное значение γ , пересчитывают режим, и т.д. Обычно бывает достаточно применить пересчет дважды [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. М.: Наука, 1964. 488 с.
2. Майоров В.С. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / В.С. Майоров; под ред. В.Я. Панченко. М.: Физматлит, 2009. 664 с.
3. Андрияхин В.М., Майоров В.С., Якунин В.П. Расчет поверхностной закали железоуглеродистых сплавов с помощью технологических CO₂-лазеров непрерывного действия / В.М. Андрияхин, В.С. Майоров, В.П. Якунин // Поверхность. Физика, химия, механика. 1983. № 6. С. 140-147.

Журавлев Михаил Михайлович – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail M. Zhuravlev – Postgraduate Department of Technology of Mechanical Engineering Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Королев Альберт Викторович –
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Albert V. Korolev –
Dr. Sc., Professor
Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Решетников Михаил Константинович –
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail K. Reshetnikov –
Dr. Sc., Professor
Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 14.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 621.78.012.8

М.М. Журавлев, А.В. Королев, М.К. Решетников

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАКАЛКИ СКАНИРУЮЩИМ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ

Представлена теплофизическая модель закалки сканирующим лазерным пучком, которая учитывает не только пространственную, но и временную структуру теплового источника.

Лазер, время действия теплового источника, интенсивность теплового источника, закалка, температура поверхности

M.M. Zhuravlev, A.V. Korolev, M.K. Reshetnikov

THERMOPHYSICAL HARDENING MODEL FOR THE SCANNING LASER BEAM

The article presents a thermophysical hardening model for the scanning laser beam, which considers not only the dimensional but also temporal structure of the thermal source.

Laser, heat source duration, heat source intensity, hardening, surface temperature

Одним из основных требований при лазерной закалке является равномерность глубины закаленной зоны и отсутствие дефектов на поверхности. Чтобы достичь таких результатов, необходимо использовать однородный поверхностный источник тепла [1]. Однако реальный лазерный пучок, как одномодовый, так и многомодовый, такого равномерного нагрева обеспечить не может. Необходимы устройства, преобразующие структуру лазерного пучка в однородное распределение. Ими могут быть оптико-механические сканирующие системы [2], не изменяющие модовый состав пучка, но многократно перемещающие его по зоне нагрева и создающие за время термического цикла закалки в среднем равномерный тепловой источник. В этом случае в тепловой задаче о закалке необходимо учитывать не только пространственную, но и временную структуру теплового источника.

Для расчета режимов лазерной закалки со сканированием следует перейти от трехмерной задачи нагрева металла ограниченным движущимся поверхностным источником тепла к эквивалентной одномерной тепловой задаче нагрева металла бесконечным поверхностным тепловым источником, дополнив ее параметрами, характеризующими режим сканирования [3].

Пусть лазерный пучок мощностью P_0 и площадью сечения $\sigma = \pi r_r^2$ (r_r – радиус лазерного пучка) сканирует с частотой f поверхность зоны нагрева площадью s , перемещающейся со скоростью v_r (рис. 1). Таким образом, на каждый участок зоны нагрева действует свой импульсно-периодический тепловой источник $I = I(t)$. Поэтому вместо рассмотрения нагрева зоны s сканирующим по ней лазерным пучком перейдем к эквивалентной тепловой задаче нагрева зоны s импульсно-периодическим лазерным пучком однородной интенсивности.

Для общей оценки возьмем средний, характерный вид зависимости $I = I(t)$ как последовательности прямоугольных импульсов, скважность которых определяется отношением площади всей нагреваемой при сканировании зоны к площади сечения лазерного пучка: $G = s / \sigma$ (рис. 2, а). Такой тепловой источник можно представить рядом Фурье [4]:

$$I(t) = \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \xi_k \cos(2\pi fkt) \right\} = \frac{q_0}{G} \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2G}{\pi k} \sin\left(\frac{\pi k}{G}\right) \right] \cos(2\pi fkt) \right\}. \quad (1)$$

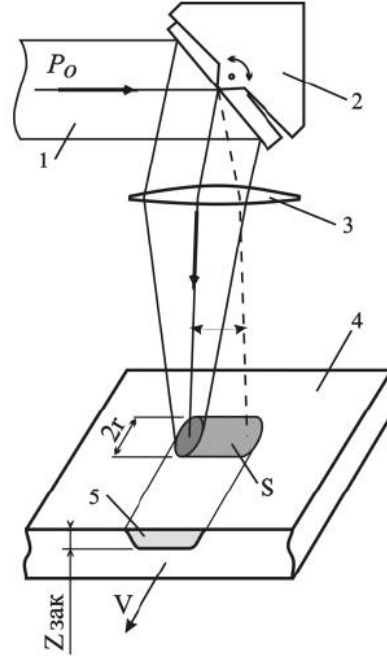


Рис. 1. Схема лазерной закалки: 1 – лазерный пучок; 2 – сканатор с колеблющимся зеркалом; 3 – фокусирующая линза; 4 – обрабатываемый материал. P_0 – мощность лазерного излучения; r – радиус лазерного пучка на поверхности материала; S – площадь зоны нагрева; $Z_{зак}$ – глубина зоны закалки; V – скорость перемещения обрабатываемого материала относительно зоны нагрева

В силу линейности уравнения теплопроводности поле температур в среде представим как

$$T(z, t) = T_0(z, t) + \sum_{k=1}^{\infty} T_k(z, t). \quad (2)$$

Первое слагаемое выражения (2) можно представить в виде [3]:

$$T_0(z, t) = \frac{\gamma I_0}{\lambda} \left(\sqrt{\frac{4at}{\pi}} - z \right), \quad (3)$$

где γ – доля тепла, распространяющегося в глубь металла (по оси z). Расчетные графики $\gamma = \gamma(R)$ для лазерных пучков различной формы приведены в [7, с. 444].

Для гармонического теплового источника установившееся решение записывается в виде температурной волны [4]

$$T_k(z, t) = \frac{I_0 \xi_k}{\lambda} \sqrt{\frac{a}{2\pi f k}} \exp\left(-z \sqrt{\frac{2\pi f k}{a}}\right) \cos\left(2\pi fkt - \frac{\pi}{4} - z \sqrt{\frac{2\pi f k}{a}}\right). \quad (4)$$

Ввиду высокой скорости движения сканирующего пучка по зоне обработки соответствующий параметр R_k велик, поэтому коэффициент γ_k , близкий к единице, в (4) опущен. Общий вид характерных температурных циклов на различной глубине от поверхности закаливаемого материала показан на рис. 2, б.

Для получения постоянной глубины закалки вдоль упрочняемой дорожки необходимо, чтобы частота сканирования f была не ниже некоторой критической частоты f_{cr} , для которой температурная волна (4) затухает практически полностью на границе зоны закалки $z = z_{ir}$. В качестве критерия затухания примем условие [3], что отношение амплитуды первой гармоники к величине температуры, создаваемой постоянной составляющей теплового источника, меньше малого числа ε :

$$\frac{\frac{2G}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{G}\right) \sqrt{\frac{a}{2\pi f_{cr}}} \exp\left(-z_{tr} \sqrt{\frac{\pi f_{cr}}{a}}\right)}{\frac{4at_{tr} - z_{tr}}{\pi}} < \varepsilon. \quad (5)$$

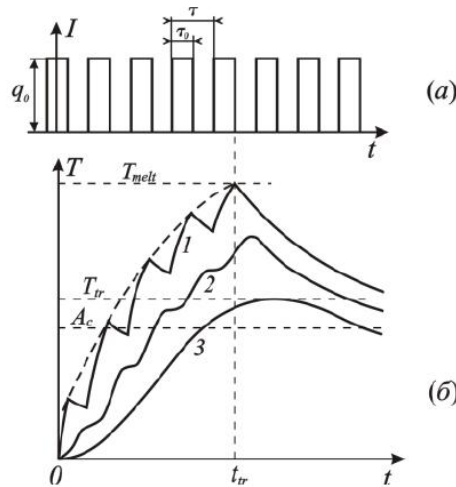


Рис. 2. а – временная структура эквивалентного теплового источника при сканировании лазерного пучка по зоне обработки (период следования импульсов $t = 1/f$, длительность импульса $t_0 = t/G$, пиковая интенсивность теплового источника $q_0 = AP_0 / \pi r_r^2$); б – температурные циклы при нагреве материала импульсно-периодическим поверхностным тепловым источником (1 – на поверхности материала $z = 0$, 2 – в середине зоны закалки, 3 – на нижней границе зоны закалки $z = z_{tr}$)

Для характерных режимов лазерной закалки серого перлитного чугуна и углеродистой стали рассчитанные по (5) зависимости критической (минимально допустимой) частоты сканирования f_{cr} от глубины закалки r_r приведены на рис. 3 [3]. Из рисунка видно, что сканаторы в лазерных технологических установках должны иметь рабочие частоты не ниже нескольких сотен герц.

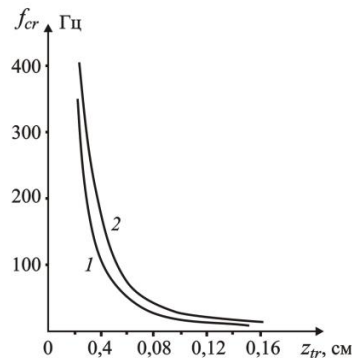


Рис. 3. Минимально допустимая частота сканирования f_{cr} при закалке железоуглеродистых сплавов на заданную глубину z_{tr} (1 – сталь, 2 – чугун, $G = 1$, $\varepsilon = 0,01$)

Температура на поверхности зоны обработки в среднем растет пропорционально \sqrt{t} (3) и модулируется в соответствии с суммой выражений (4), максимальная величина температуры поверхности определяется по формуле

$$T_{max}(t) = \frac{\gamma I_0}{\lambda} \sqrt{\frac{4at}{\pi}} + \frac{I_0}{\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2G}{\pi k} \sin\left(\frac{\pi k}{G}\right) \sqrt{\frac{a}{2\pi f k}}. \quad (6)$$

Режим закалки со сканированием должен обеспечивать необходимую глубину упрочненного слоя z_{tr} при отсутствии на поверхности локальных оплавленных участков, т. е. одновременно должны выполняться условия $T_{nl} = T_{max}(t_{tr})$ в (6) и $T_{tr} = T_0(z_{tr}, t_{tr})$ в (3). Чтобы можно было пользоваться выражением (3), частоту сканирования для заданной глубины закалки необходимо выбирать в соот-

ветствии с критерием (5) или рис. 3. Температуру аустенизации в условиях сдвига критических точек при скоростном нагреве можно определить с использованием выражения [5]:

$$T_{tr} = A_c + \left[\frac{3K^2 a_0^2}{4D} V_h \right]^{1/3}, \quad (7)$$

где $K \sim 110^\circ C$ – коэффициент (для стали), D – коэффициент диффузии углерода в аустените, a_0 – половина среднестатистического расстояния между зёрнами цементита в перлите, $V_h \sim T_{nl} / t_{tr}$ – средняя скорость нагрева. Учитывая эти условия, получим необходимое время действия теплового источника:

$$t_{tr} = \frac{\pi}{4a} \left[\frac{T_{nl}}{T_{nl} - T_{tr}} z_{tr} + \frac{T_{tr}}{\gamma(T_{nl} - T_r)} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2G}{\pi k} \sin\left(\frac{\pi k}{G}\right) \sqrt{\frac{a}{2\pi f k}} \right]^2 \quad (8)$$

и его интенсивность:

$$I_0 = \frac{\lambda(T_{nl} - T_r)}{\gamma z_{tr} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2G}{\pi k} \sin\left(\frac{\pi k}{G}\right) \sqrt{\frac{a}{2\pi f k}}}. \quad (9)$$

Одним из преимуществ термообработки со сканированием является возможность получения широких равномерно упрочненных дорожек при использовании обычных технологических лазеров непрерывного действия мощностью несколько киловатт. Получение закаленных дорожек той же глубины и ширины без поперечного сканирования при использовании теплового источника круглой формы требует применения гораздо более мощных лазеров.

Вышеприведенные формулы легко применить для импульсно-периодических лазеров [7]. Их излучение также можно представить как ряд Фурье. В случае, когда скважность импульсов велика, режим закалки сильно изменится по сравнению с режимом для непрерывного лазера. В этом случае использовать импульсно-периодический лазер для закалки без оплава нецелесообразно. В то же время процессы, связанные с плавлением и испарением (сварка, резка), должны идти более эффективно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев М.М. Влияние мощности лазерного излучения на изменение твердости поверхностного слоя деталей / М.М. Журавлев, О.П. Решетникова, А.Г. Мирошкин // Вестник СГТУ. 2012. № 68. С. 130-133.
2. Scanner for Industrial Laser Machines / V.I. Babitsky, M.E. Gerts, J.A. Ivanov, V.S. Mayorov, N.S. Makarov, A.N. Tresvyatsky // United States Patent No. 4,795,878 Jan. 3, 1989 (PCT Filed: Nov. 4, 1986).
3. Майоров В.С. Расчет параметров лазерной закалки со сканированием / В.С. Майоров // Физика и химия обработки материалов. 1989. № 1. С. 38-43.
4. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. М.: Наука, 1964. 488 с.
5. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
6. Кидин И.Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали / И.Н. Кидин. М.: Металлургиздат, 1957. 94 с.
7. Майоров В.С. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / В.С. Майоров; под ред. В.Я. Панченко. М.: Физматлит, 2009. 664 с.

Журавлев Михаил Михайлович – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail M. Zhuravlev – Postgraduate
Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Королев Альберт Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Albert V. Korolev – Dr. Sc., Professor
Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Решетников Михаил Константинович –
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail K. Reshetnikov –
Dr. Sc., Professor
Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 20.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 621.941

А.А. Игнатъев, В.В. Коновалов

ВЫБОР РЕЖИМА ОБРАБОТКИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА

Предлагается методика определения рационального режима точения по максимуму запаса устойчивости динамической системы (ДС) токарного станка на основе ее идентификации по автокорреляционным функциям виброакустических колебаний.

Точение, подача резца, динамическая система, передаточная функция, виброакустические колебания, запаса устойчивости

A.A. Ignatyev, V.V. Konovalov

CHOOSING THE TREATMENT MODE FOR THE BEARING RINGS BASED ON IDENTIFICATION OF THE DYNAMIC LATHE SYSTEM

The article presents a method developed to determine the rational turning mode by the maximum stability of the lathe dynamic system (DS) and based on identifying the autocorrelation vibro-acoustic oscillations functions of the system.

Turning, supply of the tool, dynamic system, transfer function, vibration and acoustic oscillations, stability margin

Для изготовления конкурентоспособной продукции к оборудованию подшипникового предприятия предъявляются высокие требования по качеству и надежности, которые зависят от характера эксплуатации, в частности, оптимизация работы станков по наиболее важным параметрам, например, выбору рационального режима обработки [1, 2].

Качество колец подшипников после операции точение в значительной степени зависит от таких факторов как режим обработки, параметры заготовок и динамические характеристики процесса точения. Для оценки динамических характеристик используется измерение уровня виброакустических колебаний (ВА) основных узлов формообразующей подсистемы, которые существенно влияют на отклонение от круглости, гранность и волнистость обработанной поверхности, а также в ряде случаев способствуют неблагоприятному изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя колец, что снижает надежность подшипников. Обработка результатов измерений ВА колебаний по разработанной методике и сопоставление их с данными о качестве поверхностного слоя колец позволяет выбрать целесообразную подачу инструмента, которая обеспечивает заданное качество поверхности и высокую производительность при предварительном точении [3, 4, 6].

Все рассмотренные ниже исследования по обеспечению повышению производительности обработки колец подшипников проводились в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» и ООО «НПП подшипник – СТОМА». Результаты связаны с определением рациональной скорости вращения заготовки на двухшпиндельном токарном станке ПАБ-350.

Испытания проводились при подаче резца $s=0,4$ мм/об (материал резца PSKNR16CA-12, пластина SNMG120412-PGSC110V), изменялась скорость вращения заготовки 200 об/мин, 400 об/мин, 500 об/мин, 700 об/мин. Осуществлялось окончательное точение поверхности качения наружных колец подшипника 42726 (по 3 кольца на каждой подаче) и выполнялось измерения волнистости дорожки качения.

Вибродатчик ДН-3М1 размещен на шпиндельном узле токарного станка ПАБ-350 (рис. 1).

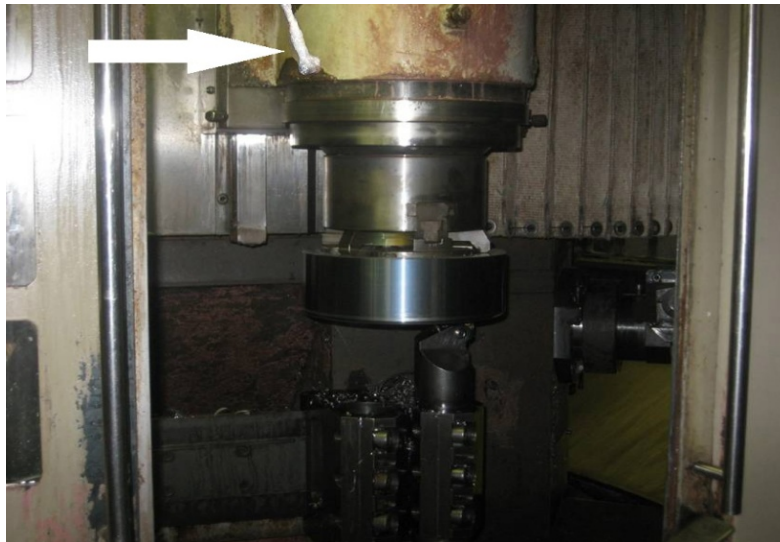
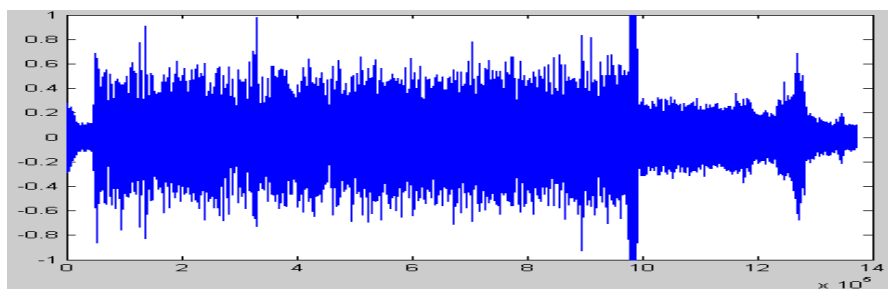
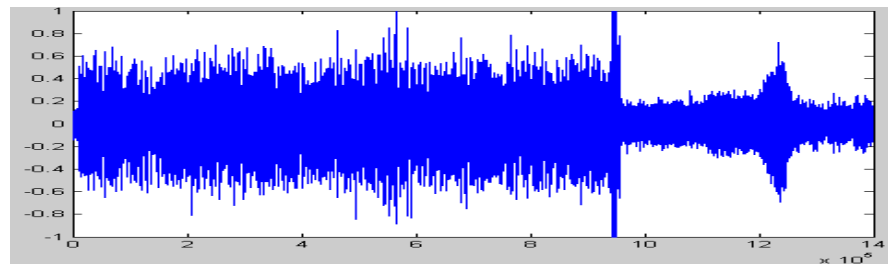


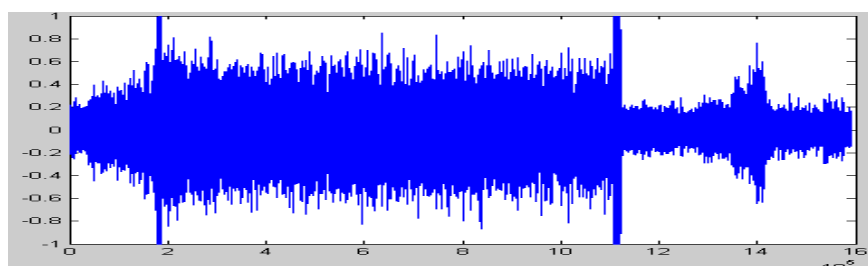
Рис. 1. Размещение вибродатчика на шпиндельном узле токарного стана ПАБ-350



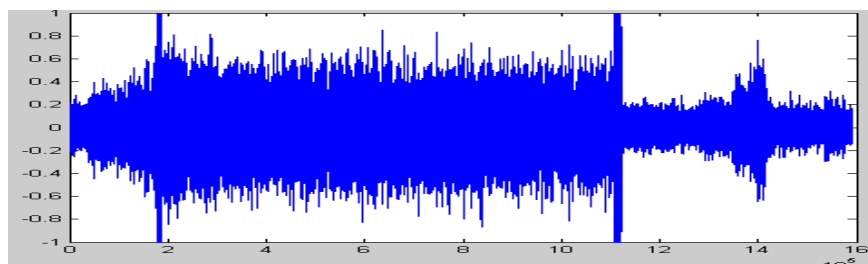
А кольцо 1



Б кольцо 2



В кольцо 3



Г кольцо 4

Рис. 2. График вибросигналов при обработке четырёх наружных колец подшипника 42726.01
 А – $n = 200$ об/мин; Б – $n = 400$ об/мин; В – $n = 500$ об/мин; Г – $n = 700$ об/мин

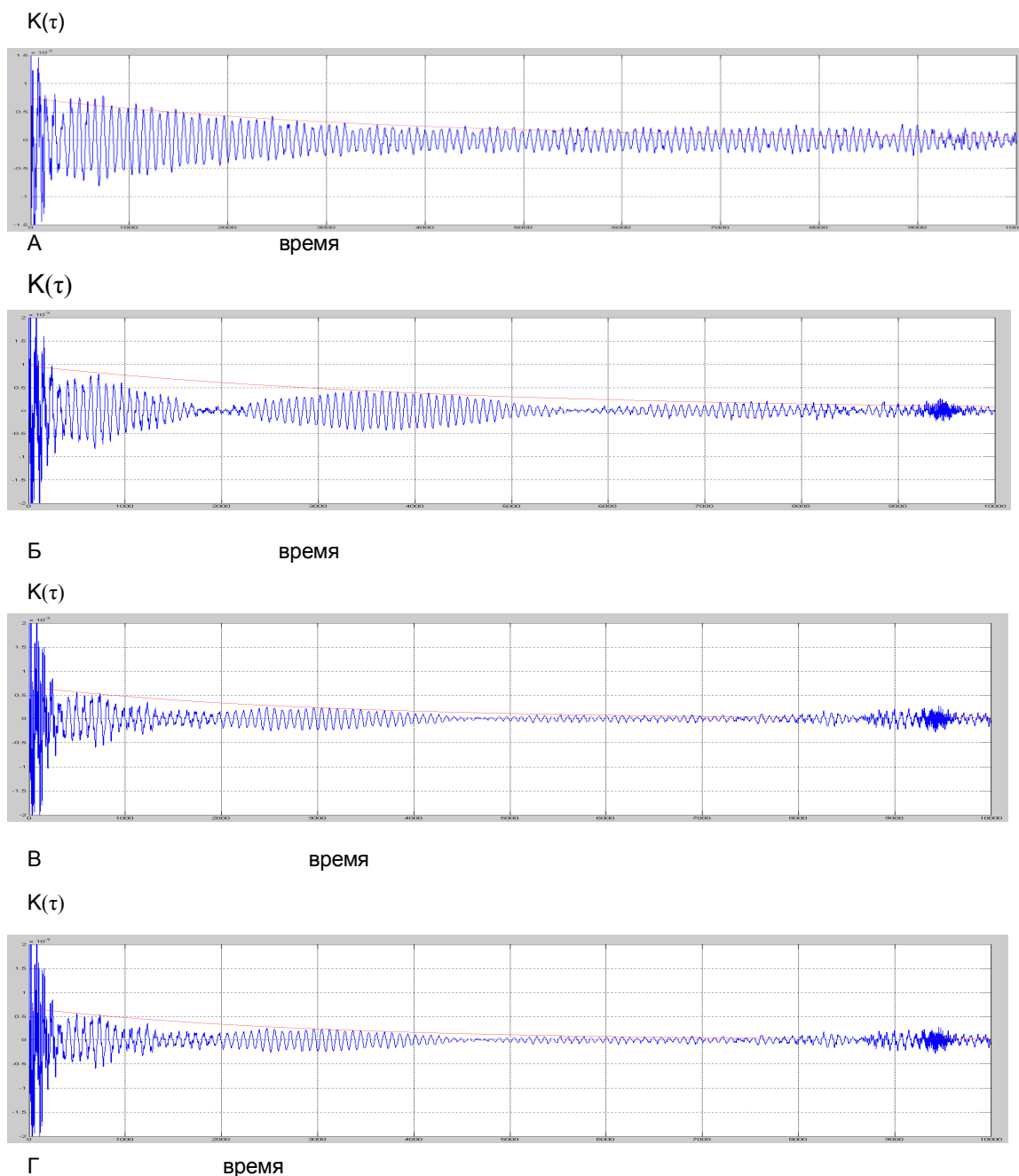


Рис. 3. Автокорреляционная функция для четырёх деталей
 А – n= 200 об/мин, Б – n= 400 об/мин, В – n= 500 об/мин, Г – n= 700 об/мин

В соответствии с разработанной методикой [6] по зарегистрированным ВА колебанием определяется автокорреляционная функция (АКФ) и выполняется её аппроксимация аналитическим выражением

$$K(\tau) = K(0) \cdot e^{-\alpha\tau} (1 + m \cos \Omega \tau) \cos \omega_0 \tau \quad (1)$$

где $K(0)$ – значение АКФ при $\tau = 0$, α – коэффициент затухания, m – коэффициент модуляции, Ω – частота модуляции, ω_0 – основная частота АКФ.

Далее вычисляется передаточная функция ДС станка $W_3(p)$ из формулы [7]

$$K(p) + K(-p) = W_3(p)W_3(-p), \quad (2)$$

где $K(p)$ – изображение по Лапласу АКФ.

По полученной передаточной функции вычисляется из неё амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) замкнутой ДС, а из неё определяются показатель колебательности $M_{max}[5]$ (рис. 4.). Значение $M_{max} = 1.1$ считается соответствующее максимуму запаса ДС. С увеличением M_{max} запас устойчивости снижается.

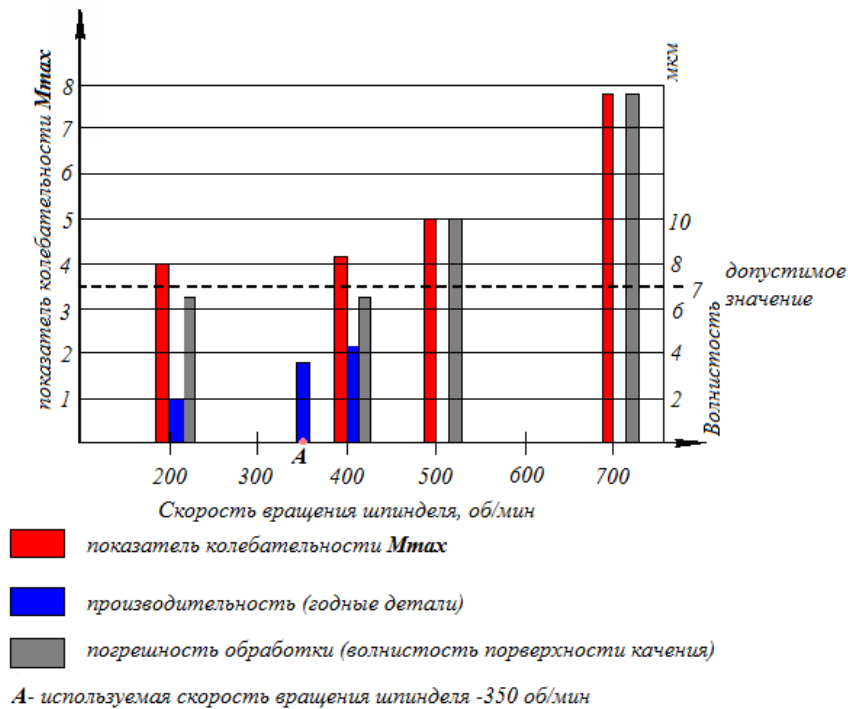


Рис. 4. Соотношение исследуемых показателей при обработке на токарном двухшпиндельном станке ПАБ-350

На рис. 4 представлены результаты обработки данных измерений при различных скоростях вращения шпинделя. Из диаграммы видно, что при скорости вращения $n=500$ об/мин значение волнистости превышает допустимые значения. В то же время показатель колебательности существенно вырос, что свидетельствует об снижении запаса устойчивости ДС.

Результаты измерения показывают, что целесообразной для станка ПАБ -350 является скорость вращения шпинделя 400 об/мин, при этом по сравнению с используемой ранее в производстве подачей 0,35 мм/об, производительность повышается на 15% с сохранением заданных параметров качества колец подшипника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. М: Машиностроение, 1967. 359 с.
2. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков: в 3 ч. Ч. 2 / Б.М. Бржозовский А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, В.В. Мартынов. Саратов: СГТУ, 1994. 156 с.
3. Коновалов В.В. Исследования вибрации на токарном двухшпиндельном станке ПАБ-350 / В.В. Коновалов, В.А. Добряков, М.В. Виноградов // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2010. С. 54-57.
4. Коновалов В.В. Экспериментальные исследования точности обработки на токарных станках ТП-3503 и ПАБ-350 / В.В. Коновалов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2011. С. 140-142.
5. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: Наука, 1975. 768 с.
6. Коновалов В.В. Идентификация динамической системы по автокорреляционной функции виброакустических колебаний / В.В. Коновалов, А.А. Игнатъев, С.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. 2011. № 4 (60). С. 130-133.
7. Складяевич А.Н. Операторные методы в статической динамике автоматических систем / А.Н. Складяевич. М.: Наука, 1956. 460 с.

Игнатъев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksander A. Ignatyev – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Automation, Control, Mechatronics
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Коновалов Валерий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Valery V. Konovalov – Ph. D., Associate Professor
Department of Engineering Technology
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 10.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 621.9.757

Т.И. Перелыгина

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

Приведены результаты исследования особенностей токарной обработки нежестких валов. Проведен анализ факторов влияющих на образование погрешностей и приведены результаты теоретического анализа сил действующих в технологической системе и их влияние на точность диаметрального размера при чистой обработке. Получено уравнение позволяющее определить погрешности от упругих деформаций.

Токарная обработка, нежесткий вал, минимизация погрешностей

T.I. PereLygina

THEORETICAL ANALYSIS OF THE ERRORS TURNING NON-RIGID SHAFT

In the text it is said about the results of research of peculiarities of turning processing of nonrigid shafts. It is made the analysis of factors influencing the formation of errors and there are results of theoretical analysis of forces acting in the technological system and their influence on accuracy of the diametrical size at fair processing. It is received the equation allowing to define errors from elastic deformations.

Turning treatment, non-rigid shaft, minimization of errors

Анализ публикаций и производственные исследования показали, что изготовление точных нежестких валов в подавляющем большинстве случаев производится либо в центрах, без использования люнетов, либо с использованием их и других устройств в различных комбинациях (подвижный люнет, неподвижный, их совместное применение, использование 2, 3 неподвижных люнетов с подвижным и др.), либо в трехкулачковом патроне с поджатием задним центром с люнетом. Поэтому расчетная схема для вывода уравнения изогнутой оси вала содержит в себе статическую неопределенность, которая раскрывается последовательно определением нагрузок на рассматриваемый участок с уравнением 3 моментов. Таким образом, получается общее уравнение изгибающих моментов, а значит и уравнение изогнутой оси. В настоящей работе рассматриваются деформации вала (приведенного), его опор в вертикальной плоскости XOZ под действием тангенциальной составляющей силы резания P_z . Несколько ослабленное внимание к тангенциальным деформациям упругой системы токарного станка якобы из-за незначительности влияния их на точность обработки приводит к неправильным выводам. По расчетам в общей погрешности обработки вала доля от тангенциальной составляющей силы резания достигает до 30 %, а при некотором соотношении жесткостей суппортной группы, и более. Погрешности вала, образующиеся за счет суппортной группы из-за представления жесткости в виде эллипса, рассматриваются как комбинация деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Температурные удлинения резца, размерный износ его суммируются со своим знаком и учитываются в общей формуле для расчета фактического диаметра вала. Появляющаяся с течением времени радиальная сила (при использовании проходного упорного резца с главным углом в плане $\varphi=90^\circ$ радиальная сила резания $P_y=0$) и связанные с ней деформации систем «передняя бабка – вал – задняя бабка»,

суппортной группы также имеют свое отражение в общей формуле для расчета ожидаемой погрешности вала. Входящие величины в расчетную зависимость предлагается рассматривать как детерминированные, но возможен конкретный расчет от действия случайных величин (распределение припуска, твердости материала на периферии заготовки и др.) в заданном поперечном сечении вала.

В работе рассмотрена общая схема действующих сил при обработке вала: шпиндельная группа, группа передней опоры шпинделя, группа крепления детали в патроне (рис. 1), в центрах (рис. 2), подвижном, неподвижном люнетах, задней бабке. Процесс нагружения рассматривается в статике. При исследовании механизма образования погрешностей выбраны самые используемые схемы установки при чистовой и получистовой токарной обработке нежестких валов.

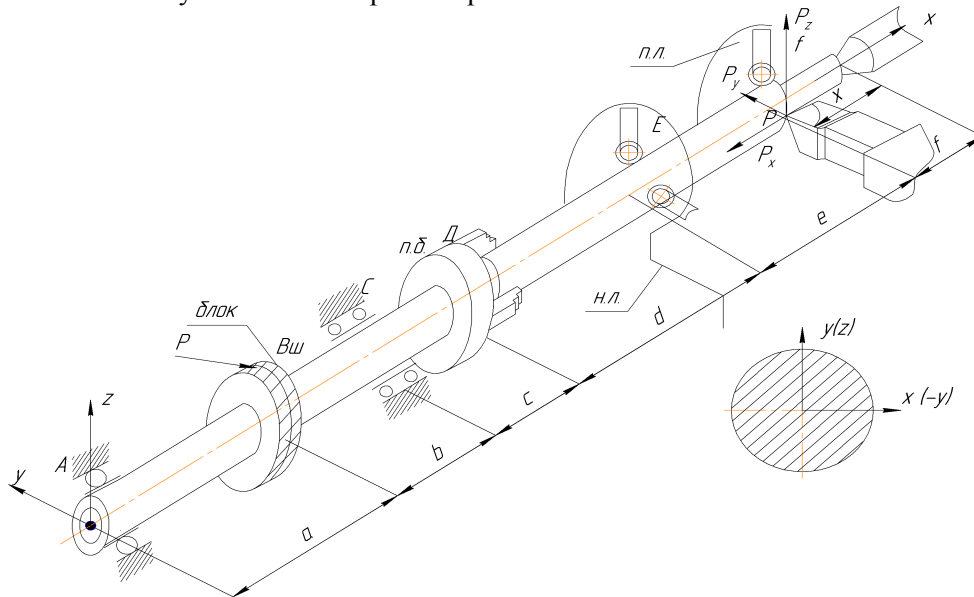


Рис. 1. Пространственная схема установки вала в патроне, подвижном и неподвижном люнетах с поджатием задней бабки

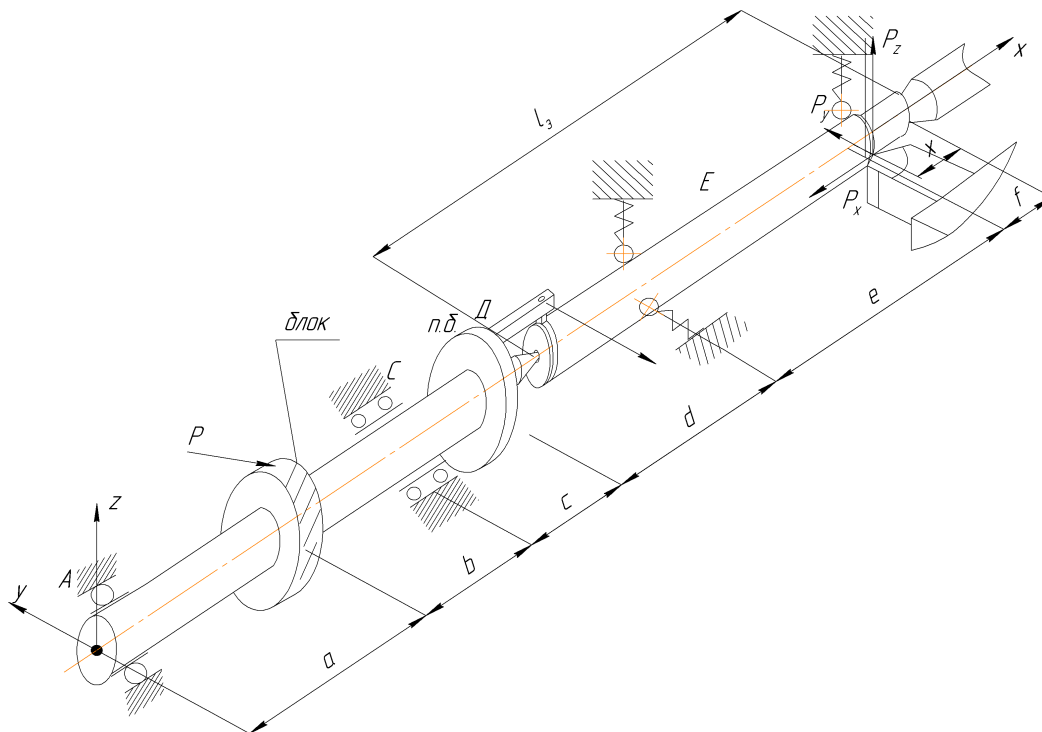


Рис. 2. Пространственная схема установки вала в центрах, подвижном и неподвижном люнетах

С целью выявления влияния всех факторов влияющих на точность обработки нежестких валов были рассмотрены схемы обработки с нагрузками, действующими на вал со стороны шпиндельной группы и суппорта.

После проведенных расчетов и анализа приведенных схем были разработаны расчетные схемы вала при закреплении в патроне и центрах под действием всех сил, действующих на вал, как в вертикальной, так и горизонтальных плоскостях. Было выявлено, что при закреплении вала в патроне и центрах, на вал со стороны шпиндельной группы будет действовать силы, вызывающие динамическую несбалансированность шпинделя с патроном (или планшайбой с поводком) и при определенных числах оборотов возникнут дополнительные деформации по оси X. Поэтому необходимо при обработке точных валов проводить тщательную динамическую балансировку шпинделя или передавать вращение через ротор-шпиндель. При обработки в центрах вместо крутящий момент от шпинделя к заготовке может передаваться: а) односторонним хомутиком – тогда в вертикальной и горизонтальной плоскостях будет оказывать влияние осевая сила P_x , которая периодически складываясь или вычитаясь с вертикальной силой резания P_z или горизонтальной P_y , будет изменять стрелу прогиба в расчетной схеме, а значит и формы вала в поперечном сечении.

Для устранения влияния силы P_x на форму вала в поперечном сечении (силы для передачи крутящего момента хомутиком), которая при вращении P_x искажает форму вала в поперечном сечении, необходимо передавать $M_{кр}$ двухповодковыми хомутиками или рифлеными центрами.

Основной причиной возникновения погрешностей обработки валов в продольном и поперечном сечениях является радиальная составляющая силы резания (P_y). При чистовом точении предпочтительно использовать резцы с $\phi=90^\circ$, которые в значительной степени работают по принципу свободного резания, при этом $P_y \approx 0$, т.е. в этом случае деформации всей системы в направлении оси y , (радиальном) оказывают наибольшее влияние.

Обычно для резцов, рекомендуемых для процесса точения $P_z=(0,3\div 0,4)Pz$; но при $\phi = 90^\circ$; с $P_y \approx 0$, точность значительно увеличивается.

Таким образом, на основании вышеизложенного имеем более упрощенную схему при обработке в патроне, центрах, неподвижных, подвижных люнетах, с поджатием задним центром, поэтому рассматриваем схему, как балку, лежащую на двух опорах с использованием уравнения изогнутой оси для участков балки.

Решая последовательно (рис. 3), по участкам (d, e, f) уравнение (1) и используя граничные условия деформаций опор, определяются произвольные постоянные (их две для каждого пролета) строится уравнение стрелы прогиба $z = f(x)$ и проводится анализ профиля детали в продольном сечении вала.

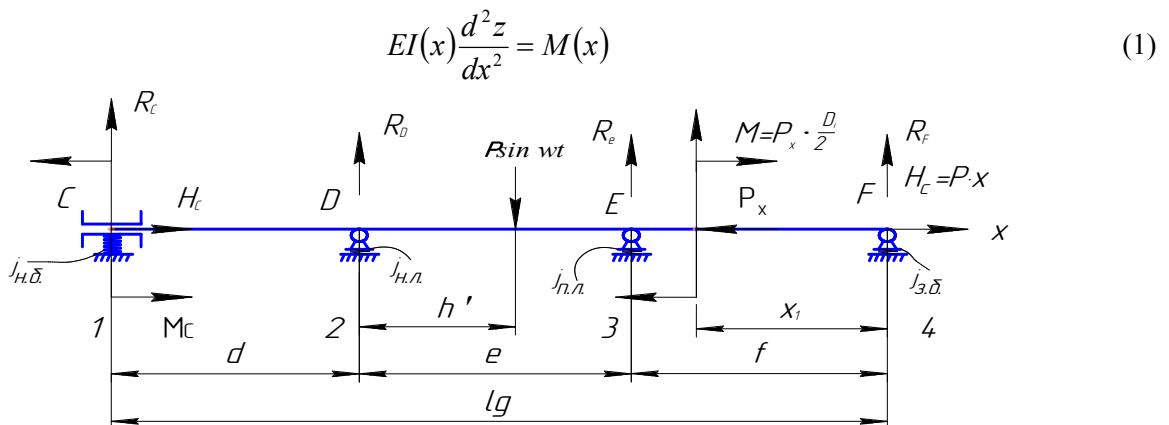


Рис. 3. Упрощенная схема обработки вала в патроне, неподвижном, подвижном люнетах, заднем центре

При установке вала в центрах с люнетами (рис. 4) как для вертикальной плоскости ZOX , так и для горизонтальной плоскости YOX проводится решение уравнения при различных действиях силы P_z и P_y с упругой системой (вал – задняя бабка – передняя бабка – люнеты).

$$EI(x)\frac{d^2z}{dx^2} = M(x), \quad EI(x)\frac{d^2y}{dx^2} = M(x) \tag{2}$$

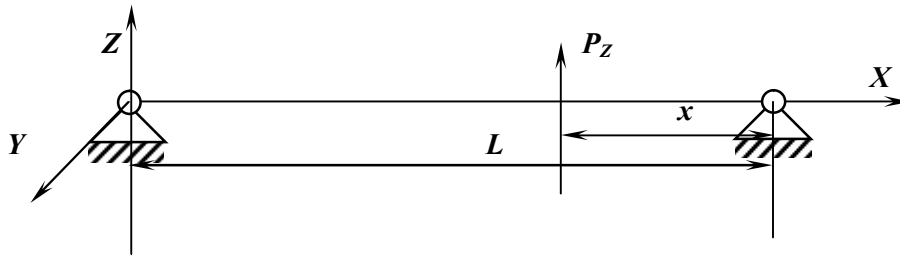


Рис. 4. Расчетная схема упругой деформации вала

Упругое смещение при этом в вертикальной плоскости

$$Z = \frac{P_z \cdot x}{l \cdot j_{з.б.}} - \frac{P_z \cdot x}{l \cdot j_{н.б.}} + \frac{P_{zt} \cdot l^2 \cdot x}{6EI} - \frac{P_z \cdot l^3 \cdot x}{12EI} - \frac{P_z x^3}{6EI} + \frac{P_z x^4}{12EI} + \frac{P_z}{j_{н.б.}}; \quad (3)$$

где z – упругое смещение валов в вертикальной плоскости; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; E – модуль упругости, Н/мм²; I – момент инерции, мм⁴; l – длина вала, мм; $j_{з.б.}$, $j_{н.б.}$ – жесткости соответственно задней и передней бабок, Н/мм; x – координата приложения силы, мм.

Упругое смещение при этом в горизонтальной плоскости

$$Y = \left(\frac{P_z \cdot x}{l \cdot j_{з.б.}} - \frac{P_z \cdot x}{l \cdot j_{н.б.}} + \frac{P_{zt} \cdot l^2 \cdot x}{6EI} - \frac{P_z \cdot l^3 \cdot x}{12EI} - \frac{P_z x^3}{6EI} + \frac{P_z x^4}{12EI} + \frac{P_z}{j_{н.б.}} \right) \times 0,15; \quad (4)$$

Упругая подсистема суппортной группы представлена в виде окружностей с жесткостями $C_1=C_{\min}=C_2=C_{\max}=C$.

С целью повышения точности обработки, необходим учет возможных перемещений (упругих, температурных и др.) узла, несущего инструмент (Упругая подсистема суппортной группы представлена в виде окружностей с жесткостями $C_1=C_{\min}=C_2=C_{\max}=C$).

При таком представлении упругой системы суппорта при действии только силы P_z или P_y будет перемещение вершины резца O_1 как по оси Y , т.е. нормально к обрабатываемой поверхности, так и по оси Z (рис. 5).

Аналогично для P_y (рис. 6).

Анализ показывает:

а) при определенном взаимном расположении силы резания и осей жесткости, возможна потеря устойчивости процесса резания (апериодическая неустойчивость «клев резца в заготовку»). (рис.).

б) если даже удастся схемой резания ($\varphi = 90^\circ$) значительно ликвидировать P_y , которая решающим образом влияет на величину прогиба балки в радиальном направлении и тем самым определяют (до 80%) точность обработки (смотри ранее предложение по ликвидации P_y), то здесь даже при $P_y=0$, величина силы P_z (тангенциальная составляющая) оказывает значительное влияние на точность D_i (смотри рис. 7), т.е. для повышения точности обработки недостаточно, чтобы $P_y=0$, необходимо так расположить эллипс жесткости, чтобы при действии P_z $\Delta y \approx 0$; (т.е. суппортную группу необходимо так «подтянуть» чтобы получить «желаемое» расположение «эллипса жесткости». Это может быть выполнено регулировкой затяжек. Схема позволяет, изменяя направления полуосей эллипса жесткости, получать устойчивую обработку (без вибраций, без подрывов резца) точных валов.

Ожидаемую величину перемещения Δy при действии только P_z рассчитывают, зная C_2, C_1 . Величинами собственной упругой деформации тела можно пренебречь.

Необходимо с целью повышения точности обработки проводить оценку продольной устойчивости вала. Если масса заготовки и угловая скорость ее большие, то в жесткость заготовки «добавляется» жесткость от гидроскопического эффекта. Нужна оценка, когда ее необходимо учитывать, когда нет, при разных соотношениях массы m_3 и угловой скорости ω_3 .

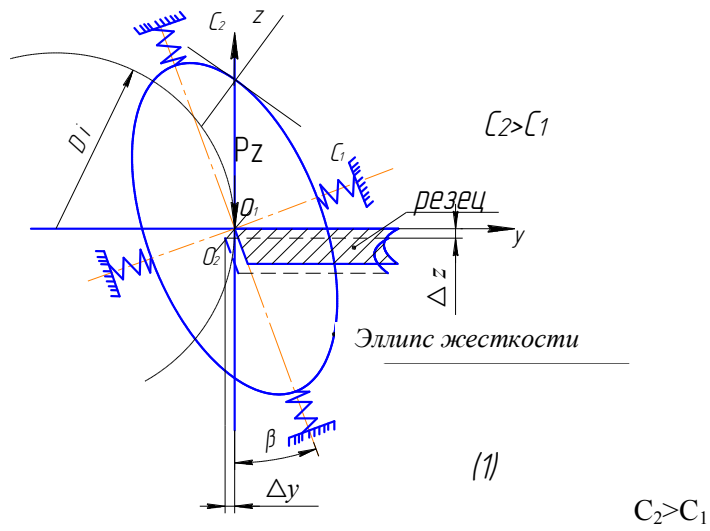


Рис. 5. Смещение суппортной группы под действием P_z

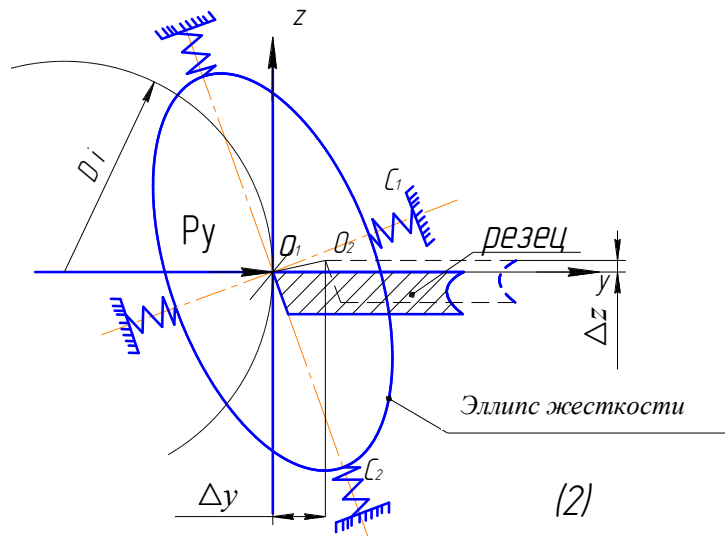


Рис. 6. Смещение суппортной группы под действием P_y

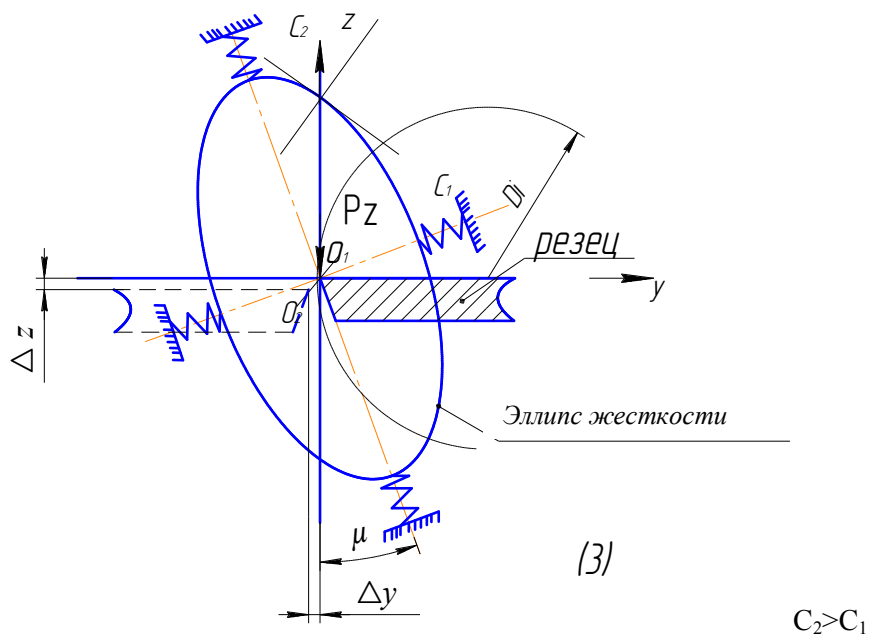


Рис. 7. Смещение суппортной группы при $P_y=0$

Рассмотрим случай: (ZOX) вертикальная плоскость.

Первоначально необходимо оценить продольную устойчивость вала на критическую силу (по Эйлеру) (смотри рис. 8). Для этого случая:

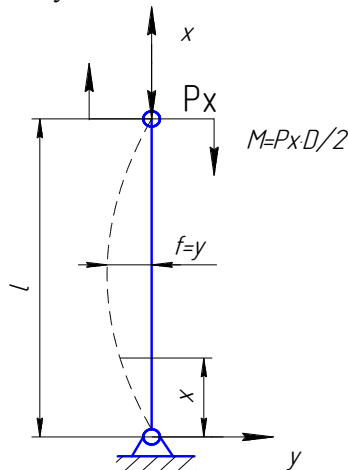


Рис. 8. Схема расчета на продольную устойчивость

$$EIy'' = P_x \cdot \frac{D}{2} - P_x \cdot y \tag{5}$$

$$y'' + \frac{P_x}{EI} \cdot y = \frac{P_x \cdot D}{2EI} \tag{6}$$

Полное решение этого уравнения будет

$$y = C_1 \cdot \sin kx + C_2 \cdot \cos kx + \bar{y} \tag{7}$$

где, \bar{y} – частное решение

$$\bar{y} = -\frac{M \cdot l \cdot x}{6EI} \left[1 - \frac{x^2}{l^2} \right]; \quad \begin{matrix} y = 0 & \text{при} & x = 0 \\ y = 0 & \text{при} & x = l \end{matrix} \tag{8}$$

$$0 = C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 1 - \frac{M \cdot l^2}{6EI}; \quad C_2 = \frac{M \cdot l^2}{6EI};$$

$$0 = C_1 \cdot \sin kl + C_2 \cdot \cos kl + 0; \quad C_1 = -\frac{M \cdot l^2}{6EI} \cdot \frac{\cos kl}{\sin kl};$$

$$y = -\frac{M \cdot l^2}{6EI} \cdot \frac{\cos kl}{\sin kl} \cdot \sin kx + \frac{M \cdot l^2}{6EI} \cos kx - \frac{M \cdot l \cdot x}{6EI} \left[1 - \frac{x^2}{l^2} \right];$$

При $\frac{l}{2}$ прогиб максимальный:

$$y_{\max} = \frac{P_{\delta} \cdot l \cdot \frac{l}{2} \cdot 64}{2 \cdot 6E \cdot \pi \cdot D^3} \left[1 - \frac{l^2}{4l^2} \right] \leq [y] \tag{9}$$

$$y_{\max} = \frac{P_{\delta} \cdot l^2 \cdot 64}{24E \cdot \pi \cdot D^3} \cdot \frac{3}{4} \leq [y]$$

Тогда допустимая осевая сила

$$P_{oc} = \frac{96\pi \cdot E \cdot D^3 \cdot [y]}{l^2 \cdot 192} = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot E \cdot [y]}{l^2}$$

Если годографы жесткости $\dot{J}_{m.б.}, \dot{J}_{з.б.}$ напоминают эллипс жесткости упругой системы суппорта, то положение оси вала на опорах (у передней и задней бабках) будет определяться не только деформацией (перемещением) в направлении оси z, но и горизонтальной плоскости, т.е. даже при отсутствии радиальной составляющей силы резания перемещения оси вала будет в направлении оси y

(на или от вершины резца), т.к. на практике при $\varphi = 90^\circ$; $P_y = 0$; а погрешности обработки вала существуют (овальность, конусность и др.).

Используя π -теорему о возможности математического моделирования процессов с использованием безразмерных критериев получено выражение, которое позволяет построить семейство кривых (рис. 9) в координатах $Z/l, x/l$, которые позволяют определить форму вала в продольном направлении в зависимости от режимов резания (v, s, t), соотношения жесткостей передней, задней бабок, изгибной жесткости вала.

$$\text{Полагая: } \Pi_1 = \frac{P_z l^2}{EI}; \Pi_2 = \frac{P_z}{l \cdot j_{n.б.}}; \Pi_3 = \frac{P_z}{l \cdot j_{з.б.}}; \Pi_4 = \frac{x}{l};$$

Подставив эти значения в уравнение (3) и его преобразуя

$$\begin{aligned} \frac{Z}{l} &= \frac{R_z \cdot x}{l \cdot j_{з.б.} \cdot l} - \frac{P_z \cdot x}{l \cdot j_{n.б.} \cdot l} + \frac{P_z \cdot l^2 \cdot x}{6EI \cdot l} - \frac{P_z \cdot l^3 \cdot x}{12EI \cdot l} - \frac{P_z x^3}{6EI \cdot l} + \frac{P_z x^4}{12EI \cdot l} + \frac{P_z}{j_{n.б.} \cdot l} \\ \frac{Z}{l} &= -\frac{P_z \cdot l^2 \cdot x^3}{6EI \cdot l} + \frac{P_z \cdot l^2 \cdot x^4}{12EI \cdot l} + \Pi_3 \cdot \Pi_4 + \Pi_2 \cdot \Pi_4 + \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4}{6} - \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4 \cdot l}{12} + \Pi_2 = \\ &= -\frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4^3}{6} + \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4^3 \cdot x}{12} + \Pi_3 \cdot \Pi_4 - \Pi_2 \cdot \Pi_4 + \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4}{6} - \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4 \cdot l}{12} + \Pi_2. \\ \frac{Z}{l} &= \Pi_1 \cdot \Pi_4^3 \left(\frac{x}{12} - \frac{1}{6} \right) + \Pi_4 (\Pi_3 - \Pi_2) + \Pi_1 \cdot \Pi_4 \left(\frac{1}{6} - \frac{l}{12} \right) + \Pi_2 \\ \frac{Z}{l} &= \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4^3}{12} (x - 2) + \Pi_4 (\Pi_3 - \Pi_2) + \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4^3}{12} (2 - l) + \Pi_2 \\ \frac{Z}{l} &= \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4^3 (x - 2)}{12} + \Pi_4 + \Pi_2 \cdot \left[\Pi_3 - \Pi_2 - \frac{\Pi_1}{12} (l - 2) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Полагая, что:

$$\Delta D = \frac{4Z^2}{D} \quad (11)$$

где D – ожидаемый диаметр, мм.

Тогда $D_\phi = D + \Delta D$; можно построить профиль вала через $\Delta x = 1$ мм;

($x = 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6$; и т.д. мм);

$$\text{Преобразовывая и обозначая } \Pi_1 = \frac{P_z l^2}{EI}; \Pi_2 = \frac{P_z}{l \cdot j_{n.б.}}; \Pi_3 = \frac{P_z}{l \cdot j_{з.б.}}; \Pi_4 = \frac{x}{l};$$

$$\begin{aligned} \frac{Z}{l} &= \Pi_1 \cdot \Pi_4^3 \left(\frac{x}{12} - \frac{1}{6} \right) + \Pi_4 (\Pi_3 - \Pi_2) + \Pi_1 \Pi_4 \left(\frac{1}{6} - \frac{l}{12} \right) + \Pi_2; \\ \frac{Z}{l} &= \frac{\Pi_1 \cdot \Pi_4^3}{12} (x - 2) + (\Pi_3 - \Pi_2) \Pi_4 + \frac{\Pi_1 \Pi_4}{12} (2 - l) + \Pi_2; \\ \frac{Z}{l} &= \frac{\Pi_1 (x - 2)}{12} \cdot \Pi_4^3 + \left[\Pi_3 - \Pi_2 - \frac{\Pi_1}{12} (l - 2) \right] \Pi_4 + \Pi_2; \end{aligned} \quad (12)$$

Построив $\frac{Z}{l} = f(\Pi_4)$ при различном сочетании $\Pi_1, \Pi_2, -\Pi_3$

Имеем:

Задавшись погрешностью обработки ΔD , определяют величину Z ; отнеся ее к l , определив Π_2, Π_3, Π_1 и при интересующей нас части вала определяем, подходит ли станок для получения такой точности, т.е. каково должно быть соотношение Π_2 и Π_3 .

Зона А показывает невозможность обработки вала на данном станке (даже жесткого) точнее, чем это определяет соотношение Π_2 и Π_3 ; и при обработке с точностью ниже линии Π_2 не дает ожидаемого результата. Представленное семейство кривых отвечает на вопрос, что необходимо сде-

лать, чтобы ожидаемая погрешность обработки была в заданных пределах, каковы должны быть режимы обработки, каковы должны быть соотношения жесткостей передней, задней бабок и детали.

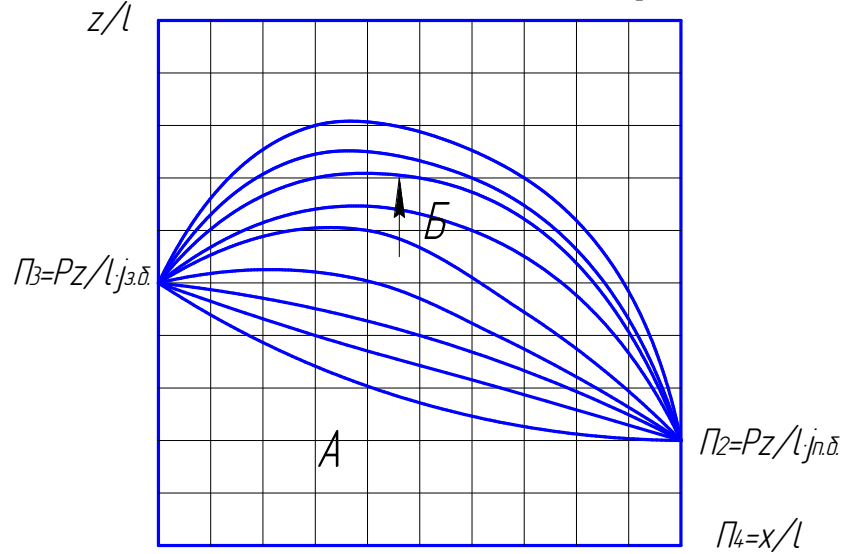


Рис. 9. Семейство кривых

Задавшись погрешностью обработки ΔD , определяют величину Z ; отнеся ее к l , определив Π_2, Π_3, Π_1 и при интересующей нас части вала определяем, подходит ли станок для получения такой точности, т.е. каково должно быть соотношение Π_2 и Π_3 .

Зона А показывает невозможность обработки вала на данном станке (даже жесткого) точнее, чем это определяет соотношение Π_2 и Π_3 ; и при обработке с точностью ниже линии Π_2 не дает ожидаемого результата. Представленное семейство кривых отвечает на вопрос, что необходимо сделать, чтобы ожидаемая погрешность обработки была в заданных пределах, каковы должны быть режимы обработки, каковы должны быть соотношения жесткостей передней, задней бабок и детали.

По приведенным формулам можно рассчитать ожидаемые погрешности обработки валов в продольном и поперечном сечениях на всех этапах протекания технологического процесс с применением широко распространенной математической программы MathCAD. Применение такого программного продукта позволяет обычному пользователю ПК решать прикладные задачи любой сложности. При этом пользователь видит алгоритм расчета программы, его конечный результат и может оперативно принимать решения. По приведенным формулам в данной работе с использованием MathCAD можно рассчитать ожидаемую точность валов на определенном участке и на всей длине, а также построить графики ожидаемой погрешности диаметрального размера вала с изменением различных параметров режимов резания. Такие расчеты позволяют резко сократить время на технологическое проектирование и в целом на технологическую подготовку производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожуховская Л.Я. Особенности проектирования токарных операций обработки на станка с ЧПУ / Л.Я. Кожуховская, Т.И. Перельгина // Вестник СГТУ. 2007. № 2 (24). Вып. 1.
2. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. М.: Машиностроение, 1967. 349 с.
3. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения / В.С. Корсаков. М.: Машиностроение, 1965. 489 с.

Перельгина Татьяна Ивановна – ассистент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatyana I. PereLygina – Assistant Department of Technology and Automation of Engineering Industry» Balakovo Institute of Techniques, Technology and Management (branch) of the Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

УДК 531.73.

Г.М. Садчикова, Т.С. Сущенко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ОТ РАСХОДА СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

В представленной работе показаны результаты экспериментальных исследований зависимости качества токарной обработки заготовки от расхода СОЖ. В измеряемых пределах определены оптимальные значения расхода. Дальнейшее увеличение расхода СОЖ не приводит к улучшению качества поверхности.

Качество обработки, расход СОЖ, оптимальное значение расхода, ГЭППР, экспериментальные исследования

G.M. Sadchikova, T.S. Sushchenko

EXPERIMENTAL STUDY OF A WORKPIECE SURFACE QUALITY AS DEPENDENT ON THE FLOW OF COOLANT DURING LATHE WORK

The article presents the results of experimental research relating the dependence of a workpiece machining quality on the consumption of the coolant. Optimal values of the coolant flow have been determined. Further increase of the coolant flow does not result in improvement of the surface quality.

The quality of treatment, coolant flow rate, the optimal value of the flow, ГЭППР, experimental studies

Повышение эффективности механической обработки на металлорежущих станках является одной из наиболее важных задач машиностроения. Понятие эффективность включает обеспечение максимальной производительности обработки и заданного уровня качества обрабатываемой поверхности. Жидкие смазочно-охлаждающие технологические средства, которыми являются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) повышают эффективность обработки, так как применяются для смазки поверхностей детали и инструмента, их охлаждения, облегчения процесса деформирования металла, своевременного удаления из зоны резания стружки и продуктов износа инструмента, а также для защиты изделий и оборудования от коррозии при обработке. Вследствие этого СОЖ увеличивают стойкость режущего инструмента, улучшают качество изделий, снижают силы резания и потребляемую мощность.

Следует отметить, что современные СОЖ имеют высокую стоимость и представляют собой сложный многокомпонентный продукт, включающий в себя значительное количество химически и биологически активных добавок. Применение СОЖ ухудшает экологическую ситуацию как на производстве, так и вне его. Поэтому актуальной задачей является снижение расхода смазочно-охлаждающей жидкости при обработке. Целью представленных экспериментальных исследований является выявление возможности снижения расхода СОЖ при сохранении показателей эффективности обработки на высоком уровне и определения на базе экспериментальных исследований модели зависимости показателей качества обработки от расхода СОЖ.

На кафедре «Технология и автоматизация машиностроения» БИТТиУ автором проведены следующие экспериментальные исследования:

На токарном станке обработано 15 заготовок одинаковой длины (250 мм) и диаметра (15 мм) при одинаковых режимах резания. При этом изменялся и измерялся расход СОЖ в пяти точках в пределах от $0,6 \cdot 10^{-3}$ м³/с до $5,2 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Для повышения достоверности представляемой информации проведено по три параллельных опыта. Расход смазочно-охлаждающей жидкости измерялся гидроэлектрическим поляризационным преобразователем расхода [1, 2].

Параметры профиля полученных заготовок измерялись профилометром, результаты обработаны в программе Excel и представлены в виде распределения отклонения диаметрального размера от номинального значения по длине заготовки.

Получены следующие результаты измерений: на рис. 1-5 показаны профилограммы поверхности после обработки при различных расходах смазочно-охлаждающей жидкости для трех параллельных опытов.

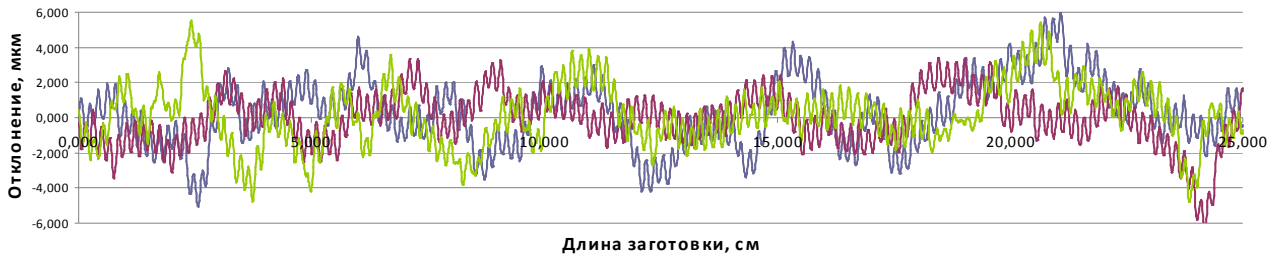


Рис. 1. Расход СОЖ равен $0,6 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} / \text{с}$

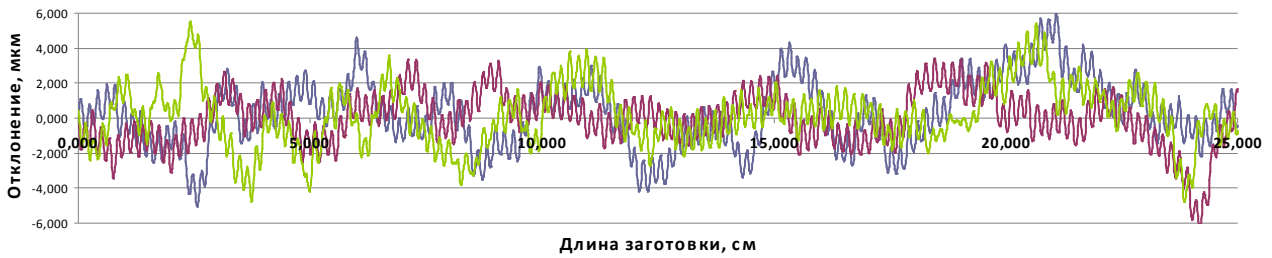


Рис. 2. Расход СОЖ равен $1,3 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} / \text{с}$

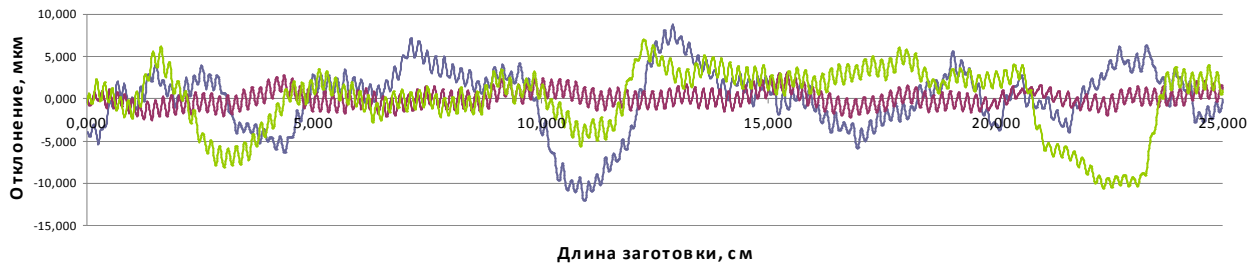


Рис. 3. Расход СОЖ равен $2,4 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} / \text{с}$

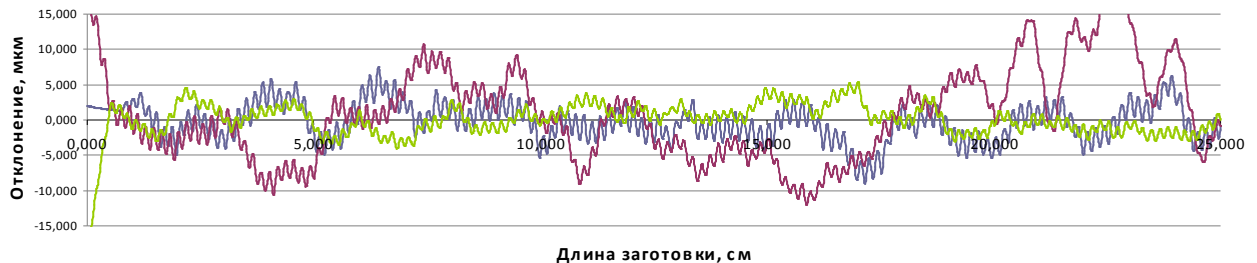


Рис. 4. Расход СОЖ равен $3,8 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} / \text{с}$

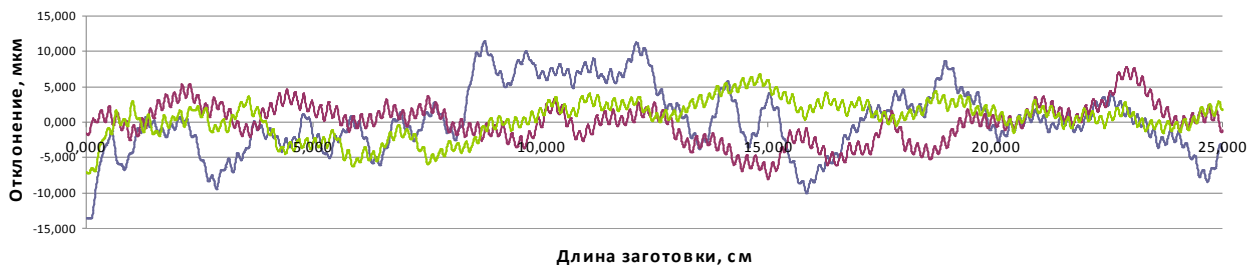


Рис. 5. Расход СОЖ равен $5,2 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} / \text{с}$

После обработки результатов экспериментальных исследований получены зависимости параметров Ra и дисперсии отклонения размера поверхности обрабатываемой детали от номинального размера от расхода, представленные на рис. 6, 7.

На рис. 6, 7 видны точки минимального значения Ra и дисперсии при расходе $2,4 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} / \text{с}$. Дальнейшее увеличение расхода СОЖ не приводит в измеряемых пределах к улучшению указанных параметров. Следовательно, исходя из представленных результатов экспериментальных исследований нецелесообразно дальнейшее увеличение расхода СОЖ.

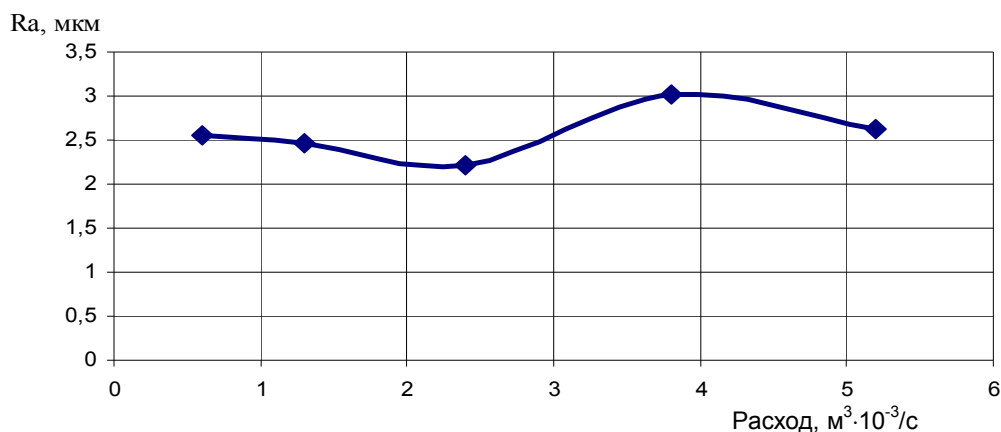


Рис. 6. Зависимость параметра Ra от расхода СОЖ

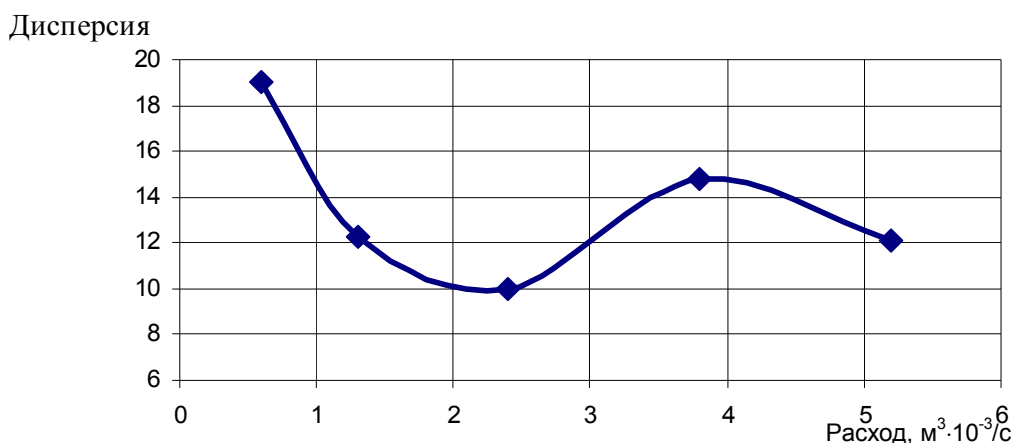


Рис. 7. Зависимость параметра дисперсии максимального отклонения диаметрального размера по длине детали от расхода СОЖ

Полученные результаты требуют дальнейших экспериментальных исследований с целью получения математической модели зависимости качества обработки от расхода СОЖ.

Результаты расширенных экспериментальных исследований могут быть использованы для определения оптимального значения расхода СОЖ, а так же для построения системы управления расходом СОЖ на металлорежущих станках [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2130590 Российская Федерация, МПК G 01 A 1/56. Устройство для измерения расхода жидких сред / Власов В.В., Садчикова Г.М.; заявитель и правообладатель Балаковский институт техники, технологии и управления. № 97101775/28; заявл. 04.02.97, опубл. 20. 05. 2000, Бюл. №14. 2 с.
2. Денисов А.А. Электрогидро- и электрогазодинамические устройства автоматики / А.А. Денисов, В.С. Нагорный. Л.: Машиностроение, 1979. 288 с.
3. Садчикова Г.М. Синтез системы автоматического управления с гидроэлектрическим поляризационным преобразователем для автоматизации контроля и регулировки расхода технологических жидкостей / Г.М. Садчикова, В.В. Власов // Проектирование и техническая диагностика автоматизированных комплексов: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 1998.

Садчикова Галина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Galina M. Sadchikova – Ph. D., Associate Professor
Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering Industry
Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.311.25

А.И. Баженов, Е.В. Михеева

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ГПУ И АБСОРБЦИОННЫХ ЧИЛЛЕРОВ В ПЕРИОДЫ СНИЖЕНИЯ ХОЛОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Авторами предлагается технология и методические подходы решения проблемы негативного влияния на электрическую мощность ГПУ высокой температуры воздуха в периоды работы газопоршневой ТЭЦ в режиме тригенерации.

Газопоршневая ТЭЦ, электрическая мощность, абсорбционный чиллер, температура воздуха

A.I. Bagenov, E.V. Mikheeva

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF THE TANDEM OPERATION BETWEEN THE GAS-PISTON UNIT AND ABSORPTION CHILLERS WHEN REDUCING THE DEMAND FOR THE COOLING OUTPUT

The authors suggest a technology and methods for solving the problem with the negative effect of high-temperature air on the electric power output of a gas-piston unit when the CHP station operates in the tri-generation mode.

Gas-piston unit, electric power output, absorption chiller, air temperature

Возрастающая роль газопоршневых установок (ГПУ) в электроснабжении предприятий и жилищно-коммунального сектора в значительной мере определяется высоким значением КПД по производству электроэнергии, позволяющим окупать достаточно значительные первичные капитальные вложения. Дополнительная эффективность ГПУ достигается за счет выработки, наряду с электрической энергией, тепла и холода.

Энергетическая эффективность ГПУ достаточно сильно зависит от температуры воздуха, поступающего в установку. С ростом температуры воздуха происходит снижение КПД, максимальной мощности и экономической эффективности ГПУ в целом. Вместе с тем, в случае применения абсорбционных холодильных машин (АБХМ), работающих за счёт утилизации сбрасываемой газопоршневыми агрегатами теплоты, для снабжения холодом систем кондиционирования, разуплотнённый, как правило, график холодопотребления, приводит к значительному недоиспользованию АБХМ и соответствующей низкой окупаемости капиталоемкого оборудования абсорбционных чиллеров.

В связи с вышеизложенным, предлагается более полно использовать установленную мощность АБХМ и увеличить производство холода на базе утилизируемой отходящей теплоты ГПУ, а дополнительно полученный холод направить на улучшение характеристик ГПУ. Данная задача может быть решена при использовании установки комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода [1], схема которой представлена на рис. 1.

В период неполной загрузки абсорбционного чиллера (15) охлажденная вода направляется в воздухо-водяной теплообменник (4) для предварительного охлаждения воздуха, забираемого из помещения машинного зала (20). В результате снижаются потери электрической мощности установки за счет понижения температуры газообразного рабочего тела теплового двигателя перед его сжатием.

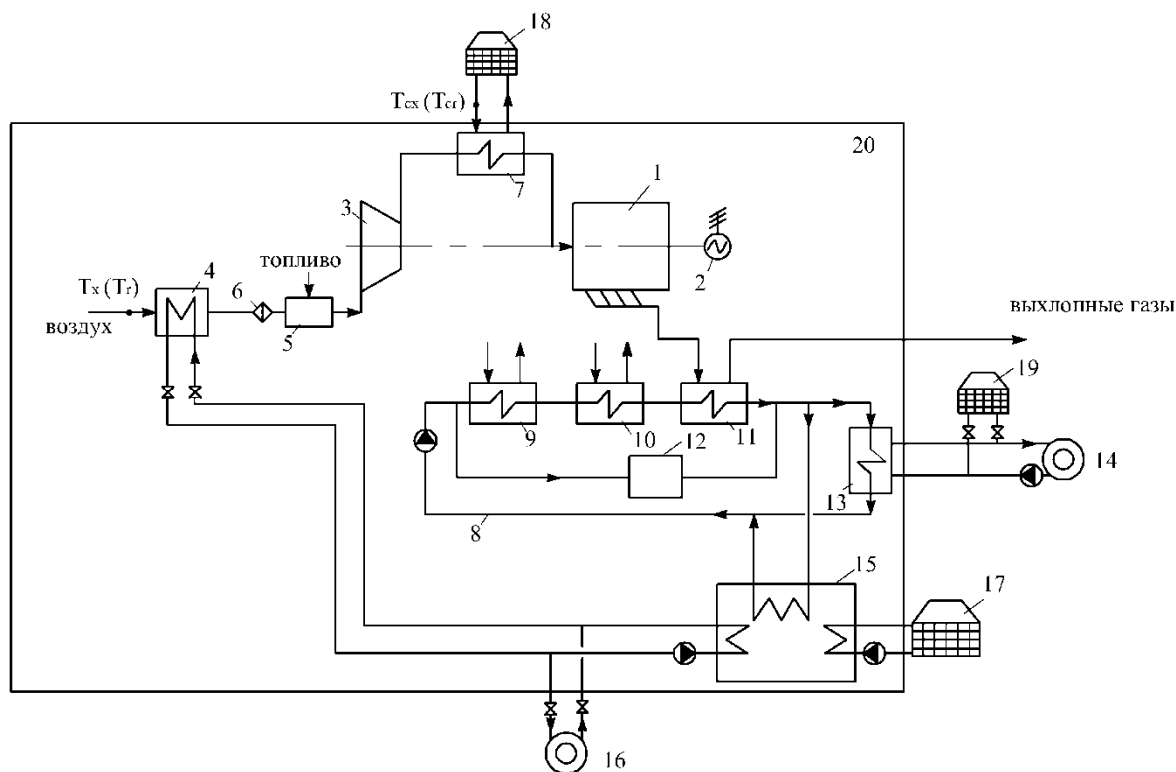


Рис. 1. Схема ГПУ при комбинированном производстве электроэнергии, тепла и холода
 1 – газопоршневой агрегат; 2 – электрогенератор; 3 – компрессор; 4 – охладитель воздуха;
 5 – камера смешения; 6 – воздушный фильтр; 7 – охладитель надувочного воздуха; 8 – контур охлаждения ДВС;
 9 – теплообменник рубашки охлаждения ДВС; 10 – охладитель масла; 11 – утилизатор теплоты выхлопных газов;
 12 – котельный агрегат; 13 – сетевой подогреватель; 14 – потребители тепла; 15 – АБХМ; 16 – потребители холода;
 17 – градирня АБХМ; 18, 19 – аппараты воздушного охлаждения; 20 – помещение ГПУ

Влияние температуры воздуха на работу газопоршневой установки (рис. 2) оценено на примере ГПУ с турбонаддувом на основе известных расчётных зависимостей [2].

При этом выходная электрическая мощность, приведенная к стандартным условиям, определяется по формуле:

$$N_x = \alpha \cdot N_r \quad (1)$$

где N_r – мощность при стандартных исходных условиях, кВт; α – коэффициент приведения мощности, определяемый по формуле

$$\alpha = k - 0.7(1 - k) \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (2)$$

где η_m – механический КПД; k – коэффициент индикаторной мощности, определяемой по формуле

$$k = \left(\frac{p_x - \alpha \cdot \varphi_x \cdot p_{sx}}{p_r - \alpha \cdot \varphi_r \cdot p_{sr}} \right)^m \cdot \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^n \cdot \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^s \quad (3)$$

где p_x – полное атмосферное давление при местных условиях, кПа; p_r – стандартное исходное полное атмосферное давление, кПа; φ_x – относительная влажность воздуха машинного зала при местных условиях; φ_r – стандартная исходная относительная влажность воздуха машинного зала; p_{sx} – давление насыщения водяного пара при местных условиях, кПа; p_{sr} – давление насыщения водяного пара при стандартных условиях, кПа; T_r – стандартная исходная абсолютная температура воздуха машинного зала, К; T_x – абсолютная температура воздуха машинного зала при местных условиях, К; T_{cr} – стандартная исходная абсолютная температура охлаждающей жидкости на входе в охладитель наддувочного воз-

духа, К; T_{cx} – температура охлаждающей жидкости на входе в охладитель наддувочного воздуха при местных условиях, К; m , n , s – эмпирические показатели степени.

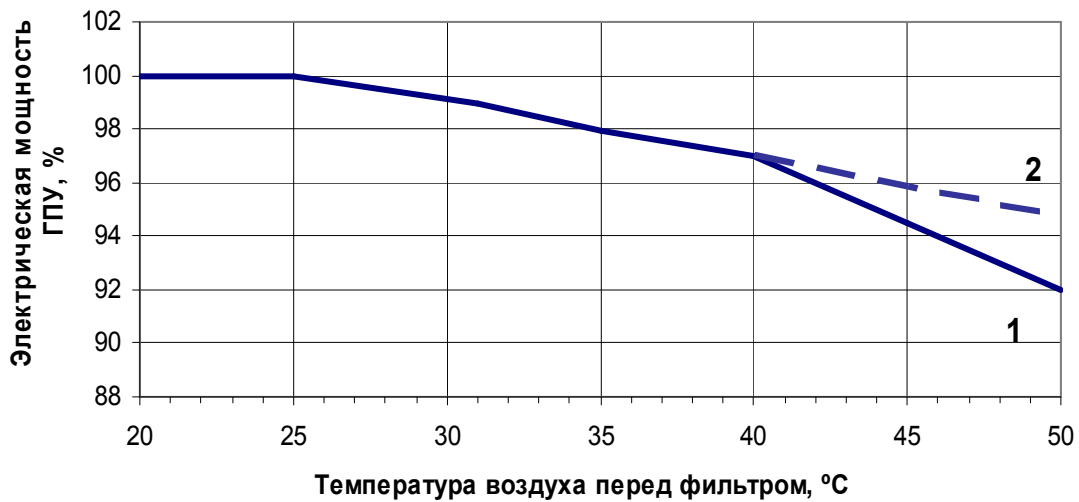


Рис. 2. График зависимости относительной электрической мощности ГПУ от температуры воздуха перед фильтром: 1 – температура жидкости в охладителе наддувочного воздуха превышает номинальное значение $T_{cx} > T_{cr}$; 2 – температура жидкости в охладителе наддувочного воздуха имеет номинальное значении $T_{cx} = T_{cr}$.

Как видно из рис. 2, снижение полезной мощности происходит при увеличении температуры воздухом выше 25 °C. В интервале температур 25÷40°C мощность снижается линейно (примерно 0,2% на 1 °C). При температуре около 40 °C (частный случай для конкретного набора вспомогательного оборудования) происходит излом графика и в интервале температур 40÷50 °C скорость снижения мощности составляет уже около 0,5% на градус (линия 1). Это объясняется невозможностью поддержания температуры жидкости в охладителе наддувочного воздуха в пределах номинального значения из-за высоких значений температуры окружающего воздуха.

Для экономической оценки эффективности схемы, представленной на рис. 1, обеспечивающей снижение негативного влияния повышенной температуры воздуха на мощность ГПУ за счёт охлаждения воздуха до номинальной температуры с использованием свободной холодильной мощности АБХМ (15) рассмотрена трёхцелевая ТЭЦ с двумя ГПУ электрической мощностью по 2056 кВт (технические характеристики представлены в табл. 1) и тремя холодильными машинами АБХМ-В-10 холодильной мощностью по 660 кВт.

Таблица 1

Технические данные ГПУ с турбонаддувом

Параметры ГПУ на номинальном режиме		
Мощность	кВт	2056
Скорость вращения	об/мин	1500
Среднее эффективное давление	бар	18,6
Температура выхлопных газов	°C	424
Количество воздуха для сгорания топлива	кг/ч	10402
Температура приточного воздуха мин./оптим.	°C	20/25
Мощность теплоотдачи рубашки охлаждения	кВт	978
Мощность теплоотдачи охладителя наддувочного воздуха	кВт	172
Мощность теплоотдачи выхлопа	кВт	1005
Электрический КПД	%	43,7
Коэффициент использования теплоты топлива для отпуска тепловой энергии	%	43,3
Общий коэффициент использования теплоты топлива	%	87,0
Расход жидкости в рубашке охлаждения мин./макс.	м³/ч	60/85
Расход охлаждающей жидкости в охладителе наддувочного воздуха	м³/ч	40
Температура жидкости в рубашке охлаждения вход/выход макс.	°C	80/93
Температура жидкости в охладителе наддувочного воздуха	°C	38/41,8

Кроме того, в соответствии с положениями [3], был проведен расчет годового расхода холода системой кондиционирования воздуха для климатических условий Саратова, и определена недоиспользованная энергия холода, которая может быть направлена для охлаждения воздуха перед ГПУ. Ее величина составляет примерно 35% от максимально возможной выработки чиллеров АБХМ в пе-

риод работы систем кондиционирования воздуха. Эффективность использования этого холода для охлаждения воздуха перед ГПУ в зависимости от величины снижения температуры воздуха Δt_0 до стандартной температуры (25 °C) показан на рис. 3.

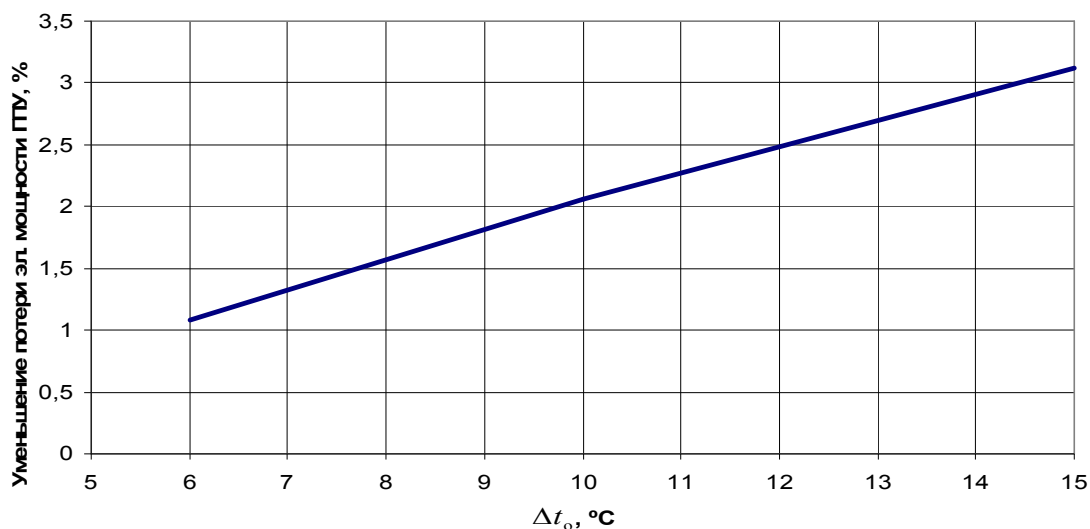


Рис. 3. Уменьшение потерь электрической мощности ГПУ за счет охлаждения воздуха перед ГПУ в зависимости от Δt_0 .

При этом относительная холодильная мощность АБХМ $\frac{Q_x}{N_{ГТУ}}$, затраченная на охлаждение воздуха перед ГПУ, равная отношению части холодильной мощности АБХМ Q_x , затрачиваемой на охлаждение воздуха, подаваемого в ГПУ, к установленной электрической мощности ГПУ $N_{ГТУ}$, в зависимости от Δt_0 показана на рис. 4.

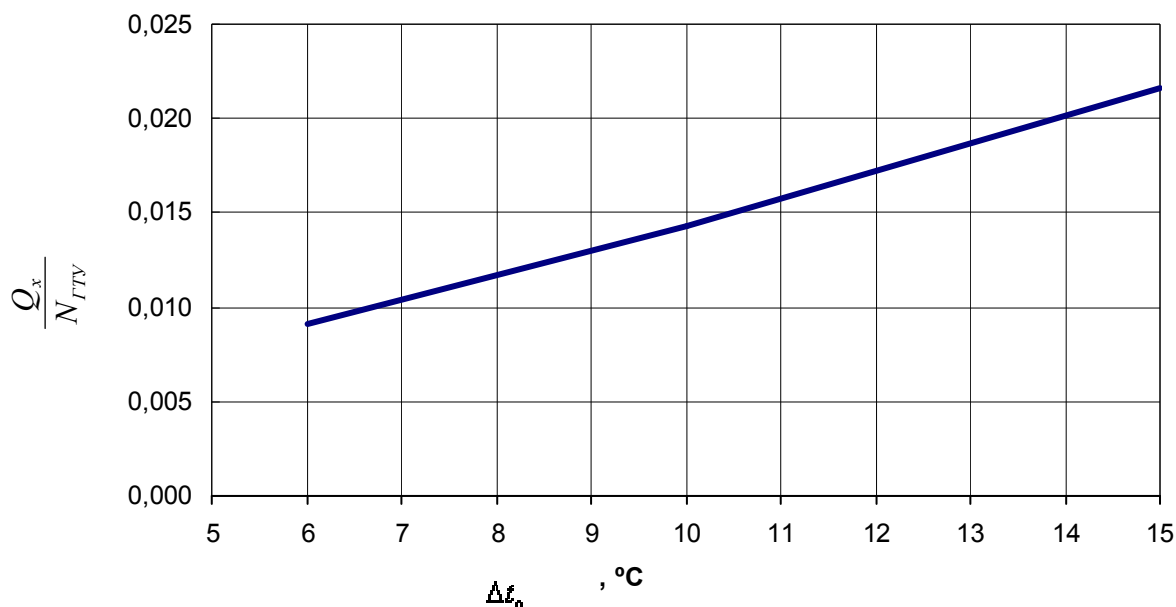


Рис. 4. График зависимости относительной холодильной мощности, затраченной на охлаждение воздуха перед ГПУ от Δt_0 .

Количество дополнительной электрической энергии, полученной от ГПУ в результате охлаждения воздуха перед газопоршневой установкой, оценивается по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_2 = \tau \cdot \left[\Delta N - N_g - \frac{Q_x}{Q_{x.ном}} (N_{н1} - N_{н2} - N_{зр}) \right] \quad (4)$$

где τ – продолжительность работы системы кондиционирования воздуха в год, для г. Саратова $\tau = 1986$ часов, ΔN – сокращение потерь электрической мощности ГПУ, полученной в результате охлаждения воздуха перед ГПУ, кВт, N_g – мощность двигателей общеобменной вентиляции газопоршневой ТЭЦ, расходуемая на преодоление сопротивления охладителя воздуха, кВт; $Q_{x.ном}$ – номинальная холодильная мощности АБХМ, кВт; $N_{н1}$ – мощность двигателя циркуляционного насоса, расходуемая на преодоление гидравлического сопротивления системы транспорта и потребления холода, кВт; $N_{н2}$ – мощность двигателей циркуляционного насоса, расходуемая на преодоление гидравлического сопротивления контура градирни АБХМ, кВт; $N_{сп}$ – мощность вентилятора градирни АБХМ, кВт.

Оценка эффективности охлаждения воздуха перед ГПУ проводилась по интегральному эффекту (\mathcal{E}_u) и сроку окупаемости [4].

$$\mathcal{E}_u = \sum_{t=0}^T (D_{ct} - Z_t) \alpha_t - Z_k \quad (5)$$

где D_{ct} – результаты, достигаемые в t-й год; Z_t – ежегодные затраты в t-й год; Z_k – капитальные затраты; T – расчетный период; α_t – коэффициент дисконтирования:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (6)$$

где E – норма дисконта, принята 0,2; t – шаг расчета.

Размер денежных средств, которые пришлось бы затратить на покупку такого же количества электроэнергии у генерирующей компании составит:

$$D_z = C_s \cdot \mathcal{E}_z, \quad (7)$$

где C_s – стоимость 1 кВт·ч электрической энергии, руб./кВт·ч.

Капитальные затраты на проведение мероприятия:

$$Z_k = F_{BO} \cdot C_{BO} + N_{вент} \cdot C_{вент} + Z_m + C_n \quad (8)$$

где F_{BO} – площадь поверхности теплообмена воздухоохладителя; C_{BO} – удельная стоимость воздухоохладителя; $N_{вент}$ – номинальная мощность вентилятора; $C_{вент}$ – удельная стоимость вентилятора; Z_m – затраты на монтаж оборудования; C_n – стоимость проектных работ.

На рис. 5 приведены результаты расчетов интегрального эффекта \mathcal{E}_u , отнесенного на установленную мощность ГПУ. При выполнении расчетов были приняты следующие исходные данные: $C_{BO} = 0,59$ тыс. руб./м², $C_{вент} = 4$ тыс. руб./кВт, затраты на монтаж оборудования Z_m приняты в размере 30% от стоимости устанавливаемого оборудования, стоимость проектных работ C_n принята в размере 15% от капитальных затрат, стоимость электрической энергии $C_s = 2,5 \dots 5,5$ руб./кВт·ч.

Денежные средства, вложенные в мероприятия по снижению потерь электрической мощности ГПУ, окупятся в течение двух месяцев эксплуатации установленного оборудования в зависимости от стоимости электрической энергии C_s и величины снижения температуры воздуха Δt_0 до стандартной температуры.

Выводы

На электрическую мощность ГПУ значительное влияние оказывает температура воздуха, подаваемая в установку. При увеличении температуры воздуха выше 25 °С происходит снижение электрической мощности ГПУ. В интервале температур 25÷40°С мощность снижается на 0,2% на 1 °С, в интервале температур 40÷50 °С скорость снижения мощности составляет уже около 0,5% на 1 °С.

Использование по предложенной схеме части холодильной мощности АБХМ, недоиспользованной в системе кондиционирования потребителей, для охлаждения воздуха перед подачей в ГПУ на 6-15 °С позволяет снизить потери электрической мощности ГПУ на 1-3%.

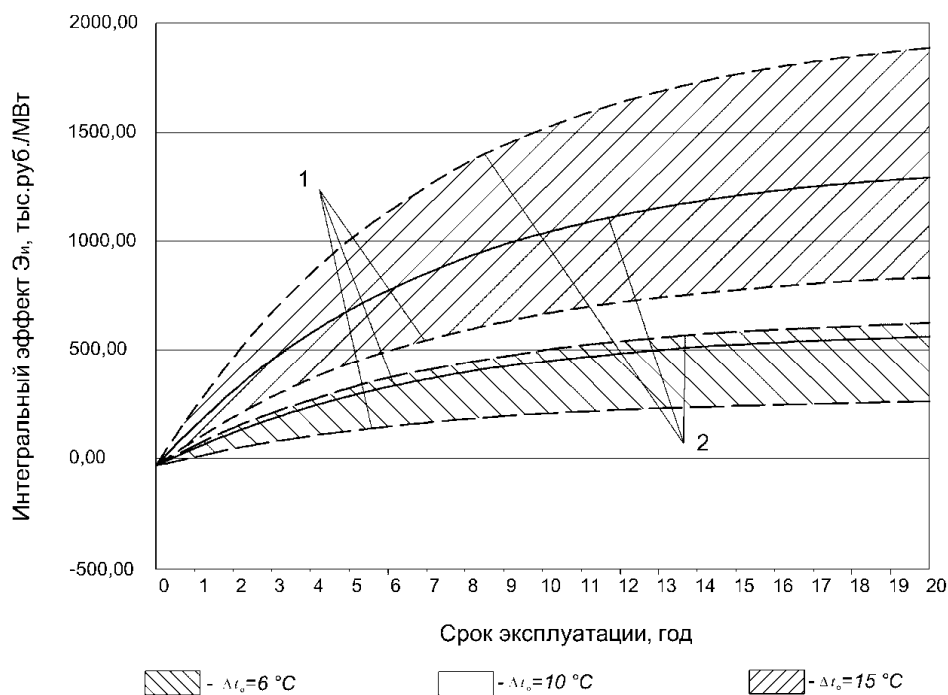


Рис. 5. Интегральный эффект Σ_i в зависимости от Δt_0 и стоимости электрической энергии:
 1 – $C_e = 2,5$ руб./кВт·ч, 2 – $C_e = 5,5$ руб./кВт·ч

Затраты на реализацию мероприятий по сокращению потерь электрической мощности ГПУ окупаются в течение первых двух месяцев эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ комбинированного производства электроэнергии, тепла и холода: пат. 2399781 Рос. Федерация.: МПК F02G5/00, F25B29/00, F25B15/00 / А.И. Баженов, Е.В. Михеева, Ю.М. Хлебалин; опубл. 20.10.2010.
2. ГОСТ Р 52517-2005 (ИСО 3046-1:2002) Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Ч. 1. Стандартные исходные условия, объявление мощности, расхода топлива и смазочного масла. Методы испытания. Введ. 01.01.2007. М.: Стандартиформ, 2006. 35 с.
3. Пособие 9.91 к СНиП 2.04.05-91. Годовой расход энергии системами отопления, вентиляции и кондиционирования. М.: Промстройпроект, 1993.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. (Вторая редакция, исправленная и дополненная). Утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477.

Баженов Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksander I. Bagenov – Ph. D., Associate Professor
 Department of Heat Power Engineering
 Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Михеева Елена Владимировна – аспирант Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena V. Mikheeva – Postgraduate
 Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 17.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

Д.А. Костин, А.В. Разуваев, Э.Ф. Кочеваткина

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВУЗА

В статье рассматривается проект применения газопоршневой малой ТЭЦ для обеспечения здания ВУЗа электрической и тепловой энергией. Рассматриваемая методика является адаптацией общей методики расчета экономической эффективности для малой энергетики, что позволяет инвесторам еще на стадии бизнес-предложения оценить экономическую эффективность предлагаемого проекта, а также принять решение о целесообразности вложения в него средств.

Энергетика, малая ТЭЦ, экономическая эффективность, срок окупаемости, чистый дисконтированный доход

D.A. Kostin, A.V. Razuvaev, E.F. Kochevatkina

ECONOMIC EFFICIENCY OF A COGENERATION PLANT FOR A UNIVERSITY

This article discusses the project related with utilization of a small-scale gas-piston CHP for supplying a university building with electric and thermal energy. The offered technique is used to adapt a common methodology for calculating cost-effectiveness of a small-scale power, which allows investors at the stage of business proposals to evaluate the cost effectiveness of the proposed project and make decisions relating the investments into the project. .

Energy, small CHP, economic efficiency, payback period, net discounted revenue

На современном этапе развития российского топливно-энергетического комплекса бизнес-процесс передачи, распределения и полезный отпуск потребителям электроэнергии осуществляют крупные энергетические компании, формирующие сложную структуру распределительного электросетевого комплекса. Наряду с этим, реформирование электроэнергетической отрасли и реализация мер по формированию оптового и розничных рынков электроэнергии предопределяет законодательно регламентируемое создание инфраструктуры рынков электроэнергии, включающую в себя системного оператора, администратора торговой системы, федеральную и региональные сетевые компании [1]. Наличие значительного числа организаций, осуществляющих инфраструктурное обслуживание данных бизнес-процессов, обуславливают значительное повышение тарифов на энергоносители для конечных потребителей, увеличивая их затраты на производство продукции или потребительские расходы.

В этих условиях независимая генерация электрической энергии, а также сопутствующей тепловой энергии является оптимальным способом снизить текущие операционные затраты для промышленных предприятий различных отраслей, субъектов малого и среднего бизнеса, жилищно-коммунальных служб, объектов социального назначения и собственников многоквартирных домов.

Одним из наиболее перспективных направлений развития российского топливно-энергетического комплекса является сооружение и эксплуатация малых ТЭЦ. Короткие сроки сооружения, относительно низкий уровень финансирования строительства, значительная энергоэффективность и надежность энергоснабжения малых ТЭЦ предопределяют их высокую привлекательность использования потребителями в качестве источника электро- и тепловой энергии для производства продукции или обеспечения процесса жизнедеятельности.

Безусловно, рассматривая сооружение малой ТЭЦ как инвестиционный проект, следует понимать, что его реализация возможна только при условии получения приемлемого уровня экономической эффективности, который выражается в снижении расходов на оплату электро- и тепловой энергии. Таким образом, эффективность инвестиционного проекта представляет собой экономическую категорию, отражающую соответствие проекта (принятых по поводу него технических, технологических, организационных и оптимизационно-финансовых решений) целям и интересам участников проекта [2].

Экономическая эффективность инвестиционного проекта оценивается в течение расчетного периода, охватывающего временной интервал от начала проекта до его окончания. Начало расчетного периода рекомендуется определять как дату начала вложения средств в инвестиционный проект. Расчетный период разбивается на шаги - отрезки времени, в пределах которых производится расчет данных, используемых для оценки финансовых показателей (месяцы, кварталы, годы) [3].

Экономическая эффективность инвестиционных проектов в малой энергетике возникает в результате экономии затрат потребителя в результате изменения использования источника электро- и тепловой энергии.

Целью оценки эффективности инвестиционного проекта по сооружению малой ТЭЦ является подтверждение или опровержение целесообразности замены существующей системы энергоснабжения потребителя собственным источником генерации энергоресурсов.

С математической точки зрения для признания инвестиционного проекта по сооружению малой ТЭЦ эффективным сумма экономии должна быть достаточна для покрытия в обозримом будущем всех инвестиционных вложений.

Помимо данного показателя, экономическая эффективность инвестиционных проектов оценивается посредством следующих критериев:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности инвестиций (ИД);
- срок окупаемости инвестиций.

Ни один из перечисленных критериев сам по себе не является достаточным для принятия проекта. Решение об инвестировании средств в проект должно приниматься с учетом значений всех перечисленных критериев и интересов всех участников инвестиционного проекта [3].

В данной статье рассматривается проект применения малой ТЭЦ на базе газопоршневых двигателей для обеспечения здания Балаковского института техники, технологии и управления электрической и тепловой энергией. Положительным эффектом от внедрения такой установки станет развитие материально-технической базы ВУЗа за счет экономии средств на оплату электроэнергии и тепла по действующим тарифам, которые можно будет использовать для приобретения нового учебного оборудования, стимулирование и повышение престижа научной деятельности, что соответствует статьям Федерального закона № 261 от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Для начала определим состав капитальных затрат. В данном случае к ним относятся: стоимость самой когенерационной установки, стоимость проектных работ, стоимость блок-контейнера или строительства здания под мини-ТЭЦ, стоимость монтажных работ, затраты на проектирование, монтаж и пуско-наладочные работы газопровода, стоимость обучения обслуживающего персонала. Общая сумма капитальных затрат составила 20 966 000 руб.

При этом наибольшие затраты связаны с приобретением когенерационной установки, стоимость которой составляет 800 евро за 1 кВт электрической мощности. Проектируемая мини-ТЭЦ состоит из трех газопоршневых агрегатов мощностью 110 кВт каждый, что обеспечивает покрытие нужд института в электроэнергии, а также одного резервного агрегата, который включается в работу в случае непредвиденных остановов, поломок или ремонта одного из основных агрегатов для предотвращения падения мощности или отключения электроэнергии, или же может использоваться для покрытия пиковых нагрузок. Таким образом, стоимость установки составила 14 080 000 руб.

Затраты на проектные, монтажные, пуско-наладочные работы, а также стоимость блок-контейнера определялась в процентном соотношении от стоимости установки. В сумме эти затраты составили 4 752 000 руб.

Стоимость прокладки 400 м газопровода вместе с пуско-наладочными работами составляет 520 000 руб., а стоимость обучения персонала – 30 000 руб.

Для определения экономии от применения малой ТЭЦ, нужно сначала определить затраты на ее эксплуатацию, а также затраты при оплате энергии от центральных сетей на время, соответствующее периоду эксплуатации малой ТЭЦ (сроку службы), который составляет примерно 12 лет.

Но точные затраты по оплате энергии мы можем назвать только для текущего времени. Для определения затрат на прогнозный период необходимо проанализировать затраты за предыдущие периоды и вычислить их темпы роста. Эти данные были получены из энергетического паспорта института, составленного по результатам обязательного энергетического обследования.

Темпы роста можно определить по следующей формуле:

$$\bar{T} = \sqrt[n-1]{\tau_0 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \dots \cdot \tau_n}, \quad (1)$$

где $\tau_0 = 1$ – поскольку характеризует текущий период, τ_n – коэффициент, характеризующий изменение затрат.

$$\tau_n = \frac{Z_n}{Z_{n-1}}, \quad (2)$$

где Z_n – затраты в рассматриваемом периоде, Z_{n-1} – затраты в предыдущем периоде.

За три предыдущих года темпы роста оплаты за электроэнергию составили:

$$\bar{T} = \sqrt{1 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2} = \sqrt{1 \cdot \frac{2965999,64}{2809644,83} \cdot \frac{3500129,7}{2965999,64}} = 1,12$$

Аналогичным способом рассчитываются темпы роста оплаты за тепло и затрат на техническое обслуживание энергосистемы института, которые составят 1,25 и 1,07 соответственно.

Тогда, прогнозируемые затраты составят:

$$Z_t = Z_{t-1} \cdot \bar{T}, \quad (3)$$

где Z_t – затраты в интересующем прогнозном периоде, Z_{t-1} – затраты в предыдущем прогнозном периоде.

Эта формула справедлива для определения затрат как на электро- и тепловую энергию, так и на техническое обслуживание объекта.

Для краткости расчеты затрат приведены для первого и последнего прогнозных периодов. Затраты на электроэнергию в первом периоде:

$$Z_1 = 3500129,7 \cdot 1,12 = 3906613,94 \text{ руб.}$$

В последнем периоде:

$$Z_{12} = 11720983,79 \cdot 1,12 = 13082189,1 \text{ руб.}$$

Затраты на тепло:

$$Z_{T1} = 5115704,09 \cdot 1,25 = 6373918,005 \text{ руб.}$$

$$Z_{T12} = 57466803,29 \cdot 1,25 = 71600836,47 \text{ руб.}$$

Затраты на техобслуживание:

$$Z_{то1} = 520000 \cdot 1,07 = 558983,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{то12} = 1151735,91 \cdot 1,07 = 1238078,9 \text{ руб.}$$

Аналогичным образом рассчитываются затраты на весь прогнозируемый период, соответствующий сроку службы малой ТЭЦ.

Затраты на эксплуатацию малой ТЭЦ включают в себя: затраты на топливо, масло, техническое обслуживание и текущий ремонт установки, а также заработную плату обслуживающего персонала. При этом, затраты на топливо и масло зависят от мощности, на которой работает малая ТЭЦ.

Поэтому очень важным вопросом при проектировании газопоршневой мини-ТЭЦ является определение среднеэксплуатационной электрической мощности установки [4]. Для этого нужно проанализировать график энергопотребления объекта.

Расход топлива можно определить по следующей формуле:

$$G_T = 12,16 + 0,186 \cdot Pe^{cp}, \quad (4)$$

где Pe^{cp} – среднеэксплуатационная мощность установки, кВт.

Данная формула получена на основе анализа экспериментальных данных, полученных для двигателя 6ЧН 21/21 ГДГ 80 мощностью 500 кВт.

Годовое потребление газа:

$$G_{TG} = G_T \cdot T_G, \quad (5)$$

где T_G – максимальное годовое число часов работы.

Годовые затраты на газ:

$$C_{газ} = G_{TG} \cdot C_G, \quad (6)$$

где C_G – цена газа, руб./тыс.м³.

Расход масла определяется по формуле:

$$G_M = q_M \cdot Pe^{cp} \cdot T_G, \quad (7)$$

где q_M – норма расхода масла с учетом замены, для двигателя 6ЧН 21/21 $q_M = 0,8$ г/кВт·ч;

Годовая стоимость масла:

$$C_M = G_M \cdot C_M, \quad (8)$$

где C_M – цена масла, руб./кг.

Как видно из формул (6) и (8), для того, чтобы спрогнозировать затраты на топливо и масло, достаточно спрогнозировать рост цен на них. Темп роста цен также определяется по формуле (1).

Годовые затраты на газ в первом прогнозном периоде составят:

$$C_{\text{газ1}} = 462,41 \cdot 3360 = 1553707,01 \text{ руб/год}$$

В последнем периоде:

$$C_{\text{газ12}} = 462,41 \cdot 5741,54 = 2654943,76 \text{ руб/год}$$

Годовые затраты на масло в первом прогнозируемом периоде:

$$C_{\text{м1}} = 1520,64 \cdot 30 = 45619,2 \text{ руб/год}$$

В последнем периоде:

$$C_{\text{м12}} = 1520,64 \cdot 109,75 = 166888,16 \text{ руб/год}$$

Годовая стоимость технического обслуживания

$$C_{\text{ТО}} = C_{\text{раб.ТО}} + C_{\text{зч.ТО}}, \quad (9)$$

где $C_{\text{зч.ТО}}$ – стоимость запасных частей и расходных материалов, $C_{\text{раб.ТО}}$ – годовая стоимость работ по техническому обслуживанию, зависит от трудоемкости работ и стоимости нормо-часа.

Годовая стоимость текущих ремонтов

$$C_{\text{ТР}} = C_{\text{раб.ТР}} + C_{\text{зч.ТР}} + C_{\text{комТР}}, \quad (10)$$

где $C_{\text{зч.ТР}}$ – стоимость запасных частей и расходных материалов, $C_{\text{комТР}}$ – командировочные расходы, $C_{\text{раб.ТР}}$ – годовая стоимость работ по текущему ремонту.

Для прогнозирования затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт нужно рассчитать изменение стоимости нормо-часа работ.

Стоимость техобслуживания в первый период составит:

$$C_{\text{ТО1}} = 93310 + 65250 = 158562 \text{ руб/год}$$

В последнем периоде:

$$C_{\text{ТО12}} = 119940,58 + 92984,02 = 212924,6 \text{ руб/год}$$

Затраты на текущие ремонты:

$$C_{\text{ТР1}} = 103680 + 315900 + 18600 = 438180 \text{ руб/год}$$

$$C_{\text{ТР12}} = 118001 + 346509,89 + 21169 = 485680 \text{ руб/год}$$

Для расчета заработной платы персонала, достаточно проанализировать изменения средней ставки за последние несколько лет. Анализ информации в Интернете показал, что средняя заработная плата по Саратовской области увеличилась за год на 11,2%. Если принять ставку заработной платы на данный момент равной 17740 руб. в месяц на человека, а для обслуживания малой ТЭЦ при трехсменной работе необходимо 4 человека, то заработная плата за год составит 851 520 руб. Учитывая рост заработной платы, в следующем году она составит:

$$C_{\text{зар}t1} = 851520 + 851520 \cdot 0,112 = 946890,24 \text{ руб.}$$

В последнем периоде:

$$C_{\text{зар}t12} = 2213797,7 + 2213797,7 \cdot 0,112 = 2461743,08 \text{ руб.}$$

Немаловажным фактором является также и амортизация. Согласно линейному методу расчета сумма амортизации составит:

$$A = \frac{K'}{\text{СПИ}}, \quad (11)$$

где K' – капитальные затраты, за вычетом стоимости обучения персонала.

СПИ – срок полезного использования. Сроком полезного использования признается период, в течение которого объект основных средств выполняет свое служебное назначение.

$$A = \frac{20936000}{12} = 1744666,67 \text{ руб.}$$

При этом сумма амортизации должна равномерно распределяться на весь период эксплуатации:

$$A_t = \frac{1744666,67}{12} = 145388,89 \text{ руб.}$$

Как отмечалось выше, экономия при использовании мини-ТЭЦ достигается за счет разности затрат при существующей системе энергоснабжения и затрат на эксплуатацию мини-ТЭЦ. Но здесь также необходимо учесть величину дисконтирования.

$$\mathcal{E}_d = \mathcal{E} \cdot k_d, \quad (12)$$

где \mathcal{E}_d – дисконтированная сумма, \mathcal{E} – сумма экономии, k_d – коэффициент дисконтирования в рассматриваемом периоде:

$$k_d = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (13)$$

где E – ставка дисконтирования, определяемая для каждого периода; t – номер периода.

Ставку дисконтирования можно определить по следующей формуле [5]:

$$E = (1 + r_{\text{бр}}) \cdot (1 + i) \cdot (1 + R_{\text{спец}}) - 1, \quad (14)$$

где $r_{\text{бр}}$ – безрисковая норма доходности, определяемая как эффективная годовая доходность по депозитным операциям том-next ЦБ РФ, i – ожидаемый темп инфляции, $R_{\text{спец}}$ – премия за специфический риск вложения в интеллектуальный продукт (определяется индивидуально для каждого проекта) [6].

Ставка дисконтирования рассчитывается для каждого из прогнозируемых периодов:

$$E_1 = (1 + 0,0475) \cdot (1 + 0,063) \cdot (1 + 0,06) - 1 = 0,18$$

$$E_{12} = (1 + 0,2065) \cdot (1 + 0,005) \cdot (1 + 0,06) - 1 = 0,29$$

Тогда коэффициент дисконтирования в первом и в последнем периодах будет равен:

$$k_{\text{Д1}} = \frac{1}{(1 + 0,18)^1} = 0,85$$

$$k_{\text{Д12}} = \frac{1}{(1 + 0,29)^{12}} = 0,063$$

Таким образом, дисконтированная сумма составит:

$$\text{Э}_{\text{Д1}} = 9855196,74 \cdot 0,85 = 8349724,32 \text{ руб.}$$

$$\text{Э}_{\text{Д12}} = 64775144,85 \cdot 0,063 = 6177300,7 \text{ руб.}$$

Для определения срока окупаемости необходимо рассчитать денежные потоки:

– совокупный приведенный денежный поток

$$\text{СПД}_t = \text{Э}_{\text{Д}t} + A_t, \quad (15)$$

$$\text{СПД}_1 = 8349724,32 + 145388,89 = 8495113,21 \text{ руб.}$$

$$\text{СПД}_{12} = 6177300,7 + 145388,89 = 5200916,85 \text{ руб.}$$

– накопленный чистый денежный поток вычисляется для каждого периода,

$$\text{НЧД}_t = \text{СПД}_t + \text{НЧД}_{t-1}, \quad (16)$$

При этом на начальном этапе реализации проекта НЧД равен капитальным затратам.

$$\text{НЧД}_1 = \text{СПД}_1 + (-K) = 8495113,21 - 20966000 = -12470886,79 \text{ руб.}$$

$$\text{НЧД}_{12} = 5200916,85 + 65517105,7 = 70718022,55 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход характеризует превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта [2].

Формула для расчета чистого дисконтированного дохода будет выглядеть следующим образом [3]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{Rt - 3t}{(1 + E)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1 + i)^t}, \quad (17)$$

где $(Rt - 3t)$ – общая величина годового дохода, то есть эффект, достигаемый на t -м шаге расчета; Rt – результаты, достигаемые на t -м шаге расчета; $3t$ – затраты, осуществляемые на том же шаге расчета, при условии, что в них не входят капиталовложения; T – горизонт расчета (продолжительность расчетного периода), он равен номеру шага расчета, на котором производится закрытие проекта; E – ставка дисконтирования; K – капитальные затраты.

Для нашего проекта ЧДД за 12 лет будет равен НЧД в последнем периоде:

$$\text{ЧДД} = 70718022,55 \text{ руб.}$$

Индекс доходности представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капитальных вложений.

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (Rt - 3t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (18)$$

Если $\text{ИД} > 1$, то проект следует принять;

$\text{ИД} < 1$, то проект следует отвергнуть;

$\text{ИД} = 1$, то проект не является ни прибыльным, ни убыточным [7].

В данном случае:

$$\text{ИД} = \frac{70718022,55}{20966000} = 3,37$$

Срок окупаемости будет равен отношению НЧД, взятого по модулю, к СПД в том периоде, когда значение НЧД становится положительным, плюс предыдущие периоды:

$$T_{\text{ок}} = (t - 1) + \frac{|\text{НЧД}_{t-1}|}{\text{СПД}_t}, \quad (19)$$

Также, необходимо задаться условием, что срок окупаемости не должен превышать 5 лет.

$$T_{\text{ок}} = 2 + \frac{|\text{НЧД}_2|}{\text{СПД}_3} = 2 + \frac{3588445,035}{9026345,375} = 2,4 \text{ года}$$

Полученный срок окупаемости менее 5 лет, что в совокупности с показателями ЧДД и ИД говорит об эффективности предлагаемого проекта.

В заключение хочется отметить, что капитальные затраты были определены приближенно на основании экспертных рекомендаций и могут отличаться от реальных на 20-30% как в большую, так и в меньшую сторону. Но такая погрешность не оказывает существенного влияния на результаты расчета, что в очередной раз доказывает эффективность предлагаемого инвестиционного проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» [по состоянию на 20.03.2013] – Режим доступа. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=143874> (дата обращения 01.10.2013)

2. Бригхем Ю. Финансовый менеджмент: Полный курс: в 2 т. / Ю. Бригхем, Л. Гапенски; Пер. с англ. под ред. В.В. Ковалева. СПб: Экономическая школа, 2001. 238 с.

3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, третья редакция, 2008 г. <http://www.ocenchik.ru/method/investments/1240/>

4. Костин Д.А. Зависимость срока окупаемости мини-ТЭЦ от ее средней электрической мощности / Д.А. Костин, А.В. Разуваев // Современные научно-технические проблемы теплоэнергетики и пути их решения: сб. тр. Междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2012. С. 329-335.

5. Манагаров Р.И. Обзор методов расчета ставки дисконтирования. http://www.cfin.ru/finanalysis/math/discount_rate.shtml

6. Виленский П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: учеб. пособие / П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. М.: Дело, 2002. 888 с.

7. Инвестиции: учеб. / С.В. Валдайцев, П.П. Воробьев и др.; под ред. В.В. Ковалева, В.В. Иванова, В.А. Лялина. М.: ТК Велби, Проспект, 2004. 440 с.

Костин Дмитрий Александрович – аспирант Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Dmitry A. Kostin – Postgraduate Balakovo Institute of Engineering, Technology and Managements (Branch), Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Разуваев Александр Валентинович – доктор технических наук, доцент Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander V. Razuvaev – Dr. Sc., Associate Professor Balakovo Institute of Engineering, Technology and Managements (Branch), Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Кочеваткина Элина Фаритовна – кандидат экономических наук Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elina F. Kochevatkina – Ph. D. Balakovo Institute of Engineering, Technology and Managements (Branch), Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 11.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.94

И.В. Вешнева, Л.А. Мельников, А.И. Немцов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена математическая модель, описывающая работу малого предприятия, основанная на введении четырех переменных, соответствующих группам оцениваемых критериев в системе сбалансированных показателей. Модель основана на известных уравнениях Лотки-Вольтерра, Кобба-Дугласа и Мальтуса. В статье представлена оригинальная их адаптация к описанию функционирования малого предприятия.

Математическое моделирование экономических процессов, модель конкуренции видов, производственная функция, модель роста численности населения, сбалансированная система показателей

I.V. Veshneva, L.A. Melnikov, A.I. Nemtsov

A MATHEMATICAL MODEL OF SMALL BUSINESS ENTERPRISE MANAGEMENT OPERATION

The mathematical model describing the operation of a small business enterprise is proposed, based on the four variables, which correspond to the groups of estimated criteria in the system of the balanced scorecard. The model uses Lotka-Wolterra, Cobb-Duglas, and Maltus equations. The original adaptation of these equations to small business enterprise operation is presented.

Mathematical modeling in economical sciences, model of population dynamics, balanced scorecard

Введение

Промышленная революция, произошедшая в середине XIX века совместно с выдающимися научными открытиями рубежа XIX – XX веков, привела к быстрым технологическим изменениям информационной революции и изменению социокультурных отношений в цивилизованном мире. Специфику экономического развития, обусловившую изменение экономических и социокультурных отношений в обществе, отмечают многие авторы, например [1]. В социологических отношениях при переходе экономических фаз развития общества (аграрное, индустриальное и постиндустриальное общество) [2, 3] изменяется соотношение процента населения занятого в аграрной, промышленной и сферах производства интеллектуальной продукции и услуг.

Нарастающая конкуренция и различные законодательные ограничения приводят к сложности выживания малых предприятий строительного сектора. Каждое неверно принятое управленческое решение может увеличить возможность возникновения серьезных рисков как для эффективности функционирования предприятия, так и для его выживания. Поэтому для поддержки принятия управленческих решений в условиях высокой неопределенности и рисков все большее значение приобретает необходимость выстраивания адекватных математических моделей, описывающих деятельность предприятия.

В последние полвека все активнее совершаются попытки математического моделирования экономических и социальных процессов. Широко известна модель мировой динамики [4], которая описывает метод динамического моделирования промышленных и промышленно-сбытовых предпри-

ятий, а также применение этого метода для улучшения руководства предприятиями, подготовки и обучения руководящего персонала. Данная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, в которой левые части представляют собой производные описываемых характеристик, а правые части представляют собой сумму переменных, взятых с плюсом, если их изменение приводит к положительному вкладу в характеристику и взятых с минусом, если их изменение приводит к отрицательному вкладу. Модель позволила обосновать прогнозы развития на будущее и оказала существенное влияние на социальные эффекты (движение «Зеленых» и т.п.).

Многие прогнозы модели мировой динамики к настоящему времени уже не оправдались. Модели Форрестера, описывающие динамику промышленных предприятий [5], относятся к индустриальному периоду развития общества. В настоящее время мы живем в постиндустриальную эпоху, в которой знание, информация и квалификация приобретают значимость основного ресурса для развития [6]. Происходящие в мире события оказываются неожиданными для многих профессиональных экономистов. В таких условиях возрастают требования к построению адекватных математических моделей деятельности предприятия с помощью принятых в естественных науках языковых средств. В последнее десятилетие появился ряд новых направлений, рассматривающих экономику как естественную точную науку, таких как эконофизика.

Зададимся целью построить математическую модель малого предприятия, основанную на известных моделях, описывающих динамику сложных систем. Модель должна удовлетворять современным подходам управления предприятием и быть основана на уравнениях нелинейной динамики, что соответствует развивающимся современным направлениям синергетики и эконофизики.

Модель малого предприятия

Для описания деятельности по управлению функционированием малого предприятия целесообразно основываться на четырех основных характеристиках, описанных в структуре сбалансированной системы показателей (ССП) [7]. Результативность работы предприятий наиболее очевидно оценивать финансовыми показателями. Данная система основана на утверждении, что финансовые показатели не являются основными показателями деятельности организации. Они показывают, как предприятие работало в прошлом, и ничего не говорят о будущем. Кроме того, вклад многих сотрудников и процессов не может быть оценен, как, например, квалификация персонала, трудно учитываемый при управлении предприятием. Однако в современном постиндустриальном обществе именно квалификация может сыграть решающую роль. Возможность изменения общей динамики системы под влиянием незначительных факторов также сформирована и вызывает интерес исследователей в естественных науках, изучающих динамику нелинейных систем и синергетики. Основываясь на этих достижениях социальной науки менеджмента и междисциплинарной естественной науки нелинейной динамики, для реализации поставленной цели будем создавать математическую модель управления работой предприятия, основываясь на управленческой методологии СПП.

ССП рассматривает четыре основные группы показателей: финансовые, внутренних бизнес процессов, отношение с внешней средой, и показатели обучения и развития. Для каждой из них запишем уравнение динамики. Представим группу финансовых показателей переменной, описывающей прибыль, которую обозначим $P(t)$. Показатель, описывающий внутренние бизнес-процессы, представим производительностью – $B(t)$. Будем рассматривать предприятие, занимающееся закупкой, установкой и обслуживанием высокотехнологичного оборудования. В данном случае клиентская часть СПП оказывается напрямую связанной с числом сотрудников, обслуживающих конкретного клиента. Группу показателей клиентской части опишем переменной числа сотрудников $W(t)$. Ресурсом развития данного предприятия является квалификация персонала – $Q(t)$, что будет соответствовать показателям обучения, развития и роста.

Для введенной системы показателей сформируем систему дифференциальных уравнений. Будем основываться на предположении, что получаемая предприятием прибыль находится в сложной, можно сказать, хрупкой зависимости от числа сотрудников. Хороший менеджер должен подобрать то самое оптимальное соотношение прибыли и числа работников, способных ее принести. При увеличении числа сотрудников выше необходимого прибыли сокращается, так как при том же объеме работ существенно увеличиваются затраты на оплату труда и обучение разросшегося штата сотрудников, но при уменьшении прибыли ниже необходимого уровня поддержания зарплат и премий квалифицированные сотрудники начинают уходить из организации и их число сокращается. На фоне полученного сокращения возникает фаза роста прибыли, которая вновь пойдет вниз, так как руководство вынуждено привлекать квалифицированных сотрудников, отдавая прибыль. Далее число сотрудников снова растет, что ведет к росту прибыли и новому перераспределению средств. Данное предположе-

ние подкрепляется анализом баланса заинтересованных сторон, традиционно представляемым лепестковой диаграммой, показывающей внутреннюю противоречивость воздействия интересов сторон. Увеличение числа сотрудников закономерно ведет к увеличению прибыли предприятия, но рост числа сотрудников провоцирует расслоение в его кадровой структуре и стремление руководства получить большую долю прибыли, уменьшая доходы рядовых сотрудников. Можно представить сотрудников «хищными» потребителями прибыли.

Исходя из этих рассуждений, возьмем за основу математической модели малого предприятия уравнения Лотки-Вольтерра [8], которые часто используют для описания межвидовой конкуренции (хищник-жертва). Запишем эти уравнения для введенных переменных прибыли $P(t)$ и числа «хищных» сотрудников $W(t)$:

$$\frac{dP}{dt} = (\alpha - \beta W(t))P(t), \tag{1}$$

$$\frac{dW}{dt} = (-\gamma + \delta P(t))W(t) \tag{2}$$

где $P(t)$ – прибыль предприятия, $W(t)$ – количество сотрудников, t – время, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – коэффициенты, отражающие взаимодействия между этими величинами. Изменение трактовки смысла коэффициентов модели Лотки-Вольтерра для математической модели управления малым предприятием представлено в таблице.

Значение коэффициентов модели Лотки-Вольтерра и модели малого предприятия

Коэффициент	Модель Лотки-Вольтерра	Модель малого предприятия
α	коэффициент рождаемости жертв	связанный с производительностью коэффициент роста прибыли
γ	коэффициент убыли хищников	связанный со снижением прибыли коэффициент сокращения числа квалифицированных сотрудников
β	коэффициент убийства жертв	затраты на оплату труда, как произведение количества сотрудников на коэффициент, описывающий их среднюю заработную плату
δ	коэффициент рождения новых хищников	коэффициент приема на работу новых сотрудников в связи с ростом объемов работ

Будем исходить из положения ограничения числа сотрудников предприятия, являющегося малым. В соответствии с установленными Федеральным Законом № 209-ФЗ от 24.07.2007 ограничениями [9], малым предприятием считается организация с максимальным средним числом сотрудников за календарный год, равным 100 человек, что и будет являться ограничением в уравнении динамики числа сотрудников. Введем ограничение в уравнение, описывающее динамику числа сотрудников. Для этого используем логистическое уравнение (уравнение Ферхюльста [4]), предназначенное для описания роста численности населения:

$$\frac{dW(t)}{dt} \sim W(t) \left(1 - \frac{W(t)}{K} \right) \tag{3}$$

где K – поддерживающая емкость среды (максимально возможное число сотрудников), в нашем случае ограничивает число сотрудников предприятия, которое должно быть не больше 100 человек.

Данная пропорциональность показывает, что скорость роста числа сотрудников пропорциональна самой численности сотрудников и, в то же время, скорость увеличения их численности пропорциональна количеству доступных ресурсов. Таким образом, второй член уравнения отражает конкуренцию за ресурсы, которая ограничивает рост числа сотрудников.

Выделим дополнительные влияния, которые необходимо учесть при построении математической модели малого предприятия на системе сбалансированных показателей, связывающей четыре группы показателей: прибыль, число сотрудников, производительность и квалификацию персонала. На получение прибыли, «хищно» поглощаемой сотрудниками, наиболее существенное влияние оказывает производительность труда. Рост производительности ведет к росту прибыли, поскольку меньшее число сотрудников способно произвести большее количество услуг по закупке, установке и обслуживанию высокотехнологичного оборудования

Также учтем влияние производительности $B(t)$ на прибыль организации, исходя из соображений, что при увеличении производительности предприятия будет наблюдаться рост прибыли и оборот. Предположим, что скорость изменения прибыли связана прямо пропорционально со скоро-

стью изменения производительности. Заменим в (1) α , являющийся коэффициентом роста прибыли, на произведение α на производную по времени производительности $B(t)$. После внесения данных дополнений система уравнений для описания динамики прибыли и числа сотрудников имеет следующий вид:

$$\frac{dP}{dt} = (\alpha B'(t) - \beta W(t))P(t), \quad (4)$$

$$\frac{dW}{dt} = (-\gamma + \delta P(t))W(t)\left(1 - \frac{W(t)}{100}\right). \quad (5)$$

Далее составим дифференциальное уравнение для 4-й группы показателей ССП, описывающей внутренние бизнес-процессы организации, в разрабатываемой модели обозначенные производительностью. При описании производительности труда учтем, что она зависит от внешних по отношению к рабочему факторов во всех случаях, кроме тех, когда речь идет о его квалификации. Если производительность труда меняется при неизменности внешних факторов, стоит учитывать взаимосвязь производительности и квалификации персонала. Данный подход может быть реализован с использованием производственной функции Кобба-Дугласа [10], позволяющей оценить вклад различных внутренних факторов в увеличение общего объема производства:

$$Y = AL^{\alpha_{\text{тл}}}K^{\beta_{\text{кл}}}, \quad (6)$$

где Y – объем производства, K – капитал (машино-часы или количество оборудования), L – труд (человеко-часы или численность работников), A – коэффициент пропорциональности (находится расчетным путем); $\alpha_{\text{тл}}$ – коэффициент эластичности объема производства по затратам труда; $\beta_{\text{кл}}$ – коэффициент эластичности объема производства по затратам капитала. Коэффициенты эластичности определяются эмпирическим путем.

Расчеты, проведенные Ч. Коббом и П. Дугласом в США по данным за 1899-1922 гг. установили следующие параметры производственной функции: $Y = 1,01 * K^{0,25} * L^{0,75}$. То есть увеличение затрат капитала на 1% вызывает приращение объема производства на 25%; увеличение затрат труда на 1% соответственно увеличивает объем выпуска на 75%. Последующие исследования позволили преобразовать данную функцию в неоклассическую модель экономического роста американского экономиста Р. Солоу [11].

Из (6) следует, что при неизменной технологии и постоянном влиянии внешних факторов объемы производства зависят от затрат труда и капитала. При их фиксированных значениях изменение объемов возможно только за счет динамики не идентифицированных факторов:

$$Y = A(t)L^{\alpha}K^{1-\alpha}, \quad (7)$$

Исследуя возможности применения данной зависимости при моделировании производственной функции, Р. Солоу ввел время как фактор роста, включающий влияние совокупности неидентифицированных факторов, в том числе технического прогресса:

$$Y = e^{\lambda t}L^{\alpha}K^{1-\alpha}, \quad (8)$$

где λ – параметр функции.

Основываясь на модели Р. Солоу, проведем разработку математической модели производительности малого предприятия, выполняющего работы на объектах клиентов. Специфика данного предприятия представляет человеческий капитал основным капиталом предприятия, что в условиях производства работ вне цехов и офисов организации будет являться основным фактором успешного и скорого выполнения работ. С учетом этого факта, капитал, представляемый в модели Р. Солоу как машино-часы или количество оборудования, заменим квалификацией персонала – $q(t)$. При этом будем учитывать зависимость от времени переменных, входящих в состав математической модели.

Введем следующие переменные: вместо переменной Y , описывающей объем производства, будем использовать производительность организации $B(t)$. Капитал K заменим на $q(t)$, описывающую квалификацию персонала. Труд заменим на количество сотрудников $W(t)$ (5). Для более наглядного представления в дальнейшем влияния квалификации на производительность условимся, что искомая производительность труда является не общей производительностью предприятия, а производительностью среднестатистического сотрудника. Для этого разделим правую часть уравнения (8) на количество сотрудников $W(t)$.

При приеме сотрудников на работу на малое предприятие необходимо провести их обучение, так что необходимую квалификацию сотрудник приобретает через установленный сроками обучения период времени τ . Поэтому возникает запаздывание по времени $q(t-\tau)$. α – коэффициент эластичности производительности по вовлечению сотрудников и их квалификации. Таким образом, получим

$$B(t) = e^{\lambda t} W(t)^{\omega-1} q(t-\tau)^{1-\omega}, \quad (9)$$

Из полученного уравнения видно, что производительность изменяется в зависимости от изменения числа сотрудников и их квалификации, с учетом принимаемого коэффициентов пропорциональности и эластичности.

Для получения временной зависимости производительности малого предприятия $B(t)$ дифференцируем (9) по времени и получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dB}{dt} = \lambda e^{\lambda t} W(t)^{\omega-1} q(t-\tau)^{1-\omega} + (\omega-1) \frac{dW}{dt} e^{\lambda t} W(t)^{\omega-2} q(t-\tau)^{1-\omega} + (1-\omega) \frac{dq}{dt-\tau} e^{\lambda t} W(t)^{\omega-1} q(t-\tau)^{-\omega}, \quad (10)$$

В каждом из слагаемых выделим $B(t)$ и запишем полученное уравнение для производительности в следующем виде:

$$\frac{dB}{dt} = \lambda B(t) + (\omega-1) \frac{dW}{dt} \frac{B(t)}{W(t)} + (1-\omega) \frac{dQ(t-\tau)}{dt} \frac{B(t)}{Q(t-\tau)}, \quad (11)$$

Как было сказано ранее, в условиях постиндустриального общества совершенствование техники и технологии должно сопровождаться совершенствованием организации и управления производством, а квалификация персонала должна опережать технический и организационный уровень производства. Для этого необходимо иметь количественную оценку квалификации персонала, позволяющую принимать решения по оказанию воздействия на нее. Учтем, что вновь принимаемые на работу сотрудники менее квалифицированы, чем уже работающие в организации. Для этого в уравнении (11) введена задержка по времени на период τ , необходимый для передачи необходимых профессиональных навыков от высококвалифицированных сотрудников вновь набранным для обслуживания растущего числа заказов.

Для описания динамики квалификации малого предприятия в качестве основы воспользуемся уравнением Мальтуса [12], которое описывает рост численности населения. Будем полагать, что численность населения, используемая в данной модели, представляет собой накопленный человеческий капитал как основной ресурс развития малого предприятия, занимающегося предоставлением высококвалифицированных услуг. Данный капитал представлен квалификацией сотрудников, являющихся 4-й группой показателей ССП. Уравнение для квалификации получило следующий вид:

$$\frac{dQ}{dt} = aQ(t), Q(t) = Ae^{at}, A = Q(0), \quad (12)$$

где a – коэффициент неограниченного роста квалификации при неограниченном ресурсе развития технологий. Экспоненциальный рост квалификации сотрудников, как и популяций биологических видов, нереален, поэтому введем ограничение, аналогичное логистическому уравнению [4]:

$$\frac{dQ}{dt} = aQ(t) - cQ(t)^2, \quad (13)$$

где ядро сотрудников, передающее квалификацию $+aQ$, ограничение cQ^2 (c – технологии общества, ограничивающие возможность развития).

С учетом того, что повышение квалификации происходит при обучении, в процессе работы на производстве от более квалифицированных сотрудников к менее квалифицированным, что, по сути, является обучением в условиях выполнения работы без отрыва от производства. Соответственно можно предположить, что чем больше в организации «ядро» высококвалифицированных сотрудников, тем менее значительно будет влияние на среднюю квалификацию малого предприятия прием на работу сотрудников с низкой квалификацией. Однако в условиях, когда это «ядро» мало, а для выполнения работ малому предприятию необходимо быстро и значительно расширить штат сотрудников, произойдет значительное снижение квалификации из-за невозможности быстро обучить новичков, что в дальнейшем исходя из (11) повлияет на конечную производительность труда на предприятии. Поэтому в дальнейшем учтем влияние числа сотрудников $W(t)$ с коэффициентом b и их скорость изменения числа сотрудников $W(t)$ с коэффициентом d :

$$\frac{dQ}{dt} = aQ(t) + bQ(t)W(t) - dQ(t)W'(t) - cQ(t)^2. \quad (13)$$

Таким образом, основываясь на ССП и на модифицированных уравнениях Лотки-Вольтерра, Кобба-Дугласа и Мальтуса получим систему уравнений, описывающих математическую модель работы малого предприятия:

$$\frac{dP}{dt} = (\alpha B'(t) - \beta W(t))P(t), \quad (14)$$

$$\frac{dW}{dt} = (-\gamma + \delta P(t))W(t) \left(1 - \frac{W(t)}{100}\right), \quad (15)$$

$$\frac{dB}{dt} = \lambda B(t) + (\omega - 1) \frac{dW}{dt} \frac{B(t)}{W(t)} + (1 - \omega) \frac{dq}{dt - \tau} \frac{B(t)}{q(t - \tau)}, \quad (16)$$

$$\frac{dQ}{dt} = aQ(t) + bQ(t)W(t) - dQ(t)W'(t) - cQ(t)^2. \quad (17)$$

В данной системе (14) и (15) основаны на предположении о противоречивости интересов получения высокой прибыли и необходимости делить ее на растущее число сотрудников с позиции менеджмента. Данная противоречивость представлена в хорошо известной управленческой методике анализа баланса интересов предприятия. Привлечение новых сотрудников ведет к дополнительным затратам предприятия как на увеличение прямых доходов большего числа сотрудников, так и на управленческое сопровождение, социальные расходы и обучение. С другой стороны, привлечение новых сотрудников при росте объемов работ является очевидной возможностью увеличить прибыль. Данное противоречие представлено известной моделью «хищник-жертва». При этом в уравнение для прибыли, «съедаемой» растущим числом сотрудников, введена прямая зависимость скорости роста прибыли от скорости роста производительности, являющаяся ключевой для предприятия, ориентированного на предоставление высокотехнологичных услуг. Уравнение для производительности (16) связано с уравнением для квалификации (17) и образует пару взаимосвязанных уравнений. Уравнение (16) для $B(t)$ получено на основе хорошо известного уравнения производственной функции, использующей экспоненциальную зависимость от времени, учитывающей относительно постоянное влияние внешних условий и переменное влияние технического прогресса. В нашем представлении производственная функция нормирована на число сотрудников, обозначена производительностью $B(t)$. Квалификация (17) основана на логистическом уравнении с введенной зависимостью от числа сотрудников, что является спецификой описываемого предприятия. Таким образом, получена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику малого предприятия.

Для валидации уравнений (14)-(17) и моделирования управленческих решений на основе данной системы уравнений нужно исследовать ее возможные решения и пространство параметров. Проверочные исследования адекватности данной математической модели малого предприятия позволяют предполагать наличие различных динамических режимов. На рис. 1, 2 представлены результаты моделирования динамики малого предприятия в зависимости от значений коэффициентов, которые могут определяться в процессе управления.

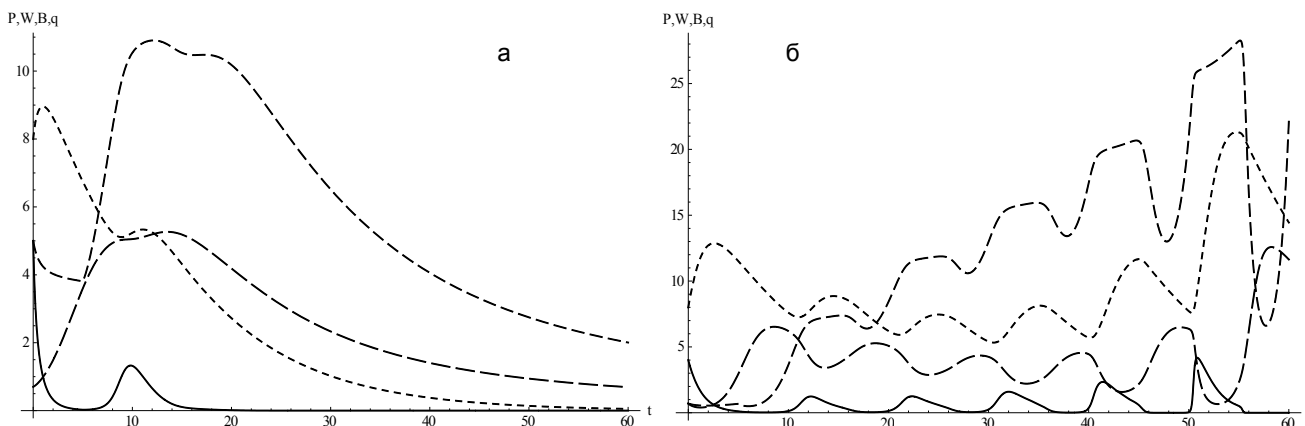


Рис. 1. Кривые изменения прибыли $P(t)$, числа сотрудников $W(t)$, производительности $B(t)$, и квалификации $Q(t)$ при значении коэффициентов

а) $\alpha=1, \beta=0,1, \gamma=0,5, \delta=0,1, \lambda=-0,4, \omega=0,25, a=0,01, b=0,05, c=0,2, d=0,02, \tau=5$ и начальных условиях: $P(0)=5, W(0)=8, B(0)=5, Q(0)=0,7$.

б) $\alpha=1, \beta=0,06, \gamma=0,1, \delta=1,17, \lambda=0,05, \omega=0,23, a=0,0044, b=0,05, c=0,3, d=0,1, \tau=5$ и начальных условиях: $P(0)=4, W(0)=8, B(0)=0,7, Q(0)=0,7$

Изменение коэффициентов и начальных условий ведет к возникновению различных динамических режимов, на рис. 1 а представлено затухание, ведущее к гибели предприятия. На рис. 1 б система стремится к высокоамплитудным колебаниям, что может привести как к выходу на стационар с высокими значениями контролируемых переменных, так и к потере системой устойчивости, также ведущей к гибели. Система проявляет зависимость от начальных условий, представленную на рис. 2 а, б. Таким образом, можно утверждать, что в данной работе впервые сформирована система нелинейных дифференциальных уравнений,

каждое из которых соответствует одному из 4 аспектов ССП. Проведение экспериментов и выявление размерности и реальных значений параметров позволит использовать данные уравнения для поддержки принятия управленческих решений, посредством изменения коэффициентов в системе и выбора другого режима динамики развития. Исследование пространства параметров данной системы позволит выявить области значений параметров, определяющих различные динамические решения.

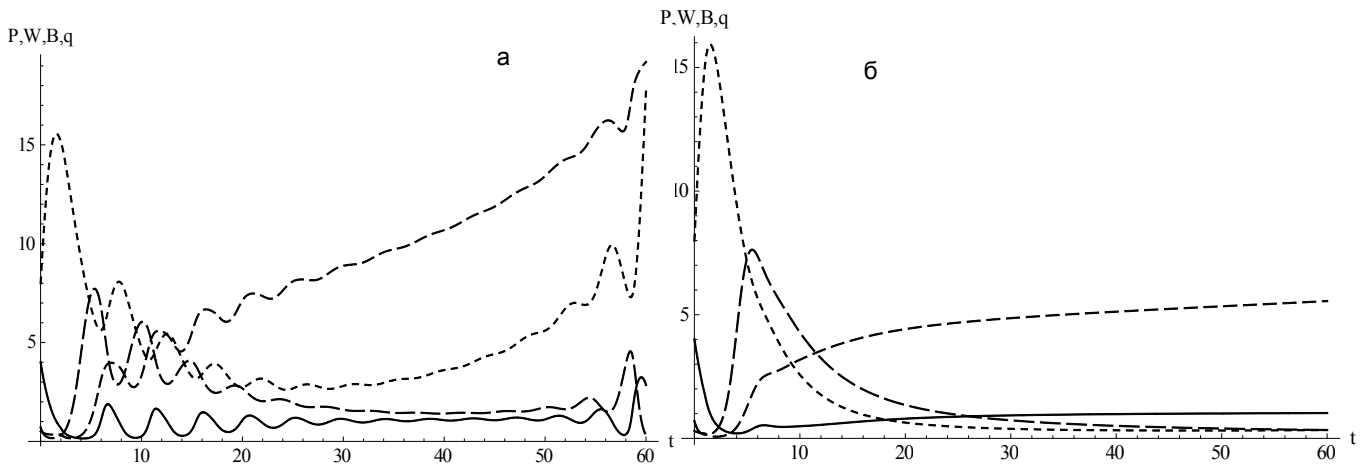


Рис. 2. Кривые изменения прибыли $P(t)$, числа сотрудников $W(t)$, производительности $B(t)$, и квалификации $Q(t)$ при значении коэффициентов $\alpha=4$, $\beta=0,3$, $\gamma=0,4$, $\delta=0,4$, $\lambda=0,02$, $\omega=0,25$, $a=0,0044$, $b=0,05$, $c=0,1$, $d=0,03$, $\tau=1$ и начальных условиях: а – $P(0)=5$, $W(0)=8$, $B(0)=0,5$, $Q(0)=0,7$. б – $P(0)=4$, $W(0)=8$, $B(0)=0,3$, $Q(0)=0,7$

Заключение

В работе впервые решена задача построения системы дифференциальных уравнений, представляющих собой математическую модель малого предприятия, ориентированного на предоставление высокотехнологичных квалифицированных услуг. Квалификация персонала в данном случае является его основным ресурсом развития. Данная модель представляет особый интерес в тенденции развития эконофизики в постиндустриальном обществе, основанном на знаниях. В обществе повышается роль научно-исследовательских центров и университетов и происходит быстрое замещение труда знаниями, подчеркивают выдающиеся экономисты и социологи Винер А., Друкер П., Тоффлер О. [13]. Квалификация, основанная на владении информацией, становится основным производственным ресурсом общества.

Данное положение обусловило постановку задачи исследования – разработка математической модели управления малым предприятием. В результате получена оригинальная система уравнений, основанная на адаптации известных уравнений Лотки-Вольтерра, Кобба-Дугласа и Мальтуса для описания динамики процессов на малом производственном предприятии. Связь в системе организована путем включения очевидных с позиции менеджмента данного предприятия зависимостей различных параметров друг от друга. Проведена предварительная апробация модели, выявлено наличие различных динамических режимов при различных параметрах системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков А.М. Постиндустриальное образование / А.М. Новиков. М.: Эгвес, 2008. 136 с.
2. Веблен Т. Теория праздного класса: экономическое исследование институций / Т. Веблен; пер. с англ. под ред. В. В. Мотылева. М.: Прогресс, 1984 (англ. The Theory of Leisure Class, An Economic Study of Institutions, 1899)
3. Тоффлер Э. Третья волна The Third Wave, 1980 / Э. Тоффлер. М.: АСТ, 2010. 784 с.
4. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. М.: АСТ, 2006. 384 с.
5. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия: Индустриальная динамика / Дж. Форрестер. М.: Прогресс, 1970. 340 с.
6. Большаков А.А. Новые методы математического моделирования динамики и управления формированием компетенций в процессе обучения в вузе: монография / А.А.Большаков, И.В.Вешнева, Л.А.Мельников, Л.Г.Перова. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 248 с.
7. Нортон Д. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Д. Нортон, Р. Каплан. М.: Олимп-Бизнес, 2010. 320 с.

8. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии / Г.Ю. Ризниченко. М.-Ижевск: НИЦ РХД, 2011 г. 232 с.
9. Федеральный Закон № 209-ФЗ от 24.07.2007.
10. Cobb Ch. Production Function Once Again: Its History, Its Testing, and Some New Empirical Values» / Ch. Cobb, P. Douglas // Journal of Political Economy. 1976. №84. P. 903-916.
11. Solow R.M. A Contribution to the Theory of Economic Growth / R.M. Solow // Quarterly Journal of Economics. 1956. №70. P. 65-94.
12. Malthus T.R. An essay on the Principle of Population / T.R., Malthus. London: Johnson, 1798. (Русский перевод) М. Мальтус. Опыт закона о народонаселении. СПб, 1908.
13. Друкер П. Менеджмент. Вызовы XXI века / П. Друкер. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. С. 256.

Вешнева Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, докторант кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Irina V. Veshneva – Ph. D., Associate Professor
Department of Instrumentation Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Мельников Леонид Аркадьевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Leonid A. Melnikov – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Instrumentation Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Немцов Александр Ильич – аспирант кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksander I. Nemtsov – Postgraduate
Department of Instrumentation Engineering
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 681.5

О.С. Шумарова, С.А. Игнатьев

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР ВИДА ВЕЙВЛЕТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛА С ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА

Рассматривается вопрос оптимального выбора вида вейвлета при распознавании локальных дефектов деталей подшипников при автоматизированном вихретоковом контроле.

Вихретоковый контроль, локальные дефекты поверхностного слоя деталей подшипников, вейвлет, вейвлет-преобразование

O.S. Shumarova, S.A. Ignatyev

OPTIMUM CHOICE OF A WAVELET WHEN PROCESSING SIGNALS OF EDDY CURRENT SENSORS

The article considers the problem related with the optimum choice of a wavelet when diagnosing local defects within the component parts of bearings by means of the automated eddy current testing.

Eddy current testing, local defects of the surface layer of the bearing parts, wavelet, wavelet transformation

Несмотря на значительные успехи в области автоматизации, конечным итогом автоматизации на практике, как правило, является создание двух подсистем – подсистемы контроля и подсистемы управления технологического процесса (ТП), которые не имеют четкой формализованной связи.

Решения об изменениях параметров ТП по результатам его контроля принимаются специалистами на основании знаний, опыта и интуиции. При этом исходные посылки (результаты контроля) в

некоторых случаях могут интерпретироваться субъективно, особенно в случаях, где в явном виде не применимы количественные оценки. В качестве примера можно привести вихретоковый метод контроля, который широко применяется в промышленности при контроле и мониторинге качества деталей подшипников. Вихретоковый метод контроля, являющийся основным методом контроля поверхностного слоя деталей подшипников на ОАО «Саратовский подшипниковый завод», позволяет выявить изменения физико-механического состояния поверхностного слоя шлифовальной детали.

Такие дефекты, как прижоги, трещины, разломы в металлических изделиях, влияют на результаты сканирования объекта с помощью вихретокового датчика. Сигнал вихретокового преобразователя (ВТП), полученный от прибора ПВК-К2М имеет две составляющие – фазовую и амплитудную.

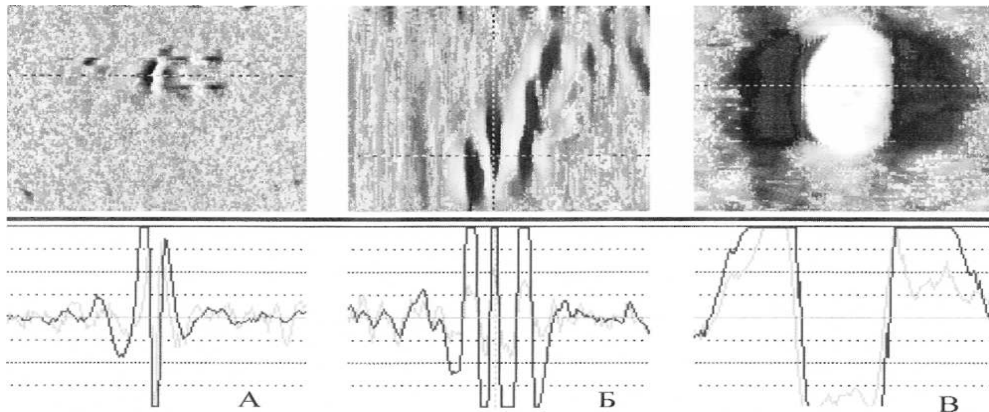


Рис. 3. Участки сканограмм и примеры формы сигналов локализованных дефектов, металлическая трещина (А), прижог (Б), трооститное пятно (В)

Каждая составляющая представляет собой дискретный сигнал, в котором заключена часть информации о поверхности контролируемой детали

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 [1].

При применении вейвлет-преобразований к сигналам ВТП от локальных дефектов по значениям коэффициентов разложения можно судить о виде дефекта, так как наборы коэффициентов различаются.

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.

Главным достоинством дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) является возможность быстрого преобразования (БВП) с пирамидальным алгоритмом вычислений, что позволяет выполнять анализ больших выборок данных. Для распознавания локальных дефектов предусматривается метод, основанный на использовании вейвлет-преобразования информационных сигналов ВТП [3].

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.

Выбор анализирующего вейвлета определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. С учетом характерных особенностей различных вейвлетов во временном и в частотном пространстве, можно выявлять в анализируемых сигналах те или иные свойства и особенности, которые незаметны на графиках сигналов, особенно в присутствии шумов. При этом задача реконструкции сигнала может и не ставится, что расширяет семейство используемых регулярных вейвлетных функций, в том числе неортогональных. Более того, вейвлет может конструироваться непосредственно под ту локальную особенность в сигнале, которая подлежит выделению или обнаружению, если ее форма априорно известна.

При анализе сигналов вейвлетами четного типа (симметричными или близкими к симметричным) гармоническим сигналам обычно соответствуют яркие горизонтальные полосы вейвлетных пиков и впадин на доминирующих частотах вейвлетов, совпадающих с частотой гармоник сигналов.

Нарушения гладкости сигналов фиксируются вертикальными полосами, пики в сигналах выделяются максимумами, а впадины – минимумами вейвлетных коэффициентов. Напротив, вейвлеты нечетного типа более резко реагируют на скачки и быстрые изменения в сигналах, отмечая их максимумами или минимумами в зависимости от знака дифференциалов. Чем резче выражены особенности сигналов, тем сильнее они выделяются на спектрограммах.

Для конструирования таких вейвлетов часто используются производные функции Гаусса, которые имеют наилучшую локализацию как во временной, так и в частотной областях. В общей форме уравнение базового вейвлета:

$$\psi_n(x) = (-1)^{n+1} d^n[\exp(-x^2/2)]/dx^n, \quad n \geq 1, \quad (1)$$

Вейвлеты могут быть ортогональными, полуортогональными, биортогональными.

Вейвлетные функции могут быть симметричными, асимметричными и несимметричными, с компактной областью определения и не имеющие таковой, а также иметь различную степень гладкости.

Некоторые функции имеют аналитическое выражение, другие – быстрый алгоритм вычисления вейвлет-преобразования. Для практики желательно было бы иметь ортогональные симметричные и асимметричные вейвлеты, но таких идеальных вейвлетов не существует.

Сейчас выбор вейвлетов довольно обширен. Их учет позволяет подбирать наиболее подходящие типы вейвлетов для решения конкретных задач обработки сигналов и изображений.

Вейвлеты можно классифицировать относительно следующих характеристик: ортогональность, функция ρ_i и ρ_i , наличие компактного носителя (если число ненулевых коэффициентов в уравнении конечно, то функция ϕ имеет компактный носитель), FIR фильтр, симметричность, реконструкция.

1) Грубые (Stude) вейвлеты обладают минимумом свойств, которыми должны обладать вейвлеты, обеспечивающие полноценные возможности в технике преобразования сигналов:

- функция ρ_i у них отсутствует;
- анализ не является ортогональным;
- ρ_i не имеет компактного носителя;
- возможность реконструкции не гарантирована;
- возможна непрерывная декомпозиция;
- главные свойства: симметричность, функция ρ_i задается явно;
- быстрые алгоритмы преобразований и точная реконструкция невозможны.

К ним относятся вейлеты Гауссова типа (gaus), Морле (morlet) и «мексиканской шляпы» (mexihat). Рассмотрев и проанализировав свойства данной группы, можно заключить, что эти вейвлеты не подходят для обработки сигнала, полученного с ВТП.

2) Бесконечные регулярные вейвлеты имеют следующие свойства:

- имеют функцию ρ_i и их анализ ортогональный;
- функции не определены явно ρ_i и ρ_i ;
- функции ρ_i и ρ_i не имеют компактного носителя;
- вейвлеты симметричны и регулярны в бесконечности;
- быстрый алгоритм преобразований не поддерживается.

К ним относятся вейвлеты Мейера (mey). У этих вейвлетов возможны следующие методы анализа:

- непрерывные преобразования;
- дискретные преобразования, но без FIR фильтров.

Главным недостатком данной группы является непрерывное преобразование, что не позволяет обработать данный сигнал. Существует дискретный вейвлет Мейера (dmey). С помощью него возможна обработка дискретной информации, но без FIR фильтров. FIR фильтры с конечной импульсной характеристикой принято называть перекурсивными фильтрами. У таких фильтров очередной отсчет выходного сигнала вычисляется без использования предшествующих отсчетов выходного сигнала. Это означает, что при реализации фильтра обратная связь не потребуется. Но этот вейвлет также обладает другими свойствами группы – отсутствие компактного носителя и поддержания быстрого алгоритма, что немаловажно в нашем случае.

3) Ортогональные вейвлеты с компактным носителем. К этим вейвлетам относятся вейвлеты Добеши (dbN), Симлета (symN) и Койфлета (coifN).

Их основные свойства:

- функция ρ_i имеется и анализ относится к ортогональному типу;
- функции имеют определенное число моментов исчезновения;
- функции ρ_i и ρ_i имеют компактный носитель;

– возможны непрерывные преобразования и дискретные преобразования с применением быстрого вейвлет-преобразования;
 – обеспечивается принципиальная возможность реконструкции сигналов и функций.
 Некоторые трудности: недостаточная периодичность. Специфические проблемы: вейвлеты dbN несимметричны; вейвлеты $symN$: близки с симметричным; вейвлеты $coifN$: отсутствие симметрии, функций ϕ_i и ψ_i , наличие моментов исчезновения.

Эта группа вейвлетов отвечает многим требованиям, поэтому наиболее подходит для обработки сигнала с ВТП.

4) Биортогональные парные вейвлеты с компактным носителем. К ним относятся В-сплайновые биортогональные вейвлеты ($bioNr.Nd$ и $rbioNr.Nd$). Они имеют следующие свойства:

- функция ϕ_i имеется, и анализ относится к биортогональному типу;
- обе функции ψ_i и ϕ_i для декомпозиции и реконструкции имеют компактный носитель;
- ϕ_i и ψ_i для декомпозиции имеют моменты исчезновения;
- ψ_i и ϕ_i для реконструкции могут иметь периодичность.

Возможные виды анализа: непрерывное преобразование и дискретное преобразование с использованием алгоритма быстрого вейвлет-преобразования.

Наиболее существенные достоинства: симметрия с фильтрами, желаемые свойства для разложения и восстановления разделены, возможно их хорошее распределение. Наиболее существенные трудности: отсутствие ортогональности.

5) Комплексные вейвлеты. К комплексным относится довольно большая группа вейвлетов: Гаусса ($sgauN$), Морле ($cmorFb-Fc$), Шенона ($shanFb-Fc$) и частотные В-сплайновые вейвлеты ($fbspM-Fb-Fc$)

Они обладают минимальными свойствами:

- функция ϕ_i отсутствует;
- анализ не ортогональный;
- функция ψ_i не имеет компактного носителя;
- свойства реконструкции не гарантируются;
- возможен анализ типа комплексной декомпозиции.

Трудности применения: быстрый алгоритм и реконструкция невозможны. Основной недостаток возможен только анализ типа комплексной декомпозиции.

Более подробно рассмотрим третью группу вейвлетов, так как она наиболее полно подходит для обработки дискретного сигнала с ВТП.

ψ_i -функции присущи далеко не всем вейвлетам, а только тем, которые относятся к ортогональным, то есть таким, у которых интеграл от произведения любых двух функций ряда равен нулю. Свойство ортогональности заметно облегчает анализ, дает возможность реконструкции сигналов (полного и точного воспроизведения) и позволяет реализовать алгоритмы быстрых вейвлет-преобразований. Одним из первых известных ортогональных дискретных вейвлетов, порождающего ортонормированный базис – вейвлет Хаара. Недостатком этого вейвлета является отсутствие гладкости, вследствие чего в пространстве частот он не слишком хорошо локализован.

Так как для полной реконструкции сигнала могут быть применены только ортогональные вейвлеты, а вейвлет Хаара обладает «негладкостью», И. Добеши предложила использовать функции, вычисляемые итерационным путем – вейвлеты Добеши. Они обладают следующими свойствами: ортогональностью, компактным носителем (среднее значение функции равно нулю и функция быстро убывает на бесконечности), а также эти функции $n+2$ раза пересекают ось абсцисс. При этом n называют порядком вейвлета В предельном случае, при $n=1$, они сводятся к вейвлетам Хаара. При увеличении порядка вейвлета возрастает «гладкость» вейвлета, что увеличивает его возможности, но при этом также увеличивается объем вычислений при преобразовании. Вейвлеты Добеши не могут обладать симметричностью, что сужает их использование. Однако можно попробовать приблизиться, насколько возможно, к симметрии. Такие вейвлеты, полученные из вейвлетов Добеши, называются симплетами. Вопрос о построении вейвлетов, у которых нулевые моменты имеет не только функция вейвлета, но и порождающий вейвлет, называют койфлетами. Наличие нулевых моментов в порождающих вейвлетах облегчают анализ и вейвлет-преобразование. Койфлеты несимметричны, однако они более симметричны, чем вейвлеты Добеши [4].

Таким образом, проведенный анализ позволит обосновать целесообразность выбора вейвлета при разработке метода 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. Игнатъев, 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. Игнатъев, О.В. Вольтинская // Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении: сб. науч. тр. Саратов: ИПТМУ РАН, 2002. С. 72-74.
3. Дорофеев А.Л. Электромагнитная дефектоскопия / А.Л. Дорофеев, Ю.Г. Казамапов. 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. Игнатъев А.А. Автоматизированная вихретоковая дефектоскопия деталей подшипников / А.А. Игнатъев, А.М. Чистяков, В.В. Горбунов // СТИН. 2002. № 4. С. 17-19.
6. Игнатъев А.А. Автоматизация распознавания дефектов шлифованных деталей в системе мониторинга технологического процесса производства подшипников / А.А. Игнатъев, 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 Technological Processes Management,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Станислав Александрович Игнатъев – 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 Technological Processes Management,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 18.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 620.179.162

С.С. Щеголев, А.Г. Мотков, А.А. Игнатъев

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ

Выполнен сопоставительный анализ методов ультразвукового и виброакустического контроля по распознаванию дефектов в кольцах подшипников. Доказана применимость каждого метода для определения дефектов в кольцах. Обозначены основные отличительные особенности каждого из методов.

Дефект, кольцо подшипника, размер дефекта, ультразвуковой метод, виброакустический метод

S.S. Shchegolev, A.G. Motkov, A.A. Ignatyev

ASSESSMENT OF THE BEARING RINGS USING THE ULTRASONIC OR ACOUSTIC METHODS

A comparative analysis is used for the methods of ultrasonic and acoustic control to detect the defects in the rings of the bearings. It is proved that each of the methods can be applied to detect defects in the rings. The main distinctive features of each method have been identified.

Defect, ring of the bearing, defect size, ultrasonic method, vibro-acoustic method

Определение локальных дефектов в кольцах подшипников возможно с помощью ряда методов. [1] Однако только виброакустический и ультразвуковой методы позволяют обнаружить внутренние дефекты колец, в частности, трещины. Это является их отличительной особенностью от других методов неразрушающего контроля.

В данной статье производится сопоставление методов виброакустического и ультразвукового контроля на основании анализа измерений серии колец подшипников. В ходе эксперимента каждое кольцо подшипника проходит последовательный анализ с помощью ультразвукового [2, 3] и виброакустического методов. Установка для ультразвукового анализа включает в себя дефектоскоп с подключенным к нему пьезоэлектрическим преобразователем, АЦП для подключения дефектоскопа к ПК, компьютер с установленным на него программным обеспечением, позволяющим анализировать поступивший с АЦП массив данных, снятых с дефектоскопа. Для реализации виброакустического метода требуется установка, позволяющая производить точечное импульсное воздействие на объект исследования, прибор для измерения шума и вибрации, пьезоэлектрический датчик и персональный компьютер с программным обеспечением, анализирующим виброакустический сигнал.

Каждый из предложенных методов обладает характеристиками, присущими только ему. В частности, обработка данных виброакустическим методом занимает порядка 10 секунд при исследовании одного кольца. В то время, как обработка данных, полученных ультразвуковым методом занимает примерно 2-3 минуты. (фраза типа экспресс-диагностики для всех)

При этом ультразвуковой эхо-метод позволяет точно определить местоположение (координаты и глубину залегания трещины). Виброакустический метод свободных колебаний позволяет охарактеризовать только общее состояние исследуемого кольца на наличие дефекта.

В плане реализации для работы и ультразвукового, и виброакустического методов разработано специализированное программное обеспечение, позволяющее проводить обработку данных и давать заключение о наличии дефекта. При этом для использования методов не требуется особых знаний в специализированной предметной области.

Эксперимент заключается в поиске дефектов в кольцах подшипников с использованием рассматриваемых методов. Для обеспечения достоверности сканирование каждого кольца многократно повторяется. Примеры полученных результатов приведены на рисунках.

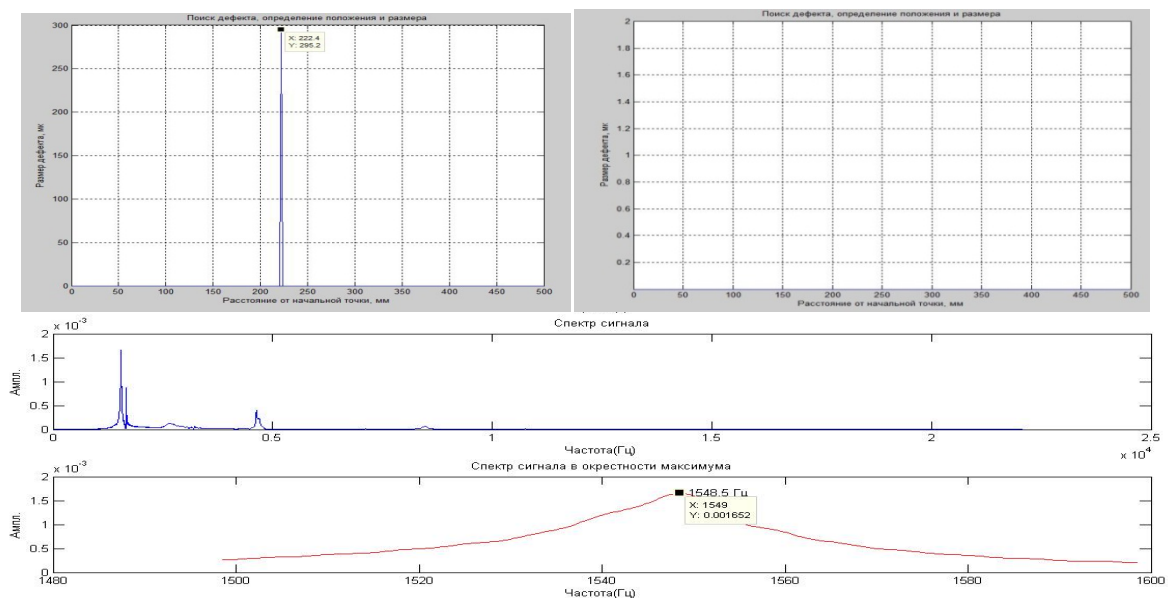
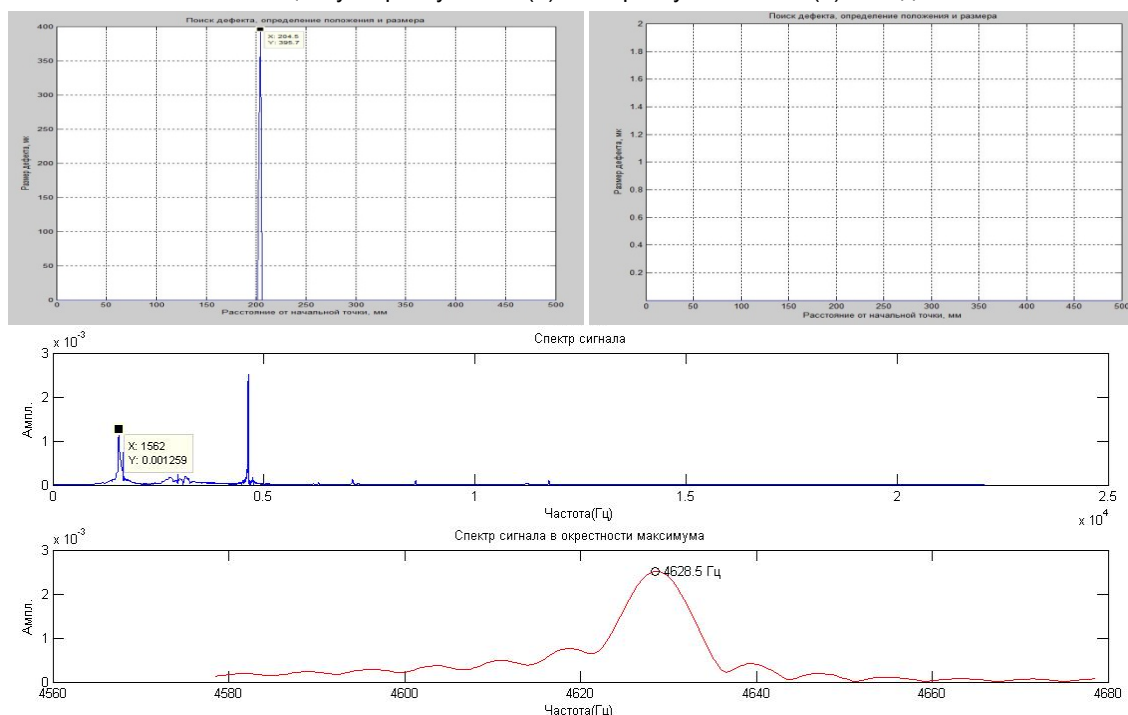
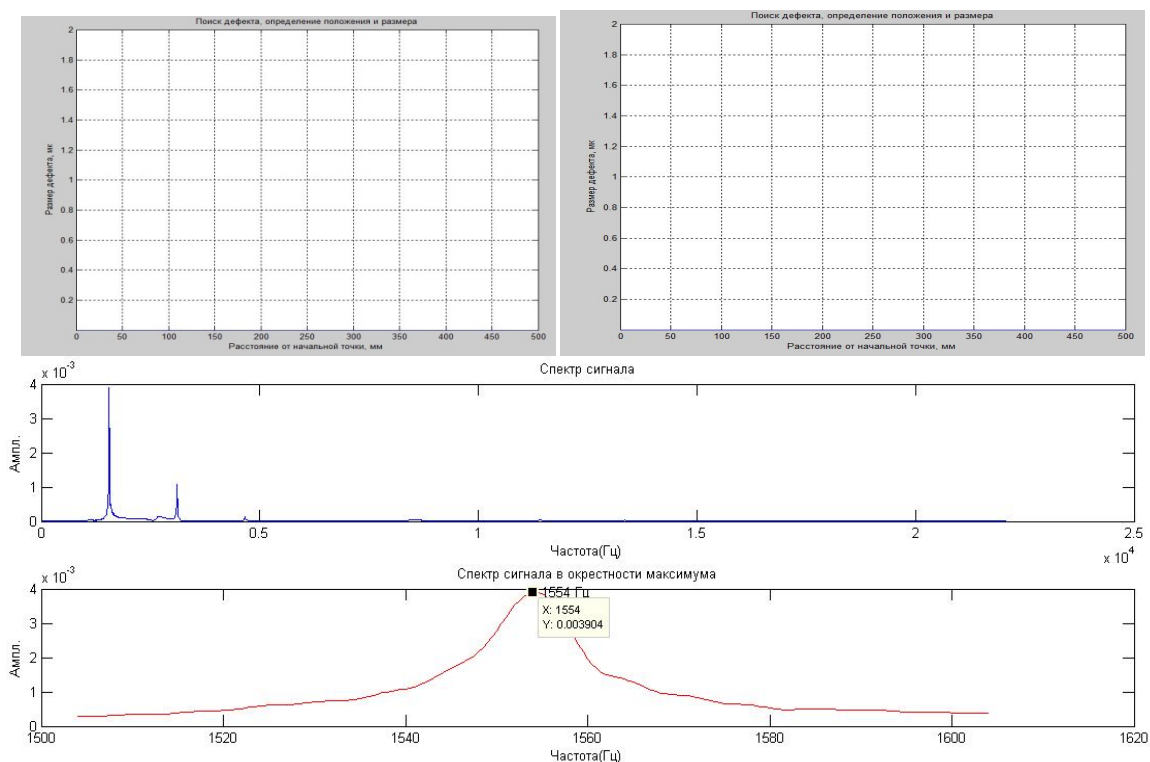


Рис. 1. Графики, полученные в результате исследования первого из колец подшипников серии с помощью ультразвукового (а) и виброакустического (б) методов



Таким образом, на основании ультразвукового метода контроля в кольцах подшипников под условными номерами 1-3 и 5 выявлены дефекты. Кольцо под номером 4 является бездефектным. Это подтверждено виброакустическим методом. Далее приведены значения для каждого из колец подшипников.

Первое кольцо характеризуется значением амплитуды на резонансной частоте, равным 0,0017. При этом в кольце имеется дефект, размер которого составляет 295 мкм.

Для второго кольца значение амплитуды на резонансной частоте равно 0,0021. При этом в кольце присутствуют дефекты, размеры которых составляют 201, 207 и 293 мкм.

Для третьего кольца значение амплитуды на резонансной частоте равно 0,0022. При этом в кольце присутствуют дефекты, размеры которых составляют 209 и 340 мкм.

Для четвертого кольца значение амплитуды на резонансной частоте равно 0,0039. При этом в кольце дефектов не обнаружено.

Пятое кольцо характеризуется значением амплитуды на резонансной частоте, равным 0,0013. При этом в кольце имеется дефект, размер которого составляет 395 мкм.

Для большей наглядности все полученные дефекты сведем в таблицу.

Сравнение результатов ВА и УЗ методов дефектоскопии

Номер кольца	Ультразвуковой анализ (размер дефекта)	Виброакустический анализ (показатель динамичности)
1	295	0,0017
2	201, 207, 293	0,0021
3	209, 340	0,0022
4	Дефектов не обнаружено	0,0039
5	395	0,0013

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. С возрастанием размера дефекта уменьшается значение амплитуды на резонансной частоте. Это отчетливо видно на примере кольца под номером 5. Оно имеет дефект максимального размера и при этом минимальное значение амплитуды на резонансной частоте. В свою очередь, бездефектное кольцо имеет максимальное значение амплитуды, причем оно отличается на величину 0,0017 от максимального полученного значения данного параметра в дефектном кольце. Стоит отметить, что значения амплитуд в кольцах с несколькими дефектами незначительно превышают значения амплитуд в кольцах с единственным дефектом, но это не играет роли в процессе определения состояния кольца.

Из сравнительного анализа следует, что оба метода применимы для поиска дефектов в кольцах подшипников. При этом рекомендуется применение виброакустического метода для экспресс-анализа колец подшипников, а ультразвукового – для детального анализа отбракованных колец, так как метод позволяет определять точный размер и положение дефекта. Считается, что для однозначной оценки состояния любой детали необходимо применение двух различных методов неразрушающего контроля. Дальнейшая работа состоит из объединения предложенных методов для анализа колец подшипников на наличие дефекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика / В.В. Ключев. М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
2. Щеголев С.С. Экспериментальное обнаружение неоднородностей в строении внешнего кольца подшипника качения колесной пары вагона / С.С. Щеголев, А.Г. Мотков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. 2012. С. 202-207.
3. Щеголев С.С., Мотков А.Г. Использование ультразвукового метода для определения дефектов внешних колец подшипников качения колесной пары вагона / С.С. Щеголев, А.Г. Мотков // Современные вопросы науки и образования – XXI век. 2012. С. 160-161.

Щеголев Сергей Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Sergey S. Shchegolev – Postgraduate Department of Automation, Control and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Мотков Александр Геннадьевич – аспирант кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksander G. Motkov – Postgraduate Department of Automation, Control and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Игнатьев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksander A. Ignatyev – Dr. Sc., Professor Head: Department of Automation, Control and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

М.А. Щербаков, В.А. Кушников

**АНАЛИЗ ВЫПОЛНИМОСТИ ДЕРЕВЬЕВ ЦЕЛЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ**

*Рассмотрены задачи анализа ситуационного управления, позволяющие
осуществить проверку выполнения плана мероприятия производства.*

Деревья целей, план мероприятий, автоматизированная система, безопасность

M.A. Scherbakov, V.A. Kushnikov

**A STUDY OF FEASIBLE OBJECTIVES WHEN MANAGING INFORMATION SECURITY
AT COMPANIES AND ORGANIZATIONS**

*The article considers the objectives related with the study of situational control
which ensures verification of plans for activities at an enterprise.*

Objective «trees», action plan, automated system, security

Введение

«По-настоящему безопасной можно считать лишь систему, которая выключена, замурована в бетонный корпус, заперта в помещении со свинцовыми стенами и охраняется вооруженным караулом, но и в этом случае сомнения не оставляют меня» [1]. Эта крылатая фраза профессора Южина Спаффорда, одного из крупнейших экспертов в области безопасности и защищенности операционных систем, директора Центра образования и исследования защищенности и безопасности информации при университете в Пёдью, на наш взгляд, как нельзя лучше показывает сложность, многоаспектность и комплексный характер проблемы управления информационной безопасностью.

Методики управления информационной безопасностью в структурных подразделениях предприятий и организаций в настоящее время хорошо известны и детально разработаны, их требования подробно изложены, например, в международных стандартах ISO/IEC 27002, британском стандарте BS 7799, в ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–2002, а также во многих других документах [2-12]. Успешная реализация основных положений этих документов на практике невозможна без разработки подробного плана мероприятий по обеспечению информационной безопасности предприятия или организации, затрагивающего деятельность всех его структурных подразделений. Эти планы, как правило, формируются в виде деревьев целей, они имеют сложную структуру и могут состоять из сотен отдельных мероприятий, выполняемых в различные промежутки времени на разных уровнях иерархии объекта управления. При этом на каждое мероприятие влияют многочисленные условия, препятствующие или способствующие его осуществлению, которые также необходимо иметь в виду при разработке комплексного плана управления информационной безопасностью предприятия или организации.

В настоящее время созданы и прошли проверку практикой многочисленные автоматизированные системы управления производственными процессами, в контурах которых возможно осуществить формирование и контроль исполнения деревьев целей по обеспечению информационной безопасности предприятий и организаций [6, 7]. В трудах зарубежных и отечественных ученых, таких как Э. Фейгенбаум, Д. Уотермен, С. Рассел, П. Норвиг, Д.А. Поспелов, О.И. Ларичев, А.Ф. Резчиков и других подробно разработаны общие принципы построения этих систем [13-15].

Вместе с тем в специальной литературе, по сведению авторов, практически отсутствуют сообщения о математическом обеспечении, позволяющем оперативно подтвердить или опровергнуть возможность выполнения крупных целей, достижение которых необходимо, например, для управления информационной безопасностью крупных предприятий и организаций, а также установить причины, препятствующие их осуществлению.

Данное обстоятельство значительно затрудняет реализацию известной концепции «управления по целям» (англ. objective management), в соответствии с которой цель должна быть [16]:

- четкой, определённой (Specific);
- измеримой (Measurable);

- достижимой (Achievable).
- обеспеченной ресурсами (Relevant);
- ограниченной во времени (Time-bounded).

В результате даже опытные, высококвалифицированные специалисты могут испытывать значительные трудности при оценке выполнимости сложных деревьев целей, состоящих из нескольких сотен вершин, что зачастую приводит к срыву намеченной стратегии управления безопасностью, нерациональному использованию ресурсов и, как следствие, к значительному экономическому ущербу.

Приведенные выше соображения обуславливают актуальность, экономическую целесообразность и практическую значимость данной статьи, посвященной разработке математических моделей и алгоритмов, позволяющих оперативно оценить выполнимость сложных деревьев целей, осуществляемых при управлении информационной безопасностью предприятия или организации, и установить причины, препятствующие их реализации.

Постановка задачи, ограничения и допущения

Допустим, что на промышленном предприятии или в организации возникла сложная ситуация $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$, связанная с нарушением функционирования системы информационной безопасности, в результате которой объект управления перешел в состояние $s_0(\vec{x}, \vec{u}) \in \{S(\vec{X}, \vec{U})\}$ и ему был причинен существенный ущерб ($\{S(\vec{X}, \vec{U})\}$ – множество допустимых состояний объекта управления, $\{W(\vec{X}, \vec{U})\}$ – множество контролируемых ситуаций предприятия или организации; векторы параметров среды $\vec{x} \in \{\vec{X}\}$ и управляющих воздействий $\vec{u} \in \{\vec{U}\}$, соответственно).

Примем также, что, переход объекта управления в состояние $s_k(\vec{x}, \vec{u}) \in \{S(\vec{X}, \vec{U})\}$ приведет к ликвидации возникшей сложной ситуации $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$ и позволит минимизировать возникший ущерб.

Для разрешения сложной ситуации $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$ управленческим персоналом был разработан комплекс мероприятий, представленный в виде дерева целей $d \in \{D\}$, по поэтапному переводу объекта управления из состояния $s_0(\vec{x}, \vec{u}) \in \{S(\vec{X}, \vec{U})\}$ в состояние $s_k(\vec{x}, \vec{u}) \in \{S(\vec{X}, \vec{U})\}$, означающее окончание сложной ситуации ($\{D\}$ – множество допустимых деревьев целей). В дальнейшем будем считать, что дерево целей $d \in \{D\}$ состоит из конечного набора целей $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, при реализации каждой из которых происходит переход объекта управления из состояния $s_i(\vec{x}, \vec{u}) \in \{S(\vec{X}, \vec{U})\}$ в состояние $s_{i+1}(\vec{x}, \vec{u}) \in \{S(\vec{X}, \vec{U})\}$, $i = \overline{0, k-1}$.

Допустим также, что на выполнение каждой из целей $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ влияют условия $B_i(\vec{x}, \vec{u})$, $i = \overline{1, g}$, вытекающие из особенностей функционирования объекта и системы управления, а также зависящие от состояния окружающей среды. Данные условия, оказывающие влияние на выполнение цели $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, в общем случае могут быть формализованы с помощью продукций, которые имеют вид следующих выражений:

ЕСЛИ ВЫПОЛНЯЕТСЯ $\langle B_1(\vec{x}, \vec{u})R_1B_2(\vec{x}, \vec{u})R_2\dots R_{k-1}B_k(\vec{x}, \vec{u}) \rangle$, ТО ЦЕЛЬ $\langle z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ БУДЕТ ВЫПОЛНЕНА \rangle

$$R_i \in \{ AND, OR, NOT, AND - NOT, OR - NOT \}, i = \overline{1,5} \quad (1)$$

Если количество проверяемых условий равно двум или одному, то в (1) они записываются в виде выражений $B_1(\vec{x}, \vec{u}) AND B_2(\vec{x}, \vec{u})$ или $B_1(\vec{x}, \vec{u})$, соответственно.

Цель $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ является выполнимой, если:

– исполнены все предшествующие ей цели дерева $d \in \{D\}$;

– выполнены влияющие на цель $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ правила $B_i(\vec{x}, \vec{u}), i = \overline{1, g}$, заданные в виде выражений (1).

При нарушении хотя бы одного из данных условий цель $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ не может быть выполнена.

При нарушении хотя бы одного из данных условий цель $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ не может быть выполнена.

Дерево целей D будет выполнимым, если выполнимы все его цели, и невыполнимым, если оно содержит хотя бы одну цель, которую в сложившихся условиях невозможно достичь. С учетом приведенных выше определений и допущений формализованная постановка решаемой задачи имеет следующую формулировку.

Для систем автоматизированного управления информационной безопасностью предприятий и организаций разработать математические модели и алгоритмы, позволяющие в режиме реального времени формальными методами подтвердить или опровергнуть выполнимость цели, представленной в виде дерева целей D , установить причины, препятствующие ее достижению, и рекомендовать способы их устранения.

Общая характеристика метода решения

В основу предлагаемого метода решения поставленной задачи положен известный эвристический подход, основанный на представлении дерева целей в виде схемы цифрового дискретного устройства DU , построенной на основе конъюнкторов, дизъюнкторов и инверторов. Данный подход к анализу выполнимости деревьев целей и планов мероприятий впервые был предложен и обоснован для диалоговых систем оперативного управления производственными процессами в трудах чл.-корр. РАН А.Ф.Резчикова и представителей его научной школы [15-19].

Рассмотрим основные положения данного подхода. Для каждого мероприятия проверяемого плана формируется система условий, выполнение которых, по мнению ЛПР, непосредственно влияет на выполнение или невыполнение соответствующего мероприятия. Условия должны быть сформированы в виде продукций, т.е. иметь вид выражений (1).

Использование данной системы условий позволяет формализовать знания ЛПР о причинно-следственных связях, без учета которых выполнение того или иного мероприятия плана ликвидации сложной производственной ситуации $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$ может привести к получению нежелательного результата.

Каждому входу цифрового устройства DU во взаимно однозначное соответствие ставится или цель $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, или условие $B_i(\vec{x}, \vec{u})$. При выполнении данных мероприятий и условий на соответствующий им вход цифрового устройства DU подается единичный сигнал, а при невыполнении – нулевой.

Управленческий персонал предприятия, формируя на входах цифрового устройства DU двоичные сигналы, соответствующие выполнению или невыполнению условий $B_i(\vec{x}, \vec{u}), i = \overline{1, g}$, и мероприятий $z_i \in \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, по значению выходного сигнала может оперативно подтвердить выполнимость крупной цели, характеризуемой деревом целей d , или определить причины ее невыполнения.

Математические модели и алгоритмы

В зависимости от того, используются ли при формальном описании дерева целей условия (1), при анализе выполнимости цели d применяются различные формальные модели и алгоритмы, отличающиеся сложностью их построения.

Модель А. Представим дерево целей d в виде ориентированного графа $G(U, E)$, множество вершин U которого – мероприятия разработанного плана, а множество E – дуги, соединяющие эти вершины $u_i \in U$. При этом вершины $u_i, u_j \in U$ графа $G(U, E)$ соединяются дугой $e_{ij} \in E$ в том и

только том случае, если для двух мероприятий плана $m_i, m_j \in M$, соответствующих этим вершинам, выполняется отношение $R1$ – «выполнение нетранзитивно зависит от».

В процессе формирования модели A граф $G(U, E)$ описывается системой продукций, формируемой по следующему алгоритму.

Алгоритм 1

1. Начало работы.

2. На графе $G(U, E)$ определить вершину u^* с нулевой полустепенью захода $d^-(u^*) = 0$

На схеме плана мероприятий M эта вершина соответствует вершине M_1 – «План мероприятий выполнен».

3. На графе $G(U, E)$ определить все вершины $u_{m_0}, u_{k_0}, u_{h_0}, \dots, u_0 \in U$, соединенные дугами с вершиной u^* .

4. В формируемую продукционную модель записать условие:

ПЛАН M БУДЕТ ВЫПОЛНЕН, ЕСЛИ ВЫПОЛНЕНЫ МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНАМ ГРАФА u_{m_0} AND u_{k_0} AND u_{h_0} AND ... AND u_0

5. Для вершины u_{m_0} , определить все вершины $u_{m_1}, u_{k_1}, u_{h_1}, \dots, u_{l_1}$, соединенные дугами с вершиной u_{m_0} .

6. В формируемой продукционной модели записать условие: МЕРОПРИЯТИЕ u_{m_0} БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО, ЕСЛИ ВЫПОЛНЕНЫ МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНАМ ГРАФА u_{m_1} AND u_{k_1} AND u_{h_1} AND ... AND u_{l_1}

7. Продолжить формирование продукционной модели до тех пор, пока не будут достигнуты конечные вершины графа $G(U, E)$, т.е. вершины с нулевой полустепенью исхода $d^+(u_k) = 0$.

8. Конец алгоритма.

Затем по известным правилам, используемым при проектировании цифровых ЭВМ[20,21], системе продукций ставится в соответствие логическая функция $f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk})$, где $u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk}$ – конечные вершины графа $G(U, E)$, т.е. вершины, полустепень исхода которых равна нулю. При этом каждый аргумент u_{ij} функции $f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk})$ должен принимать значение 1 или 0, что будет означать выполнение или невыполнение мероприятия $m_{ij} \in M$, соответствующего вершине u_{ij} графа $G(U, E)$. Логическая функция, формируемая на выходе DU , принимает следующие значения:

$$f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk}) = \begin{cases} 1, & \text{если план выполнен} \\ 0, & \text{если план не выполнен} \end{cases}$$

Задавая различные комбинации значений аргументов $u_{1k}^0, u_{2k}^0, \dots, u_{vk}^0$ и определяя соответствующие этим аргументам значения функции $f(u_{1k}^0, u_{2k}^0, \dots, u_{vk}^0)$, можно анализировать степень выполнения намеченного плана мероприятий; определить невыполненные мероприятия, сдерживающие успешное осуществление разработанного плана, и получить новые знания об условиях выполнения плана M .

Модель В. Данная модель строится на основе модели A и отличается от нее тем, что учитывает влияние на выполнение отдельных мероприятий плана $m_i \in M$ условий (1), задаваемых управленческим персоналом на основе личного опыта, интуиции, хорошего знания особенностей функционирования объекта и системы управления и т.д. Данные условия могут носить необходимый или достаточный характер и касаться выполнения тех или иных мероприятий плана M . При этом указанные условия могут быть сформированы как заранее, на этапе первоначальной разработки плана мероприятий, так и добавлены в этот план в процессе его практической реализации. Условия должны быть представлены в виде продукций и объединяться операциями AND, OR, NOT. В частности, они могут иметь следующий вид:

$$\text{МЕРОПРИЯТИЕ } m_i \text{ БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО, ЕСЛИ } (\langle N1 \rangle \leq N1) \text{ OR } ((N2 \leq N2 \text{ AND } N3 \geq N3) \text{ AND } N4 \leq N4); \quad (2)$$

$N1:: = \langle \text{Количество неработающих компьютеров} \rangle;$

$N2:: = \langle \text{Продолжительность вирусной атаки, ч} \rangle;$

$N3:: = \langle \text{Степень интенсивности воздействия на информационную систему, \%} \rangle;$

$N4:: = \langle \text{Ожидаемая продолжительность периода восстановления, ч} \rangle;$

(I – порядковый номер мероприятия в плане M ; $N1, N2, N3, N4$ – логико-лингвистические переменные, значения которых заданы приведенными выше соотношениями; $N1, N2, N4, N4$ – известные константы).

Использование условий (1) позволяет повысить качество планирования мероприятий по ликвидации сложных ситуаций $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$, а также заранее проверить выполнимость разработанного плана в складывающихся условиях и, при необходимости, осуществить его коррекцию. Кроме того, данные продукции могут заноситься в базу данных информационной системы вместе с документами, регламентирующими поведение оперативно-диспетчерского персонала предприятия или организации и использоваться как в процессе подготовки и принятия решений при ликвидации ситуаций $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$, так и на этапе обучения персонала эффективным действиям при нарушениях информационной безопасности.

Для построения модели B , как и в случае модели A , по структурной схеме плана мероприятий M в соответствии с алгоритмом 1 формируется граф $G_1(U, E)$. Отличием является добавление в пункты 4, 6 и 7 алгоритма 1 продукции (1), связывающих реализацию тех или иных мероприятий плана $m_i \in M$ с выполнением предварительно заданных условий. Затем по графу $G_1(U, E)$ формируется логическая функция $f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk})$ (где $u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk}$ – конечные вершины графа $G_1(U, E)$) и синтезируется цифровое устройства на базе конъюнкторов, дизъюнкторов и инверторов, имеющего ту же таблицу состояний, что и логическая функция $f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk})$. Формирование логической функции и синтез цифрового устройства DU осуществляется по той же методике, что и при построении модели A .

При помощи цифрового устройства DU , реализация которого может быть осуществлена как программным, так и аппаратным способом, оценивается возможность выполнения плана при различных условиях.

Оперативная оценка выполнимости плана мероприятий. На текущий момент времени анализируется выполнение всех мероприятий $m_i \in M$, а также условий выполнения этих мероприятий, входящих в состав продукции (1). На вход цифрового устройства DU подаются единичные сигналы, соответствующие уже выполненным мероприятиям и условиям (1), и нулевые сигналы – соответствующие невыполненным.

Определяется сигнал на выходе DU . Если он равен 1, то в текущий момент времени дерево целей $d \in \{D\}$ по ликвидации сложной ситуации $w(\vec{x}, \vec{u}) \in \{W(\vec{X}, \vec{U})\}$, возникшей в результате нарушения информационной безопасности, может быть реализовано. В противном случае осуществляется коррекция условий (1) и проверяемого плана мероприятий.

Заключение

Рассмотренный в данной статье подход к анализу выполнимости деревьев целей позволяет создать методологическую основу для разработки новых систем управления информационной безопасностью с когнитивными функциями, использование которых повысит надежность и эффективность функционирования предприятий и организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eugene H. Spafford: Cyber Security: Assessing Our Vulnerabilities and Developing an Effective Defense. ISIPS 2008: P. 20-33.
2. BS 7799-1: 2005. Information security management. Code of practice for information security management
3. BS 7799-2: 2005. Information security management. Specification for information security management systems.

4. BS 7799-3: 2006. Information security management systems. Guidelines for information security risk management.
5. BS 7799-3:2006 “Information security management systems – Part 3: Guidelines for information security risk management”.
6. Information Security Management Handbook. Fifth Edition. CRC Press, 2004 г.
7. ISO/IEC TR 13335-3:1998 “Information technology – Guidelines for the management of IT Security – Part 3: Techniques for the management of IT security”.
8. Risk Management Guide for Information Technology Systems. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. - Special Publication 800-30, 2002.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044 «Информационная технология. Методы обеспечения безопасности. Руководство по менеджменту безопасностью информации».
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий».
11. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения.
12. О внедрении ГОСТ ИСО/МЭК 17799 и 27001 / С.А. Леденко, А.С. Марков и др. // Information Security, 2006 -№3/4.
13. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению I / С.Н. Васильев // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5-22.
14. Васильев С.Н.. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению II / С.Н. Васильев // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 2. С. 5-21.
15. Модели и алгоритмы постановки задач разработки АСУ промышленными объектами / А.Ф. Резчиков, В.А. Кушников, Е.И. Шлычков, О.М. Бойкова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 9. С. 64-68.
16. Анализ выполнимости планов мероприятий при оперативном управлении машиностроительным предприятием / Е.И. Шлычков, М.Ю. Похазников, В.А. Кушников, О.М. Калашникова // Вестник СГТУ. 2007. Т. 1. № 1. С. 88-95.
17. Математические модели и алгоритмы оперативного управления процессами ликвидации чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Аветисян, В.А. Кушников, А.Ф. Резчиков, В.А. Родичев // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 11. С. 43-47.
18. Родичев В.А. Модели и алгоритмы поиска данных в информационных системах промышленного предприятия / В.А. Родичев, А.Ф. Резчиков, В.А. Кушников // Информационные технологии. 2005. № 8. С. 62.
19. Kushnikov V.A. Control in man-machine systems with automated correction of objectives / V.A. Kushnikov, A.F. Rezhnikov, A.D. Tsvirkun // Meitan Kexun Jishu/Coal Science and Technology (Peking). 1998. Т. 26. № 11. С. 168-175.
20. Друкер П. Ф. Менеджмент: задачи, обязанности, практика: пер. с англ. / Питер Ф. Друкер. М. : Вильямс, 2008. 992 с.
21. Андерсон Дж. Дискретная математика и комбинаторика: пер. с англ. / Дж. Андерсон. М.: Вильямс, 2003. 960 с.

Щербakov Максим Александрович – аспирант Института проблем точной механики и управления РАН

Maxim A. Shcherbakov – Postgraduate
Institute of Precision Mechanics and Control,
Russian Academy of Sciences

Кушников Вадим Алексеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ПИТ Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vadim A. Kushnikov – Dr. Sc., Professor
Department of Applied Information Technologies,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 21.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.891.3

А.О. Еськин, В.П. Костюк

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Предлагается подход к построению адаптивной экспертной системы, ядром которой является множество параллельных нейросетевых моделей. Приводятся результаты экспериментов, показывающих практическую целесообразность предлагаемого подхода.

Нейронные сети, экспертные системы, адаптивные модели, диагностика сложных систем

A.O. Eskin, V.P. Kostyuk

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PARALLEL NEURAL NETWORK MODELS FOR DIAGNOSING COMPLEX SYSTEMS

This article contains an approach to building an adaptive expert system with the core which presents a set of parallel neural network models. Experimental results show feasibility of the proposed approach.

Neural networks, expert systems, adaptive models, diagnostics of complex systems

Одной из актуальных проблем поддержки работы сложных трудноформализуемых систем является определение текущих состояний системы и её компонентов. В ряде случаев для решения данной задачи существует возможность разработки математической модели системы и сравнение параметров её работы с реальными. Однако построение математической модели процессов, происходящих в трудноформализуемых системах, в большинстве случаев является сложно осуществимой задачей из-за размерности вектора взаимосвязанных параметров системы, их нечеткости и трудноформализуемости.

Для диагностики подобных систем в большинстве случаев используются производственные методы, связанные с контролем допустимых границ изменения мгновенных параметров. Применение подобных методов связано с простотой реализации и сравнительно низкой вычислительной сложностью. Однако в ряде случаев точность и оперативность анализа состояния системы при использовании производственного подхода критически недостаточна.

Оперативность распознавания текущих состояний сложных систем является необходимым критерием для принятия оперативного решения в управлении.

В статье предлагается подход к применению параллельных нейросетевых моделей в качестве адаптивного ядра экспертной системы для диагностики сложных систем и распознавания их состояний.

Новизна данной работы заключается в использовании параллельного адаптивного амплитудного и частотного анализа для уменьшения размерности вектора параметров системы, что делает возможным применение классических методов. Адаптивность модулей амплитудного и частотного анализа позволяет получить достаточно высокую точность распознавания.

Для рассмотрения особенностей предлагаемого подхода, модель сложной системы представляется следующим образом.

Структура системы S в целом представляется множеством автономных подсистем S_i

$$S = \{S_i \mid i = \overline{1, I}\} \quad (1)$$

Известны статические U_i и динамические D_i параметры подсистем S_i

$$\begin{aligned}\forall S_i \exists U_i &= \{U_\alpha^i \mid \alpha = \overline{1, A_i}\} \\ \forall S_i \exists D_i &= \{D_\beta^i \mid \beta = \overline{1, B_i}\}, \forall i \in I\end{aligned}\quad (2)$$

При функционировании системы S в автономных подсистемах S_i возникают различные ситуации

$$C_i = \{C_{i\mu} \mid \mu = \overline{1, M_i}\}, \forall i \in I \quad (3)$$

Каждая ситуация $C_{i\mu}$ в подсистеме S_i соответствует её определенному состоянию $\overline{C}_{i\mu}$

$$\forall C_{i\mu} \exists \overline{C}_{i\mu} [\overline{U}_i(t), \overline{D}_i(t)], \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4)$$

где $\overline{U}_i(t), \overline{D}_i(t)$ – текущие значения параметров U_i, D_i подсистемы S_i в моменты времени t на интервале предыстории T при переходе её в состояние $\overline{C}_{i\mu}$ в случае возникновения ситуации $C_{i\mu}$. Интервал времени T выбирается экспериментально с учетом особенностей рассматриваемой системы.

В общем случае задача управления рассматриваемой системой может быть представлена в следующем виде.

$$\hat{C}_i \Rightarrow \{\overline{U}_i, \overline{D}_i\} = \overline{C}_i, \forall i \in I \quad (5)$$

где $\hat{C}_i = \{\hat{C}_{i\mu} \mid \mu = \overline{1, M_i}\}, \forall i \in I$ – известные состояния подсистемы S_i , а M_i – количество известных состояний подсистемы S_i

Очевидно, что состояние системы в целом будет определяться множеством состояний входящих в неё подсистем. Множественный и динамический характер состояний $\overline{C}_{i\mu}$ подсистем S_i и соответствующих им значений параметров \overline{U}_i и \overline{D}_i , а также в ряде случаев незначительные отклонения значений текущих параметров в различных ситуациях и различные временные интервалы предыстории этих ситуаций обуславливают сложность поставленной задачи (5).

Известный практический подход к преодолению указанной проблемы состоит в использовании знаний экспертов для идентификации различных ситуаций $C_{i\mu}$ как каждой подсистемы S_i . Однако использование такого подхода для принятия решений в управлении сложными динамическими системами может быть недостаточным для достижения требуемой оперативности в реальном времени.

Авторами предлагается подход к решению задачи (5), состоящий в разработке адаптивной экспертной системы, основой которой является параллельное нейросетевое ядро.

$$[\{\overline{U}_i(t), \overline{D}_i(t)\} \Rightarrow Z(B)] = (\neq) \hat{C}_i, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (6)$$

где B – база знаний экспертной системы; Z – адаптивное нейросетевое ядро, представляющее взаимосвязанную совокупность объектно-ориентированных нейросетевых моделей Z_β .

База знаний в предлагаемой системе представляется в виде реляционной модели, хранящей данные о ситуациях, группах ситуаций, признаках их возникновения, и способах управления для всех подсистем S_i . База знаний также включает в себя входные и выходные векторы, интервалы предыстории, весовые коэффициенты соответствующих нейросетевых моделей.

$$B = \{B_k \mid k = \overline{1, M}\} \quad (7)$$

При этом запись о ситуациях представляется в следующем виде:

$$B_k = \{E_k, X_k, L_k\} \quad (8)$$

где $E_k = \{\hat{C}_k, G_\alpha\}$ – идентификатор ситуации, состоящий из описания состояния \hat{C}_k и идентификатора группы ситуаций G_α , в состав которой входит данная ситуация; $X_k = \{\bar{X}_k^\theta | \theta = \overline{1, \Theta_k}\}$ – множество признаков ситуаций, являющихся входными векторами нейросетевых моделей. Здесь Θ_k – количество признаков ситуации \hat{C}_k .

Однако для определения состояния подсистем S_i не достаточно использования только мгновенных значений параметров $\bar{U}_i(t), \bar{D}_i(t)$, а необходим анализ динамики их изменения. Таким образом, вектор признаков ситуации может быть записан в виде временного окна изменения параметров. Временное окно является частью предыстории T_k , на которой возникает данная ситуация.

$$\bar{X}_k^\theta = \{[\bar{U}_k(\tau), \bar{D}_k(\tau)]^q | \tau = \overline{t_k^\ominus - W_k, t_k^\ominus}\} \quad (9)$$

где t_k^\ominus – момент времени возникновения ситуации; W_k – ширина временного окна.

$$W_k = |T_k|, \forall k \in M$$

Признаки ситуации \bar{X}_k^θ и ширина временного окна W_k определяются экспертом при идентификации ситуации.

$L_k = \{L_k^\varphi | \varphi = \overline{1, \Phi_k}\}$ – варианты принятия решений при возникновении k -й ситуации, где Φ_k – количество вариантов реакции на ситуацию E_k .

Для принятия оперативного решения в управлении необходимо обладать некоторым набором знаний, ассоциированных с ситуацией. Очевидно, что в случае возникновения аварийной ситуации требования к квалификации оператора достаточно высоки. Для упрощения деятельности операторов необходимо наличие рекомендаций с известными способами ликвидации аварийной ситуации.

В связи с высокой вычислительной сложностью задачи (5) использование универсальной модели определения различных ситуаций $C_{i\mu}$ для подсистем S_i на их допустимом множестве является затруднительной задачей, поэтому авторами предлагается подход к уменьшению размерности и вычислительной сложности задачи с помощью кластеризации ситуаций.

Ситуации объединяются в группы.

$$G = \{G_\alpha | \alpha = \overline{1, A}\} \quad (10)$$

где A – количество групп ситуаций; $G_\alpha = \{T_\alpha, \bar{X}_\alpha, W_\alpha, \varpi_\alpha\}$ – признаки ситуаций в α -х группах. Здесь T_α – идентификатор группы ситуаций, $\bar{X}_\alpha = \{X_{k^\alpha} | k^\alpha \in E^\alpha\}$ – множество параметров группы, достаточных для определения k -й ситуации, входящей в α -ю группу, а $W_\alpha = \max(W_k), k \in E^\alpha$ – ширина временного окна, достаточного для определения k -й ситуации из группы G_α , ϖ_α – весовые коэффициенты нейросетевой модели Z_α , обученной распознаванию данной группы ситуаций.

Так как каждая ситуация E^α группы G_α в данном случае будет зависеть только от параметров $\bar{X}_\alpha \in \{\bar{U}_i, \bar{D}_i\}$, становится возможным ограничение размерности входного вектора НСМ, и, соответственно, уменьшение вычислительной сложности задачи (5).

Определение текущего состояния системы S в целом сводится к определению принадлежности состояний C_i её подсистем S_i в момент времени τ к какой-либо известной ситуации \hat{C}_i с помощью отображения вектора параметров системы в момент времени τ на вход нейросетевых моделей $Z = \{Z_\alpha | \alpha = \overline{1, A}\}$, каждая из которых сконфигурирована и обучена для распознавания соответствующей группы ситуаций G_α .

$$\bar{C}_i = \{[\{\bar{U}_i(\tau), \bar{D}_i(\tau)\} \Rightarrow Z_\alpha(B)] = (\neq)E_k, \forall k \in E_\alpha, \forall \alpha \in A\}, \forall_i \in I \quad (11)$$

Однако в связи с особенностями системы, рассмотренными при описании модели, определение некоторых состояний возможно лишь после анализа изменения состояния системы, и, соответственно, необходимо учитывать динамику изменения параметров системы на интервале временного окна W_α . В этом случае выражение определения состояния системы (18) примет вид

$$C_i = \{[\{\bar{X}^i \Rightarrow Z_\alpha(B)] = (\neq)E_k, \forall k \in E_\alpha, \forall \alpha \in A\}, \forall_i \in I \quad (12)$$

$$\bar{X}^i = \{\{\bar{U}_i(t), \bar{D}_i(t)\} | t \in [\tau - W_\alpha, \tau]\} \quad (13)$$

где W_α – ширина временного окна ситуации группы G_α .

Попытки использования полносвязной нейросетевой модели [1] в реальных системах выявили необходимость дальнейшего уменьшения размерности входного вектора, поскольку приводили к резкому увеличению времени обучения НСМ, кроме того, в ряде случаев точность распознавания ситуаций после обучения модели не соответствовала допустимой. Очевидный способ решения данной проблемы с помощью уменьшения частоты дискретизации времени неминуемо ведет к потерям в частотной области спектра. Переход к анализу спектра изменения значений параметров вместо самих значений параметров показал падение точности распознавания ситуаций, зависящих от медленно изменяющихся параметров системы. В этом случае, несмотря на то, что точность распознавания ситуаций, зависящих от изменения частоты изменения параметров увеличивается, была выявлена тенденция к снижению общей точности распознавания. Для устранения указанных недостатков предлагается подход к построению нейросетевого ядра экспертной системы в виде структуры, приведенной на рис. 1.

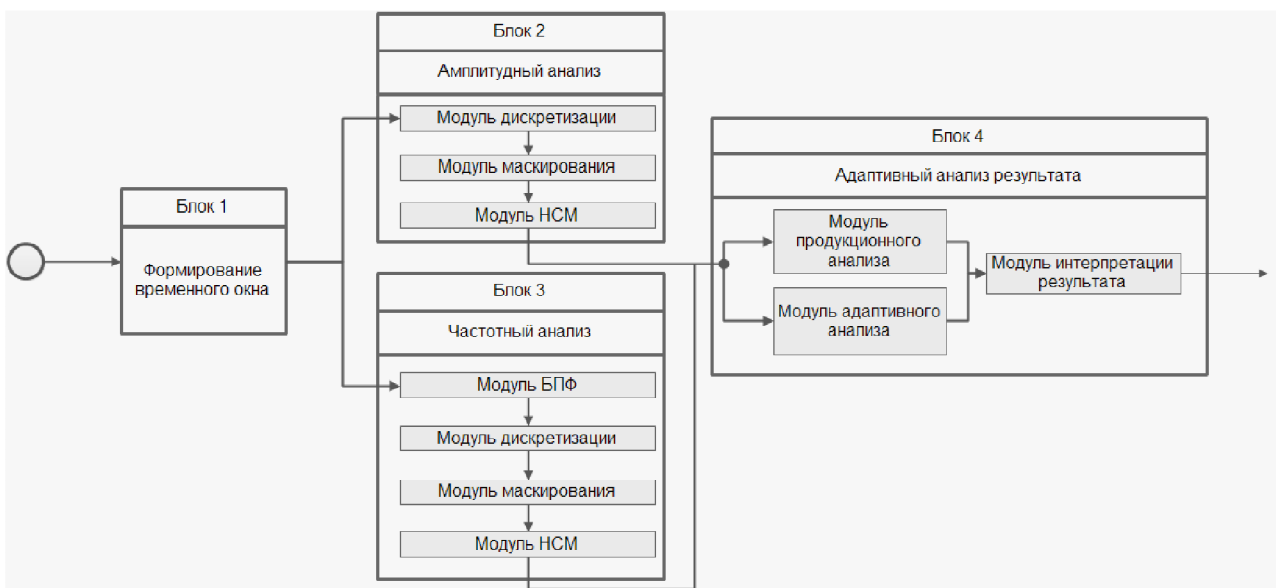


Рис. 1. Общая структура параллельного нейросетевого ядра

Алгоритм функционирования предлагаемого нейросетевого ядра состоит из следующих этапов:

1. Текущие параметры $\bar{U}_i(\tau), \bar{D}_i(\tau)$ каждой подсистемы S_i подаются в **Блок 1**, где представляются в виде входного вектора \bar{X}^i нейросетевого ядра
2. Входной вектор \bar{X}^i параллельно подается на вход блоков амплитудного анализа (**Блок 2**) и блока частотного анализа (**Блок 3**)
3. В **Блоке 2** выполняется параллельное отображение \bar{X}^i на вход нейросетевых моделей $Z^{Am} = \{Z_\alpha^{Am} | \forall \alpha \in A\}$, настроенных и обученных для распознавания групп ситуаций G .
4. В **Блоке 3** выполняется отображение спектра изменения параметров системы $F(\bar{X})$ на вход нейросетевых моделей $Z^F = \{Z_\alpha^F | \forall \alpha \in A\}$, настроенных и обученных для распознавания групп ситуаций G
5. Результаты работы **Блока 2** и **Блока 3** подаются на вход **Блока 4**, где производится заключение о состоянии \bar{C}_i подсистемы S_i

Активация предлагаемого нейросетевого ядра производится для всех подсистем S_i , входящих в S .

Таким образом, выражение (12) может быть представлено в следующем виде:

$$\bar{C}_i = \{[(\bar{X}^i \Rightarrow \begin{bmatrix} Z_\alpha^{Am}(B) \\ Z_\alpha^F(B) \end{bmatrix}) \Rightarrow \Omega(B)] = (\neq)E_k, \forall k \in E_\alpha, \forall \alpha \in A\} \quad (14)$$

где $\Omega(B)$ – блок адаптивного анализа результата.

Предлагаемое нейросетевое ядро позволяет уменьшить размерность входных векторов \bar{X}^i , используемых в НСМ Z_α^{Am} и Z_α^F .

Блоки 1-4 выполняют следующие функции:

Блок 1 – формирует входной вектор \bar{X}^i параллельного нейросетевого ядра Z . Для этого используется модель памяти с линейной задержкой (delay line memory) [3]. Полученное временное окно является входным вектором \bar{X}^i блоков амплитудного и частотного анализа (13).

Блок 2 – выполняется амплитудный анализ вектора \bar{X}^i с помощью параллельного отображения его на вход нейросетевых моделей $Z_\alpha^{Am} \in Z^{Am}$ для распознавания групп ситуаций $G_\alpha \in G$. Данный блок предназначен для анализа медленно меняющихся параметров.

Блок состоит из следующих модулей:

Модуль дискретизации – выполняется фильтрация $\bar{X}(t)$ и дискретизация его по времени для формирования входного вектора $\bar{X}^{Am} = \{X_n^{Am} | n = [1, N]\}$ где N – количество нейронов входного слоя нейросетевой модели Z^{Am} .

Модуль маскирования параметров – преобразует вектор \bar{X}^{Am} во входные векторы $\bar{X}^Z = \{\bar{X}_\alpha | \alpha = \overline{1, A}\}$ нейросетевых моделей Z_α^{Am} распознавания групп ситуаций $G_\alpha \in G$. Использование данного модуля позволяет ограничить размерность входного вектора нейросетевых моделей. Данное уменьшение размерности становится возможным при использовании принципа кластеризации состояний системы в группы по используемым параметрам. Принцип кластеризации состояний представлен в (10). Ограничение размерности нейронной сети, распознающей ситуацию группы α , становится возможным при допущении, что данная ситуация зависит только от параметров $\bar{X}_\alpha \in \bar{X}$. Принцип работы модуля маскирования параметров приведен на рис. 2.

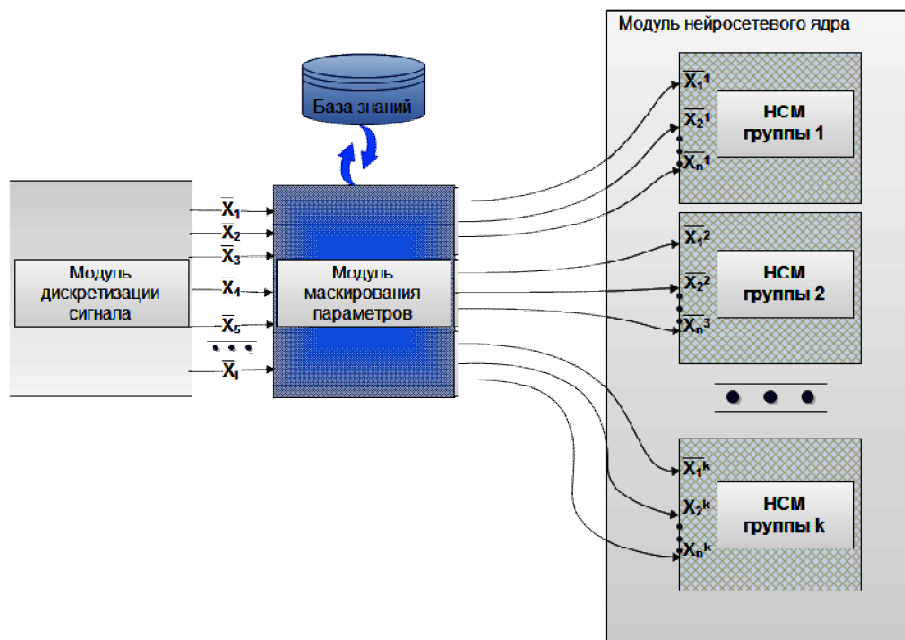


Рис. 2. Схема работы блока маскирования параметров

Модуль НСМ – производит распознавание ситуаций. Данный модуль состоит из системы параллельных нейросетевых моделей $Z_\alpha^{Am} \in Z^{Am}$, каждая из которых ориентирована на распознавание одной из групп ситуаций $G_\alpha \in G$. Структура блока приведена на рис. 3. Уменьшение количества свя-

зей между нейронами скрытых слоев позволяет производить наиболее эффективное обучение модели с помощью многопроцессорных систем.

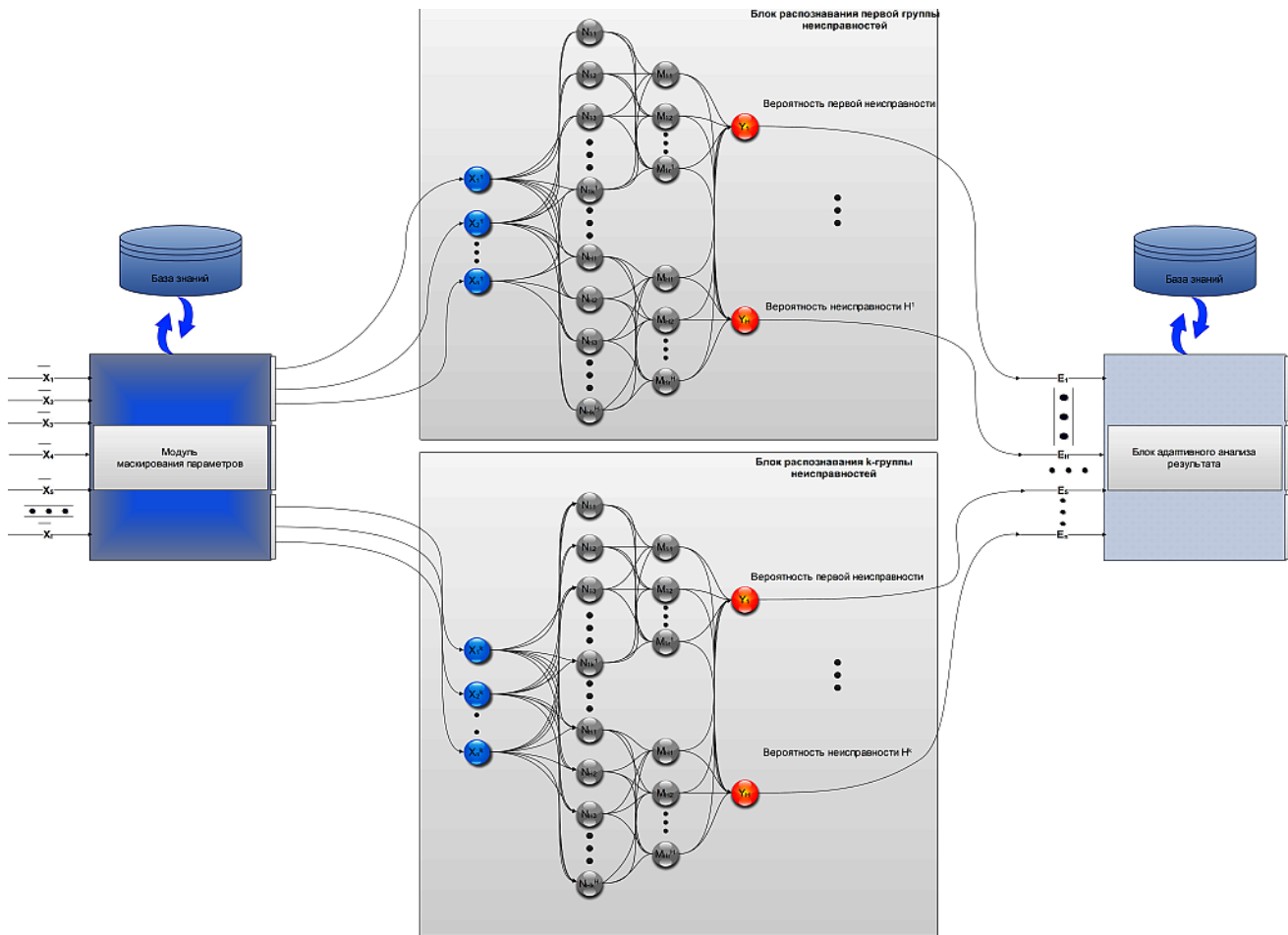


Рис. 3. Структура блока нейросетевого ядра

Результатом активации Блока 1 является амплитудная составляющая σ^{Am} сигнатуры состояния \bar{C}_i подсистемы S_i , которая представляется в следующем виде:

$$\sigma^{Am} = \{\sigma_\alpha^{Am} \mid \sigma_\alpha^{Am} = (\bar{X}_\alpha \Rightarrow Z_\alpha^{Am}(B)), \forall \bar{X}_\alpha \in \bar{X}^{HCM}, G_\alpha \in G, \alpha \in A\} \quad (15)$$

Здесь α – индексы групп ситуаций C_i

Блок 3. Производится анализ спектра вектора \bar{X}^i с помощью параллельного отображения его на вход нейросетевых моделей $Z_\alpha^F \in Z^F$ для распознавания групп ситуаций $G_\alpha \in G$. Данный блок предназначен для распознавания ситуаций, характеризующихся изменением частоты значений параметров $\bar{U}_i(t), \bar{D}_i(t)$. Блок состоит из следующих модулей:

1. Модуль БПФ. Формирует спектр изменения значений параметров \bar{X}^i с использованием быстрого преобразования Фурье
2. Модуль дискретизации. Производит уменьшение размерности входного вектора нейросетевых моделей с помощью снижения частоты дискретизации входного сигнала.
3. Модуль маскирования. Эквивалентен модулю маскирования блока амплитудного анализа.
4. Модуль HCM. Выполняет активацию HCM Z^F при их обучении и распознавании ситуаций C_i

Таким образом, входным вектором модуля нейросетевого ядра будет вектор, состоящий из входных векторов нейросетевых моделей распознавания групп ситуаций:

$$\bar{X}^F = \{F(\bar{X}_\alpha) \mid \alpha = \overline{1, A}\} \quad (16)$$

где A – количество групп ситуаций; \vec{X}_α – множество параметров, достаточных для определения любой ситуации C_i , входящих в группу G_α ; F – оператор преобразования Фурье.

Результатом активации блока частотного анализа является частотная составляющая сигнатуры состояния системы

$$\sigma^F = \{\sigma_\alpha^F \mid \sigma_\alpha^F = (\vec{X}_\alpha^F \Rightarrow HCM^F(B, G_\alpha)), \forall \vec{X}_\alpha \in \vec{X}^{HCM}, G_\alpha \in G, \alpha \in A\} \quad (17)$$

Результирующая сигнатура состояния системы $\sigma = \{(\sigma_\alpha^{Am}, \sigma_\alpha^F) \mid \alpha \in A\}$, полученная при параллельной активации блоков адаптивного амплитудного и частотного анализа, отражает текущее состояние системы в целом.

При снижении размерности результирующего вектора σ становится возможным использование таких инструментов продукционного анализа сигналов, как, например, поиск по базе знаний. В связи с простотой реализации данных алгоритмов и их высоким быстродействием использование модуля продукционного анализа сигнатур является оправданным. Однако высокая избирательность алгоритма продукционного анализа позволяет определить лишь ситуации, наиболее близкие к образам состояний, внесенных в базу знаний.

В связи с наличием нелинейных искажений и изменением параметров системы в процессе её функционирования сигнатура состояний может изменяться. Несмотря на то, что данные изменения достаточно медленны, они могут привести к снижению точности распознавания ситуации. Для компенсации данных изменений сигнатура состояния системы подается на вход нейросетевой модели блока адаптивного анализа результата.

Блок состоит из следующих модулей:

- модуль продукционного анализа – производит поиск сигнатуры системы в базе знаний. Входным вектором модуля является сигнатура состояния системы, а результатом – идентификатор известной ситуации;

- модуль адаптивного анализа – производит распознавание состояния с использованием нейросетевой модели, входным вектором которой является сигнатура состояния системы, а выходным – идентификатор ситуации;

- модуль интерпретации результата – получает в качестве входных векторов идентификаторы ситуаций, полученные при активации модулей детерминированного и адаптивного анализа. Результатом работы блока становится легко интерпретируемое описание состояния и рекомендации по управлению.

Особенность данного блока состоит в возможности взаимного обучения модулей продукционного и адаптивного анализа. Таким образом становится возможным реализация дообучения модулей без привлечения экспертов.

Необходимо отметить, что дообучение HCM может быть выполнено не в моменты обнаружения ситуации, а в период наименьшей загрузки системы.

Предложенный подход был успешно использован при решении задачи распознавания неисправностей агрегативных программно-аппаратных модулей телемеханических комплексов (ТМК) распределенной АСУТП. Для определения состояния модули ТМК S_i непрерывно опрашиваются, а их параметры $\bar{U}_i(t), \bar{D}_i(t)$ сохраняются в базе данных реального времени (БДРВ). Состояние модулей и ТМК в целом определяются по совокупности параметров, собираемыми контролируруемыми пунктами, и динамике изменения значений параметров. Общее количество контролируемых параметров достигает 2×10^4 .

Следует отметить множественный характер учитываемых параметров и нелинейность их изменения делает практически невозможной создание математической модели системы, позволяющую определить её состояние, а использование продукционных методов, контролирующих выход параметров за допустимые границы, в ряде случаев может сигнализировать о разрушении системы или критическом нарушении технологических процессов.

При проведении экспериментов была использована предложенная выше адаптивная экспертная система, структурная схема функционирования которой приведена на рис. 4.

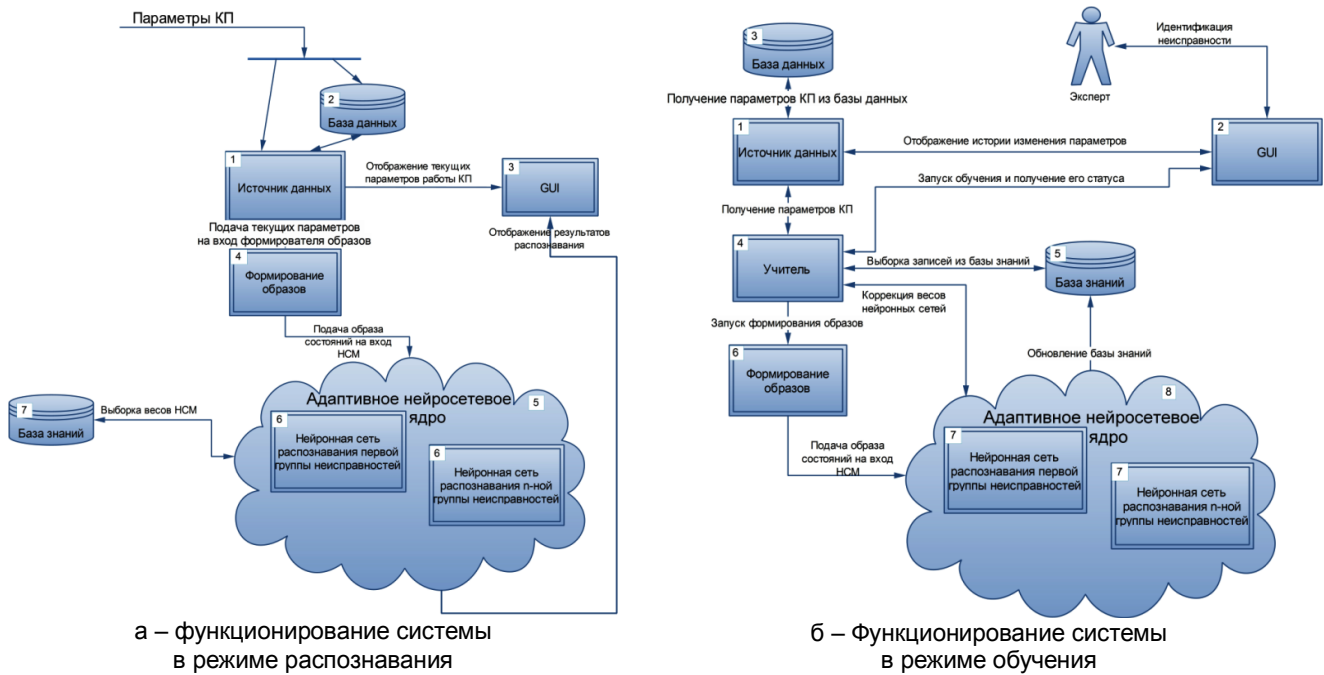


Рис. 4. Адаптивная экспертная система распознавания неисправностей

Для оценки эффективности предлагаемого подхода было выбрано несколько неисправностей C_i модулей S_i ТМК, для каждой из которых экспертами предметной области из БДРВ были выбраны наиболее характерные проявления состояний \hat{C}_i . Анализ неисправностей C_i позволил экспертам разделить их на группы G . Входные векторы \bar{X}^i подавались на вход предложенного параллельного нейросетевого ядра НСМ и классической полносвязной НСМ [2].

Входные векторы включали в себя значения контролируемых параметров $\bar{U}_i(t), \bar{D}_i(t)$, содержащихся в отрезке временного окна W_i , предшествующего моменту возникновения неисправности C_i . Ширина временного окна колебалась для различных неисправностей в пределах 128-1024 отсчетов. Количество параметров каждого модуля, анализируемого обеими НСМ, достигало 500. Мощность входного вектора полносвязной НСМ составила 512000 элементов. Структура полносвязной НСМ включала входной слой – 512000 нейронов, 1-й скрытый слой – 3584000 нейронов, 2-й скрытый слой – 179200 нейронов, выходной слой – 256 нейронов. Выходной слой позволял идентифицировать 256 различных неисправностей.

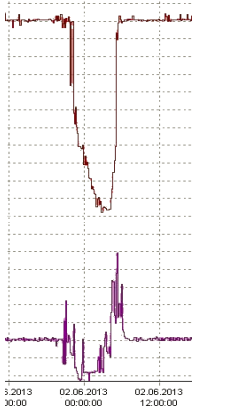
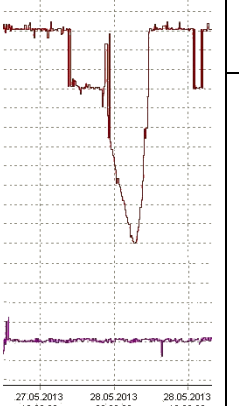

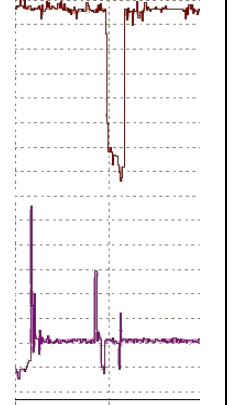
При использовании в предлагаемой экспертной системе параллельного амплитудного и частотного анализа и кластеризацией неисправностей C_i в группы G_α удалось уменьшить размерности входных слоев параллельной НСМ. Таким образом, при разбиении неисправностей на 4 группы и применением постдискретизации временного окна до 128 точек удалось получить 8 параллельных НСМ, структура которых включала входной слой – 512 нейронов, 1-й скрытый слой – 5120 нейронов, 2-й скрытый слой – 10240 нейронов, выходной слой – 64 нейрона. При данных параметрах было достигнуто устойчивое обучение предлагаемого параллельного нейросетевого ядра.

Обе исследуемые системы обучались на 7 случаях проявления каждой неисправности. Ещё 6 случаев проявления неисправности составили тестовое множество. Эффективность оценивалась как отношение количества успешно распознанных состояний к общему их количеству.

Результаты сравнения эффективности моделей приведены в таблице.

Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода при распознавании состояний агрегативных программно-аппаратных модулей рассматриваемой территориально распределенной АСУТП.

Результаты исследований и сравнительного анализа распознавания состояний ТМК

Ситуация		Полносвязная НСМ		Параллельная НСМ	
		Время обучения, с	Точность, %	Время обучения, с	Точность, %
		29420	66	196	100
		48639	50	267	83

Проведение экспериментов и получение практических результатов с предложенной авторами адаптивной экспертной системой выполнялось при технической и технологической поддержке научно-производственной фирмы «Вымпел».

ЛИТЕРАТУРА

1. Еськин А.О. Подход к построению адаптивной экспертной системы диагностики телемеханических комплексов / А.О. Еськин, В.П. Костюк // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: сб. тр. Междунар. науч. конф. Псков, 2011. Т. 6. С. 142-144.
2. Еськин А.О. Разработка архитектуры комплекса распознавания неисправностей в распределенных АСУТП / А.О. Еськин, В.П. Костюк // Проблемы управления, передачи и обработки информации» (АТМ-2011): сб. тр. Междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2011 С. 163-169.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. 2-е изд., испр. М.; СПб.; Киев: Вильямс, 2006. 1104 с.

Еськин Алексей Олегович – аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey O. Eskin – Postgraduate Department of Information Security of Automated Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Костюк Валерий Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Valery P. Kostyuk – Ph. D., Associate Professor Department of Information Security of Automated Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

А.И. Безруков, В.Н. Гусятников, М.А. Жилина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ КЛАССИФИКАЦИЙ ОБЪЕКТОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Ключевой проблемой использования нескольких нормативных документов на группу продукции является отсутствие единой классификации. Рассмотрены проблемы применения математических методов обработки данных для создания и оптимизации объединенных классификаций объектов стандартизации для групп однородной продукции.

Объекты стандартизации, иерархическая классификация, методы построения объединенной классификации, дерево принятия решений

A.I. Bezrukov, V.N. Gusyatnikov, M.A. Zhilina

MATHEMATICAL METHODS USED TO SYSTEMATIZE CLASSIFICATION OF STANDARDIZATION OBJECTS

The key problem related with utilization of several normative documents per a group of products is the absence of a unified classification. This article considers the problems dealing with application of mathematical methods for data processing, creation and optimization of a unified classification of standardization objects for groups with homogeneous products.

Objects of standardization, hierarchical classification, methods for creating a unified classification, decision tree

Внедрение рыночных отношений в управление экономикой существенно изменило и повысило требования к нормативным документам. Использование стандартов как основы договоров между поставщиками и потребителями, документов, с помощью которых можно разрешить споры и недоразумения по поводу технических характеристик потребовало однозначности понимания положений стандартов. Еще более важным требование однозначности становится при применении стандартов в процедурах сертификации и обеспечения безопасности продукции.

К сожалению, система действующих стандартов не всегда отвечает этим требованиям. Разработанные в разное время разными группами специалистов, регламентирующие различные аспекты технических требований стандарты, как правило, используют свои классификации объектов стандартизации, зачастую мало согласованные друг с другом. Поэтому специалисты, использующие несколько стандартов на одну группу продукции, вынуждены самостоятельно интерпретировать их требования, согласуя классификацию и терминологию, используемые в разных стандартах. Это приводит к неоднозначной интерпретации требований, коллизиям и невозможности договориться по спорным вопросам.

Хорошим решением данной проблемы была бы единая классификация объектов, для которых устанавливаются требования (объектов стандартизации), относящихся к одной группе продукции. Установление однозначных иерархических отношений между классами, используемыми в различных стандартах, позволит согласовать их требования, выявить и устранить противоречия, использовать и развивать систему стандартов как единое целое. Создание такой классификации является сложной методической и информационной проблемой, требующей совместных усилий специалистов и применения современных информационных технологий.

Статья посвящена проблемам применения математических методов обработки данных для создания и оптимизации объединенных классификаций объектов стандартизации для групп однородной продукции.

Иерархическую классификацию, применяемую для идентификации объектов, можно интерпретировать как дерево принятия решений. Вершины этого дерева содержат вопросы относительно признаков объектов, ребра – варианты ответов. Терминальные (концевые) вершины дерева – классы, к одному из которых требуется отнести объект. Последовательность задаваемых вопросов и получаемых ответов – путь отнесения объекта к данному классу.

Назовем правилами отнесения пути, соответствующие терминальным вершинам дерева. Очевидно, что набор правил, хранящихся во всех терминальных вершинах, можно использовать и без построения дерева. Более того, изменение последовательности вопросов не изменит результат классифицирования, но может повлиять на его трудоемкость и устойчивость.

Признаки, используемые для идентификации объектов, как правило, имеют разную природу. Это могут быть ограничения на значения количественной величины, признаки, имеющие определенный или неопределенный набор значений, и даже, описательные признаки. При этом конкретное значение признака часто сопровождается таким количеством допущений и оговорок, что формализация признака становится крайне сложной. Простым выходом из данной ситуации является переход к бинарным признакам. Вместо признака, имеющего n значений, например, «цвет объекта», мы используем n бинарных признаков, например, «цвет красный». Такой признак имеет значение 1 (true) на красных объектах и 0 (false) на всех остальных объектах. Отметим, что бинарный признак «цвет красный» имеет нулевое значение даже на объектах на имеющих признака «цвет», например, для процесса мышления. Таким образом, не уменьшая общности рассмотрения, будем считать, что все объекты, подлежащие идентификации описаны наборами бинарных признаков.

В качестве примера рассмотрим две иерархические классификации шариков. Согласно первой классификации шарики бывают большими или маленькими. Большие шарики могут быть красными или зелеными, маленькие – красными или синими (рис. 1 а). По второй классификации шарики бывают деревянными или пластмассовыми. Деревянные шарики могут быть большими или маленькими, пластмассовые – только большими (рис. 1 б). Эти классификации используют различные, но пересекающиеся наборы признаков. Нам требуется построить иерархическую классификацию, объединяющую исходные классификации.

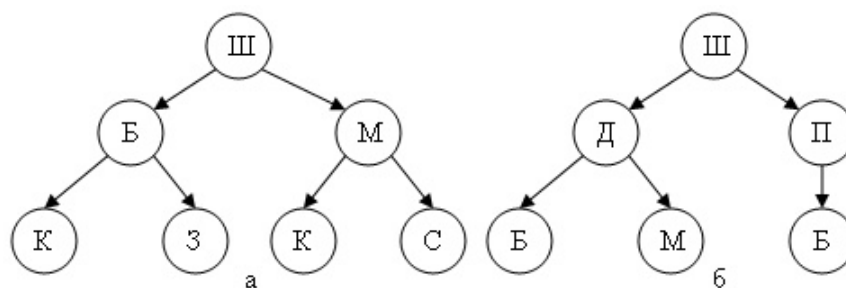


Рис. 1. Пример иерархических классификаций

В первой классификации используются как бинарные (большой – маленький) так и не бинарные признаки (красный, зеленый, синий). Переформулируем её, используя только бинарные признаки: Большой, Красный, Зеленый, Синий (табл. 1). Признак «Маленький» нам не понадобится, т.к. его значение однозначно определяется значением признака «Большой». Аналогично построим правила второй классификации (табл. 2).

Таблица 1

Набор правил классификации 1а

Признаки	Правила			
Большой	1	1	0	0
Красный	1	0	1	0
Зеленый	0	1	0	0
Синий	0	0	0	1

Таблица 2

Набор правил классификации 1б

Признаки	Правила		
Большой	1	0	1
Деревянный	1	1	0

Построение объединенной классификации начнем с объединения правил частных классификаций (табл. 3). Объединив список признаков, мы можем записать каждое правило в виде последовательности их значений (0 или 1). Если признак не используется в данном правиле, примем в качестве его значения число 2. Это значит, что правилу будет соответствовать любое значение данного признака.

Объединенный набор правил позволит нам проанализировать непротиворечивость объединяемых классификаций. Для этой цели мы сгенерируем все возможные комбинации значений признаков и «профильтруем» их правилами. Будем считать, что комбинация допустима, если она соответствует, хотя бы одному из правил. Если реальная комбинация (свойственная одному или нескольким реаль-

ным объектам) оказалась недопустимой, мы вынуждены сделать вывод, что исходные классификации противоречат друг другу, и прекратить дальнейшие попытки из объединения.

Таблица 3

Объединенный набор правил

Признаки	Правила						
Большой	1	1	0	0	1	0	1
Красный	1	0	1	0	2	2	2
Зеленый	0	1	0	0	2	2	2
Синий	0	0	0	1	2	2	2
Деревянный	2	2	2	2	1	1	0

Добавим к описанию каждой допустимой комбинации номер класса, к которому нужно отнести объект, соответствующий данной комбинации. Теперь набор допустимых комбинаций можно рассматривать как результат классифицирования, проводимого двумя экспертами, каждый из которых руководствовался своей исходной классификацией. В нашем примере существует шесть допустимых комбинаций (табл. 4).

Таблица 4

Набор допустимых комбинаций

№	Большой	Красный	Зеленый	Синий	Деревянный
1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0
3	0	1	0	0	1
4	1	1	0	0	1
5	1	0	1	0	1
6	0	0	0	1	1

В математике существуют методы построения деревьев принятия решений по наблюдениям [1]. Наиболее известными из них являются алгоритмы CHART [2] и C4.5 [3]. Оба алгоритма строят дерево сверху (от корневой вершины), последовательно разбивая множество объектов, соответствующее текущей вершине, на подмножества (подчиненные вершины) так, чтобы объекты с разными значениями выбранного признака попали в разные подмножества. Признак, разбивающий вершины, выбирается в соответствии с критерием алгоритма.

Алгоритм CHART (Classification and Regression Tree) реализует критерий *Gini*: признак для разбиения исходного множества на два подмножества выбирается так, чтобы получившиеся подмножества были максимально отличны друг от друга.

Алгоритм C4.5 реализует критерий *Gain*, использующий понятие энтропии: признак разбиения выбирается так, чтобы при спуске по дереву энтропия (неопределенность) состояния системы максимально снижалась.

Используем набор допустимых комбинаций как обучающую выборку и применим к ней каждый из этих алгоритмов. Результат построения объединенной классификации отображен на рис. 2 и 3.

Примечание: при формировании объединенной классификации (рис. 2) использован инструмент `grat` из пакета математических программ R [4].

Отметим, что в обоих случаях алгоритмы использовали только три бинарных признака: «большой / маленький», «красный / не красный» и «деревянный / не деревянный». Это свидетельствует о том, что в исходных правилах существуют функциональные зависимости между признаками. Например, малый деревянный шар может быть только синим. Наличие функциональных зависимостей в дальнейшем можно использовать для повышения надежности идентификации.

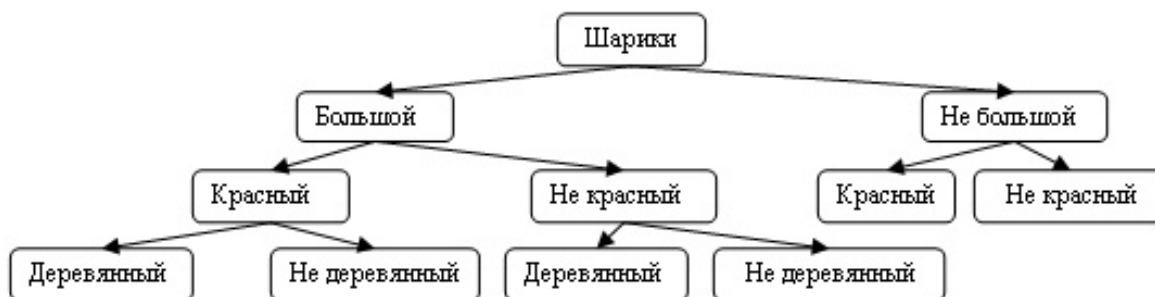


Рис. 2. Объединенное дерево, построенное по критерию *Gini*

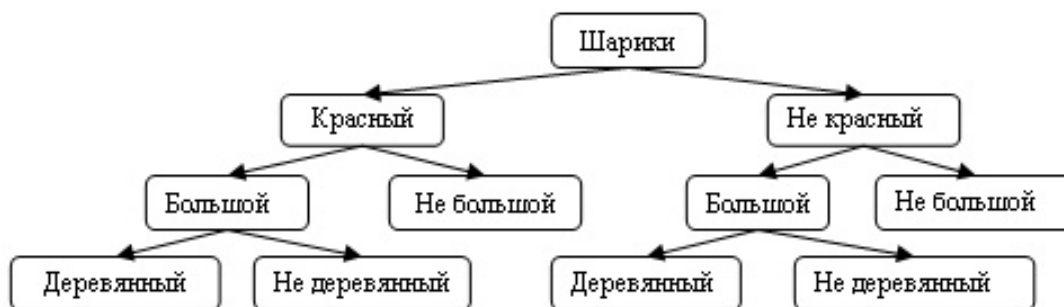


Рис. 3. Объединенное дерево, построенное по критерию *Gain*

Проведенные нами эксперименты показывают, что если построение объединенной классификации возможно, оба алгоритма построят ее. Однако, несмотря на внешнюю схожесть критериев, алгоритмы на одних и тех же данных дают разные результаты. Чтобы выбрать лучший из них сформируем критерий качества объединенной классификации:

1. Удобство интерпретации: вершины объединенной классификации должны хорошо интерпретироваться как группы объектов стандартизации, отдельные объекты или частные случаи объектов стандартизации, используемых в рассматриваемых нормативных документах.

2. Минимум общих затрат на идентификацию объектов. На практике, частота появления объектов с различными комбинациями признаков не одинакова. Будем считать что общие затраты на идентификацию равны сумме произведений количества объектов, отнесенных к каждому классу, на затраты идентификации для этого класса. Из этого следует, что идентифицирующая классификация тем лучше, чем короче идентифицирующие правила для наиболее массовых объектов стандартизации.

К сожалению, первый критерий плохо поддается формализации. На практике приходится использовать оба метода и смотреть, какое дерево проще интерпретировать.

Для оптимизации по второму критерию возможно простое математическое решение. Традиционно, при использовании С4.5, считается, что каждый пример (в нашем случае, комбинация признаков) встречается только один раз. Поэтому вероятности всех состояний считаются равными (1):

$$p_i = 1/N \tag{1}$$

Если частоты комбинаций m_i разные, то вероятности можно подсчитать по формуле (2):

$$p_i = m_i / N \tag{2}$$

Подставляя новые значения вероятностей в критерий *Gain*, получаем алгоритм, реализующий второй критерий качества классификации.

Например, пусть больших, зеленых не деревянных шариков в пять раз больше, чем шариков любого другого вида. Тогда выгоднее классифицировать зеленые шарики по отдельной ветке. На рис. 4 приведена классификация, учитывающая различие массовостей объектов.

Чтобы использовать объединенное дерево, построим соответствие его вершин и объектов стандартизации. Согласно этому соответствию, припишем вершинам дерева требования, определенные в стандартах. Учитывая, что требования стандарта, установленные к одному объекту, распространяются на все частные случаи этого объекта, мы можем определить полный набор требований к каждой вершине дерева. Для этого надо только спуститься к этой вершине от корня дерева, собрав по пути все требования.



Рис. 4. Объединенное дерево, учитывающее высокую массовость больших зеленых шариков

У нас получилась полная система требований нескольких стандартов к одним и тем же объектам. Мы можем проанализировать эти требования на полноту, избыточность и непротиворечивость. На основании подобного анализа разрабатываются предложения по совершенствованию системы стандартов. Но самое массовое и полезное применение объединенных классификационных деревьев – разработка информационных систем в области стандартных требований к однородным группам продукции. Пользователь такой системы проводит идентификацию своей продукции по объединенному классификационному дереву и получает полный список требований к нему, установленных в действующих стандартах. Авторы разработали подобную систему для группы продукции «Изделия косметические гигиенические моющие» [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Izenman A. Modern Multivariate Statistical Techniques. Regression, Classification, and Manifold Learning / A. Izenman. Springer Texts in Statistics, 2008. P. 757.
2. Breiman L. Classification and Regression Trees / L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen. Wadsworth, Belmont, California, 1984. P. 350.
3. Quinlan J. R. C4.5: Programs for Machine Learning / J. R. Quinlan. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993. P. 302.
4. R-project / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.r-project.org>.
5. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 12169. Зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 20 января 2009 г. «Информационная система «Эксперт КП» / Безруков А.И., Вилкова С.А., Жилина М.А.

Безруков Алексей Иосифович –

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Гусятников Виктор Николаевич –

доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» Саратовского государственного социально-экономического университета

Жилина Маргарита Анатольевна –

ассистент кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexei I. Bezrukov –

Ph.D., Senior Lecturer
Department of Technical Physics and Information Technology,
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Viktor I. Gusyatinikov –

Dr. Sc., Assistant
Department of Technical Physics and Information Technology,
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Margarita A. Zhilina –

Assistant
Department of Technical Physics and Information Technology,
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

П.В. Зотов, Е.П. Богданов

КОЭФФИЦИЕНТЫ СВЯЗИ МЕЖДУ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассматриваются вычисления альтернативных поправочных коэффициентов для математической модели построения матрицы яркости.

Матрица яркости, поправочные коэффициенты, обработка цифровых изображений

P.V. Zotov, E.P. Bogdanov

THE COEFFICIENTS OF COMMUNICATION BETWEEN LIGHTING AND ENERGY CHARACTERISTICS OF RADIATION

In the article discussion about the calculation of correction coefficients for a mathematical model of building a matrix brightness.

Matrix of brightness, correction coefficients, process of digital images

Практически во всех существующих математических моделях построения матрицы яркости изображения используются поправочные коэффициенты, рекомендованные Федеральной комиссией по связи (FCC), что является не совсем корректным, так как они были получены для телевизионных передач в цветном изображении, а не цифровой графики, то есть для решения совершенно других задач. В статье рассматривается вопрос вычисления альтернативных поправочных коэффициентов, ориентированных на эффективную компьютерную обработку цифровых изображений.

Рассмотрим общие теоретические аспекты формирования поправочных коэффициентов.

Под *абсолютной видимостью* V понимается отношение светового потока Φ (мощность излучения, оцениваемая глазом человека) к соответствующей истинной, полной мощности Φ_3 лучистой энергии:

$$V = \frac{\Phi}{\Phi_3} \quad (1)$$

Отношение видности света данной длины волны V_λ к максимальной V_{\max} называется *относительной видимостью*:

$$V_{\text{отн}} = \frac{V_\lambda}{V_{\max}} \quad (2)$$

Яркость излучения L , воспринимаемая глазом человека, определяется через функцию видности $V(\lambda)$ и функцию распределения энергии в спектре излучения $j(\lambda)$ с помощью формулы:

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

Формула (3) хорошо описывает связь между светотехническими и энергетическими характеристиками излучения в достаточно узкой полосе спектра (λ_1 и λ_2 близки друг другу) [1]. В этой связи для видимой человеческим глазом части электромагнитного спектра (от 400 до 700 нм) формулу (3) используют для красной L_r , зелёной L_g и синей L_b частей спектра по отдельности [2]:

$$\begin{aligned} L_r &= \int_{600\text{нм}}^{700\text{нм}} V_r(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda = d \cdot \int_{600\text{нм}}^{700\text{нм}} j(\lambda) d\lambda; \\ L_g &= \int_{500\text{нм}}^{600\text{нм}} V_g(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda = f \cdot \int_{500\text{нм}}^{600\text{нм}} j(\lambda) d\lambda; \\ L_b &= \int_{400\text{нм}}^{500\text{нм}} V_b(\lambda) \cdot j(\lambda) d\lambda = h \cdot \int_{400\text{нм}}^{500\text{нм}} j(\lambda) d\lambda; \end{aligned} \quad (4)$$

где $L_{\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} j(\lambda) d\lambda$ – энергетическая яркость излучения; d, f, h – поправочные коэффициенты, связывающие светотехнические (воспринимаемые глазом человека) и энергетические (воспринимаемые прибором) характеристики электромагнитного излучения. Яркость полного излучения L определяют их суммированием, в соответствии с законами сложения цветов Грассмана:

$$L = L_r + L_g + L_b \quad (5)$$

Определим значения коэффициентов d, f, h по функции видности, усредненной на соответствующем интервале длин волн. Проведённый аналитический анализ показал, что, с погрешностью не более 18%, кривую видности можно аппроксимировать следующим набором кривых параболического типа $y(x) \approx V_{\text{отн}}(\lambda)$, предварительно перенормировав абсциссу таким образом, чтобы $x=0$ при $\lambda=400$ нм; $x=1$ при $\lambda=555$ нм, тогда

$$x = \frac{\lambda-400}{555-400} = \frac{\lambda-400}{155}.$$

$$\begin{aligned} y_B &= 1,039x^3 \quad \text{при } x \in (0; 0,645), \text{ или } \lambda \in (400; 500) \text{ нм;} \\ y_G &= -5,297(x-1)^2 + 1 \quad \text{при } x \in (0,645; 1,290), \text{ или } \lambda \in (500; 600) \text{ нм;} \\ y_R &= 1,985(1,935-x)^{2,63} \quad \text{при } x \in (1,290; 1,935), \text{ или } \lambda \in (600; 700) \text{ нм;} \end{aligned} \quad (6)$$

В табл. 1 представлены экспериментальные значения функции видности и $V_{\text{отн}}(\lambda)$ и соответствующие ей аппроксимированные значения $y(x)$.

Таблица 1

λ , нм	Синий спектр (B)			Зелёный спектр (G)				Красный спектр (R)			
	400	450	475	500	525	555	575	600	625	650	700
$x = \frac{\lambda-400}{155}$	0,000	0,323	0,484	0,645	0,806	1,000	1,129	1,290	1,452	1,613	1,935
$V_{\text{отн}}(\lambda)$	0,0	0,0375	0,1	0,3	0,8	1,0	0,9	0,6	0,3	0,1	0,0
$y(x)$	0,0	0,0350	0,117	0,277B 0,332G	0,801	1,0	0,912	0,63R 0,555g	0,293	0,100	0
погрешность	0%	6,7%	18%	7,7%B 10,7%G	0,12%	0%	1,3%	5%R 7,5%G	2,3%	0%	0%

Как видно из табл. 1, погрешность аппроксимации для реперных точек кривой $V_{\text{отн}}(\lambda)$ не превышает 18% и стремится к нулю при округлении $y(x)$ до одной значащей цифры (что соответствует исходным данным).

Значения коэффициентов определим как отношение площади криволинейной трапеции под соответствующим графиком к полной площади аппроксимированной кривой видности:

$$h = \frac{S_B}{S_B + S_G + S_R}; \quad f = \frac{S_G}{S_B + S_G + S_R}; \quad d = \frac{S_R}{S_B + S_G + S_R}; \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} S_B &= \int_0^{0,645} (1,039 \cdot x^3) dx = 0,044957; \\ S_G &= \int_{0,645}^{1,29} (-5,297 \cdot (x-1)^2 + 1) dx = 0,522943; \\ S_R &= \int_{1,29}^{1,935} (1,985 \cdot (1,935-x)^{2,63}) dx = 0,111316; \end{aligned}$$

Значения коэффициентов равны: $h=0,066190$; $f=0,769921$; $d=0,163889$.

Полученные по кривой видности поправочные коэффициенты отличаются от значений, рекомендованных FCC: $h=0,114$; $f=0,587$; $d=0,299$.

Сделаем ещё один расчёт значений поправочных коэффициентов, используя экспериментальные данные по калибровке цветоизмеряющих приборов. Калибровка осуществляется методом подбора интенсивностей синего (B), зелёного (G) и красного (R) излучений, прошедших через соответствующие фильтры, смешивание которых даёт белый (W) свет, совпадающий с тестовым белым полем [3]. Экспериментально измеренные в этом конкретном опыте величины интенсивности следующие:

$$230 \text{ лм(W)} = 62 \text{ лм(R)} + 162 \text{ лм(G)} + 6 \text{ лм(B)} \quad (8)$$

Как видно, в равенстве (8) выполняется аддитивность в сложении интенсивностей монохроматических излучений: $230=62+162+6$.

Цветовая модель RGB, представленная в виде куба, определяет белый цвет как вектор главной диагонали куба [1; 3]. Следовательно, с энергетической точки зрения для получения белого цвета необходимы равные по величине интенсивности базовых цветов, а с точки зрения восприятия человеческим глазом – различные. Для приведения наблюдаемых данных к цветовой модели необходимо провести перенормировку светотехнических величин: единица интенсивности красного цвета равна 62 люмена, единица интенсивности зелёного цвета равна 162 люмена, единица интенсивности синего цвета равна 6 люмен, единица интенсивности белого цвета равна 230 люмен. При этом для сохранения аддитивности в сложении интенсивностей базовых цветов в новых единицах измерения коэффициенты в правой части уравнения (8) нормируют на их сумму:

$$1,0(W) = 0,333(R) + 0,333(G) + 0,333(B) \quad (9)$$

В общем случае уравнение (1) как уравнение яркости цвета в единицах уравнения (8) примет вид

$$c(C) = (r/62)(R) + (g/162)(G) + (b/6)(B).$$

А уравнение цветности цвета с учётом (9) примет вид

$$1,0(C) = k(R) + s(G) + p(B),$$

где $k + s + p = 1$, а значение каждого из них определится формулой

$$k = \frac{\frac{r}{62}}{\frac{r}{62} + \frac{g}{162} + \frac{b}{6}} \quad s = \frac{\frac{g}{162}}{\frac{r}{62} + \frac{g}{162} + \frac{b}{6}} \quad p = \frac{\frac{b}{6}}{\frac{r}{62} + \frac{g}{162} + \frac{b}{6}} \quad (10)$$

Параметры $(k; s; p)$ называют *координатами цветности*. Значение каждого из них принадлежит промежутку от 0 до 1. Координаты базисных цветов равны: чистый красный цвет – $k=1, s=0, p=0$; чистый зелёный цвет – $k=0, s=1, p=0$; чистый синий цвет – $k=0, s=0, p=1$. Координата белого цвета – $k=1/3, s=1/3, p=1/3$.

Так как поправочные коэффициенты d, f, h одинаковы для любых цветов, включая белый, то, используя уравнения (10) можно определить их значения. Найдём из координат белого цвета C_w значения интенсивностей r_w, g_w и b_w :

$$r_w = \frac{62 \cdot t_w}{3}, \quad g_w = \frac{162 \cdot t_w}{3}, \quad b_w = \frac{6 \cdot t_w}{3}, \quad \text{где } t_w = \frac{r_w}{62} + \frac{g_w}{162} + \frac{b_w}{6}.$$

В соответствии с уравнениями (8) и (9):

$$t_w = \frac{w}{230},$$

где w – интенсивность регистрируемого белого цвета.

Зная t_w , найдём значения поправочных коэффициентов d, f, h :

$$d = r_w = \frac{31 \cdot w}{345}, \quad f = g_w = \frac{27 \cdot w}{115}, \quad h = b_w = \frac{w}{115},$$

Значение w определится из условия $d + f + h = 1$:

$$\frac{31 \cdot w}{345} + \frac{27 \cdot w}{115} + \frac{w}{115} = \frac{(31 + 81 + 3) \cdot w}{345} = \frac{115 \cdot w}{345} = \frac{w}{3} = 1.$$

Таким образом, $w = 3$ и значения поправочных коэффициентов равны

$$d = 0,269565; f = 0,704348; h = 0,026087.$$

Рассмотрим ещё одну возможность определения поправочных коэффициентов, связывающих энергетические и светотехнические характеристики электромагнитного излучения видимого спектра. Для этого воспользуемся те же экспериментальные данные (8).

По сути, равенство (8) определяет соотношение между энергетическими и светотехническими характеристиками, так как белый свет – это сумма равных энергетических интенсивностей исходных монохроматических цветов. Поэтому мы вправе считать, что соотношение между значениями светотехнических интенсивностей монохроматических излучений в правой части равенства равны соотношениям между поправочными коэффициентами при переходе от энергетических характеристик к светотехническим:

$$62 : 162 : 6 = d : f : h.$$

Так сумма значений левой части равна 230, а сумма значений правой части равна единице, то, решая пропорцию, можно определить значения поправочных коэффициентов:

$$d = \frac{62}{230} = 0,269565; \quad f = \frac{162}{230} = 0,704348; \quad h = \frac{6}{230} = 0,026087.$$

Занесём рассчитанные значения поправочных коэффициентов и используемые FCC в табл. 2.

Таблица 2

Методика определения		h	f	d
FCC		0,114	0,587	0,299
По функции видности		0,066190	0,769921	0,163889
Эксперимент	способ №1	0,026087	0,704348	0,269565
	способ №2	0,026087	0,704348	0,269565

Как видно из табл. 2, значения поправочных коэффициентов, полученные по экспериментальным данным и по кривой функции видности, значительно отличаются от рекомендованных Федеральной комиссией по связи (FCC) и в то же время коррелируют между собой и, следовательно, являются более надёжными при использовании в моделях изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1966. Т. 5. 576 с.
2. Платонов А.Н. Природа окраски самоцветов / А.Н. Платонов, А.С. Балицкий. М.: Недра, 1984. 196 с.
3. Пэдхем Ч. Восприятие света и цвета / Ч. Пэдхем, Дж. Сондерс. М.: Мир, 1978. 256 с.

Зотов Павел Вячеславович –
аспирант Волгоградского государственного
аграрного университета

Pavel V. Zotov –
Postgraduate
Volgograd State Agrarian University

Богданов Евгений Павлович –
доктор технических наук, преподаватель
Волгоградского государственного аграрного
университета

Evgeny P. Bogdanov –
Dr. Sc., Teacher
Volgograd State Agrarian University

Статья поступила в редакцию 23.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 31+61

О.О. Кочетков

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ
НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ
У ДЕТЕЙ С ЗАБОЛЕВАНИЕМ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ТКАНЕЙ**

Рассматривается анализ данных нечисловой природы методами классического и структурного анализа. Приведены методы и наиболее эффективные критерии для оценки качества проведенного анализа и сделаны общие выводы, имеющие практическую ценность для исследований заболеваний соединительных тканей.

Корреляция, нечисловая статистика, анализ соответствий

O.O. Kochetkov

**RESEARCH INTO ANALYSIS METHODS OF THE NONPARAMETRIC DATA USING
THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL SYMPTOMS ANALYSIS DATA WITH CHILDREN
SUFFERING FROM THE CONNECTIVE TISSUE DISEASE**

The article considers the analysis of non-numerical data using the methods of classical and structural analysis. The provided methods and most effective criteria can be utilized for assessment the quality of the offered analysis. The general conclusions are of practical importance for the study of connective tissue diseases.

Correlation, non-numerical statistics, correspondence analysis

Целью данной работы является выявление зависимости психофизиологических признаков от диагноза заболевания у детей. Сравнительный анализ и экспертная оценка проводятся с использованием методов структурного и классического анализа применительно к качественным признакам порядкового типа.

Исследуемая выборка включает 274 пациентов мужского и женского пола в возрасте от 7 до 15 лет, находившихся на стационарном обследовании и лечении в клинике факультетской педиатрии КБ им. Миротворцева СГМУ. Ниже приведена описательная статистика, более полно характеризующая клиническую картину исследуемой выборки.

Все пациенты оцениваются по 11 психофизиологическим параметрам:

1. Сила нервной системы по критической частоте слияния световых мельканий (Сила нс по КЧСМ);
2. Сила нервной системы по теппинг-тесту (сила нс по теппинг т);
3. Подвижность нервной системы по простой зрительно-моторной реакции (подвижность нс по ПЗМР);
4. Уравновешенность;
5. Самочувствие (С);
6. Активность (А);
7. Настроение (Н);
8. Шкала субъективного благополучия (ШСБ);
9. Информационно-волновая терапия (ИВТ);
10. Вегетативная реактивность (в. реактивность);
11. Вегетативное обеспечение (в. обеспечение).

и имеют один из шести диагнозов:

1. Пиелонефрит острое течение активная фаза (Пн острое теч активная фаза);
2. Вторичный обструктивный пиелонефрит острое течение (Вт обстр пн острое теч);
3. Вторичный обструктивный пиелонефрит хроническое течение (Вт обстр пн хронич теч);
4. Вторичный дисметаболический пиелонефрит хроническое течение (Вт дисмет пн хронич теч);
5. Вторичный дисметаболический пиелонефрит острое течение (Вт дисмет пн острое теч);
6. Вторичный дисметаболический и обструктивный пиелонефрит хроническое течение (Вт дисмет и обстр пн хронич теч).

В дальнейшем для упрощения будем использовать сокращенные обозначения признаков указанные в скобках.

Переменная	Н набл.	Мода	Частота моды	Минимум	Максимум	Процентиль 25,00000	Процентиль 75,00000
Сила нс по КЧСМ	274	3,000000	101	1,000000	4,000000	2,000000	3,000000
сила нс по теппинг т	274	3,000000	95	1,000000	5,000000	2,000000	4,000000
подвижность нс по ПЗМР	274	1,000000	124	1,000000	4,000000	1,000000	2,000000
уравновешенность	274	2,000000	230	1,000000	3,000000	2,000000	2,000000
С	273	3,000000	211	1,000000	3,000000	3,000000	3,000000
А	273	3,000000	180	1,000000	3,000000	2,000000	3,000000
Н	273	3,000000	243	1,000000	3,000000	3,000000	3,000000
ШСБ	273	2,000000	134	1,000000	4,000000	2,000000	3,000000
ИВТ	273	2,000000	214	1,000000	3,000000	2,000000	2,000000
в. Реактивность	273	2,000000	173	1,000000	3,000000	2,000000	2,000000
в. Обеспечение	272	2,000000	118	1,000000	3,000000	1,000000	2,000000

Рис. 1. Таблица значений признаков

Описательная статистика включает основную таблицу значений, в которой представлены качественные (порядковые) признаки выборки, их максимальное, минимальное и наиболее часто встречающееся значение, нижние и верхние квартили (25 и 75%).

Так же представлена таблица частот и гистограмма диагноза обследуемых (в произвольном порядке), для более наглядного представления о распределении выборки, с которой проводится анализ.

Описательная статистика. Построенные гистограммы распределения (рис. 3) позволяют более наглядно представить таблицы частот анализируемых признаков. Выделим наиболее информативные гистограммы.

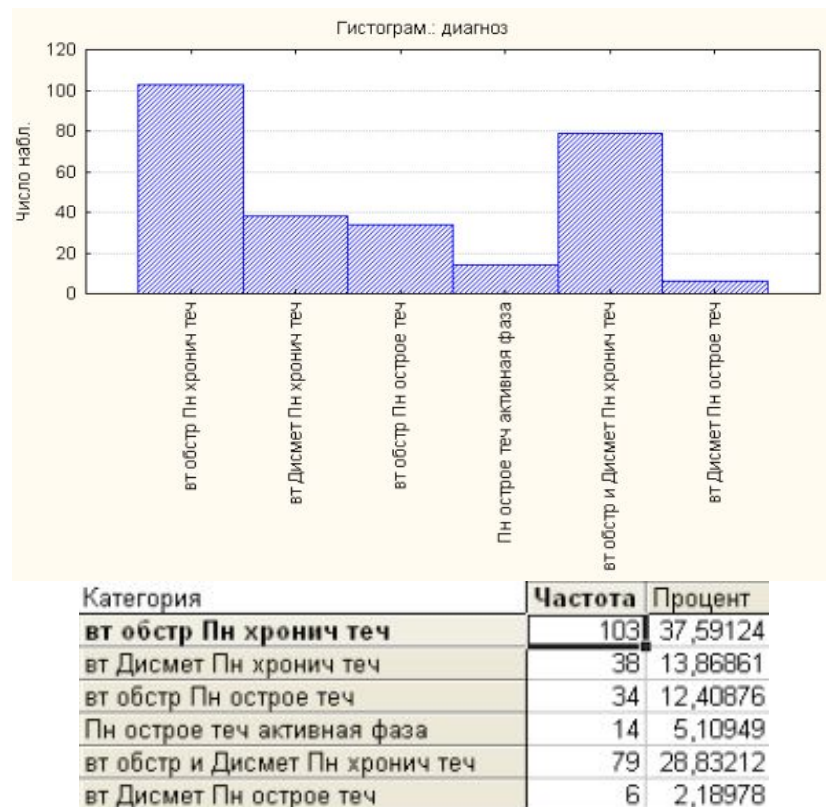


Рис. 2. Гистограмма и таблица значений диагноза

Из данного графика видно, что среди обследуемых преобладают дети с диагнозом: Вт.Обстр.и Дисмет.Пн.хронич.теч
Вт.Обстр.Пн.хронич.теч.

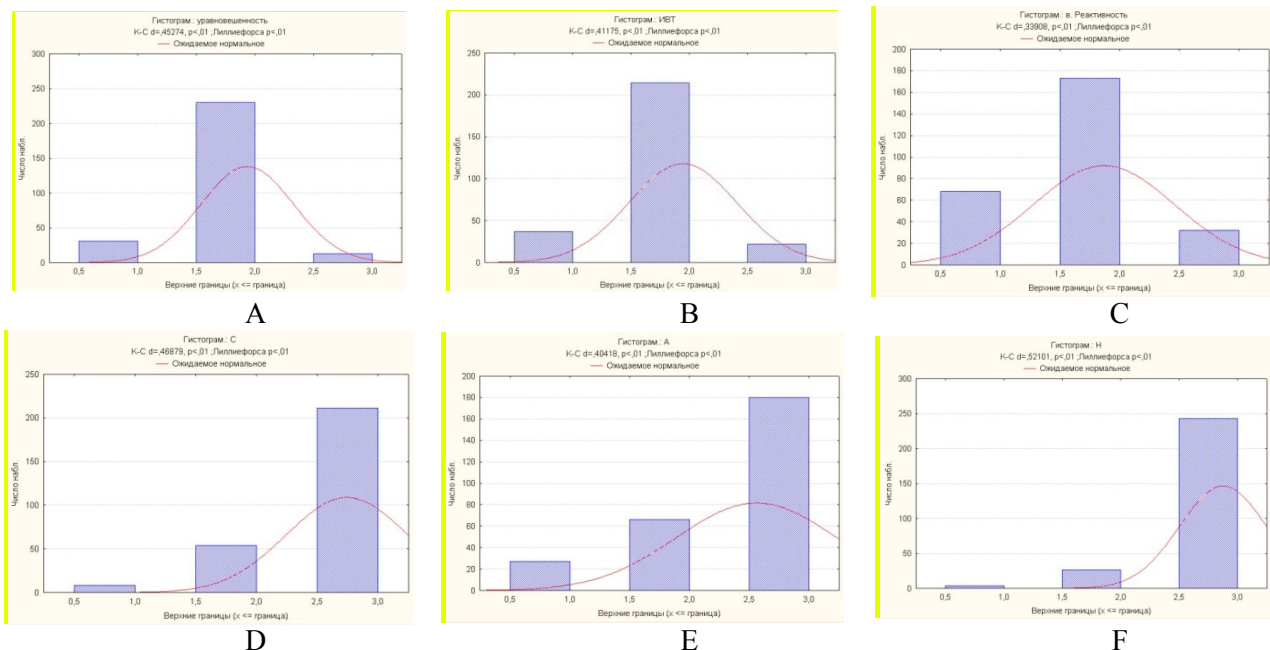


Рис. 3. Гистограммы распределения категориальных признаков: А – Гистограмма распределения: признак Уравновешенность; В – Гистограмма распределения: признак ИВТ; С – Гистограмма распределения: признак в.Реактивность; D – Гистограмма распределения: признак Самочувствие; Е – Гистограмма распределения: признак Активность F – Гистограмма распределения: признак Настроение

В результате построения диаграмм выявлены две группы признаков (признаки «С», «А», «Н» и признаки «ИВТ», «Уравновешенность», «в.Реактивность»), которые имеют схожие распределения.

На основе схожести гистограмм были сформулированы гипотезы о корреляции признаков и проведен анализ между данными признаками методами таблиц сопряженности признаков:

– гипотеза о независимости признаков – распределение по одному признаку не влияет на распределение по другому признаку
и соответствующая ей, альтернативная гипотеза:
– признаки являются зависимыми.

Для проверки нулевой гипотезы по таблицам сопряженности используем критерий «Корреляция Спирмена» на уровне значимости $p > 0,05$. Выбор критерия обусловлен отсутствием нормального распределения признаков. Ниже приведены таблицы частот, необходимые для оценки устойчивости критерия.

С	А 1	А 2	А 3	Всего	С	Н 1	Н 2	Н 3	Всего	А	Н 1	Н 2	Н 3	Всего
1	8	0	0	8	1	4	0	4	8	1	4	0	23	27
2	4	34	16	54	2	0	26	28	54	2	0	18	48	66
3	15	32	164	211	3	0	0	211	211	3	0	8	172	180
Всего	27	66	180	273	Всего	4	26	243	273	Всего	4	26	243	273
Корр.Спирмен				$p=0,0000$	Корр.Спирмен				$p=0,0000$	Корр.Спирмен				$p=,00000$
ИВТ					в. Реактивность					в. Реактивность				
Уравновешенность	1	2	3	Всего	Уравновешенность	1	2	3	Всего	ИВТ	1	2	3	Всего
1	0	31	0	31	1	14	17	0	31	1	12	21	4	37
2	37	170	22	229	2	54	148	27	229	2	52	134	28	214
3	0	13	0	13	3	0	8	5	13	3	4	18	0	22
Всего	37	214	22	273	Всего	68	173	32	273	Всего	68	173	32	273
Корр.Спирмена				$p=,69669$	Корр.Спирмена				$p=,00002$	К.Спирмен				$p=,56551$

После того, как были получены значения коэффициента p для таблиц сопряженности, можем интерпретировать результат исследования.

При $p > 0,05$ нулевая гипотеза о независимости признаков не отклоняется

При $p < 0,05$ нулевая гипотеза отклоняется и принимается альтернативная гипотеза о корреляции признаков.

Согласно результатам анализа можем отметить, что признаки «Активность», «Самочувствие», «Настроение» коррелированы, а так же коррелированы признаки «в.Реактивность» и «Уравновешенность».

С целью снижения размерности и предупреждения переизбытка информации, исключим коррелированные переменные «Самочувствие», «Настроение» и «Уравновешенность». Затем проведем анализ соответствия оставшихся признаков совместно с диагнозами для установления групп схожих диагнозов.

Анализ соответствия опирается на статистику хи-квадрат. Можно сказать, что это новая интерпретация статистики хи-квадрат Пирсона.

В данном методе исследуются таблицы сопряженности, а критерием качества воспроизведения многомерной таблицы в пространстве меньшей размерности является значение статистики хи-квадрат.[2]

Строки или столбцы исходной таблицы представляются точками пространства, между которыми вычисляется расстояние хи-квадрат (аналогично тому, как вычисляется статистика хи-квадрат для сравнения наблюдаемых и ожидаемых частот).

Далее требуется найти пространство небольшой размерности, в котором вычисленные расстояния минимально искажаются, и в этом смысле максимально точно воспроизвести структуру исходной таблицы с сохранением связей между признаками.

Имеется только одно существенное ограничение использования критерия Хи-квадрат (кроме очевидного предположения о случайном выборе наблюдений), которое состоит в том, что ожидаемые частоты не должны быть очень малы. Это связано с тем, что критерий Хи-квадрат по своей природе проверяет вероятности в каждой ячейке; и если ожидаемые частоты в ячейках, становятся, маленькими, например, меньше 5, то эти вероятности нельзя оценить с достаточной точностью с помощью имеющихся частот.[3]

Ниже представлены результаты структурного анализа оставшихся признаков совместно с диагнозами для установления групп схожих диагнозов. Результаты представлены в виде двух- и трехмерных диаграмм рассеяния. При данном количестве измерений объясняется 100% инерции таблицы данных.

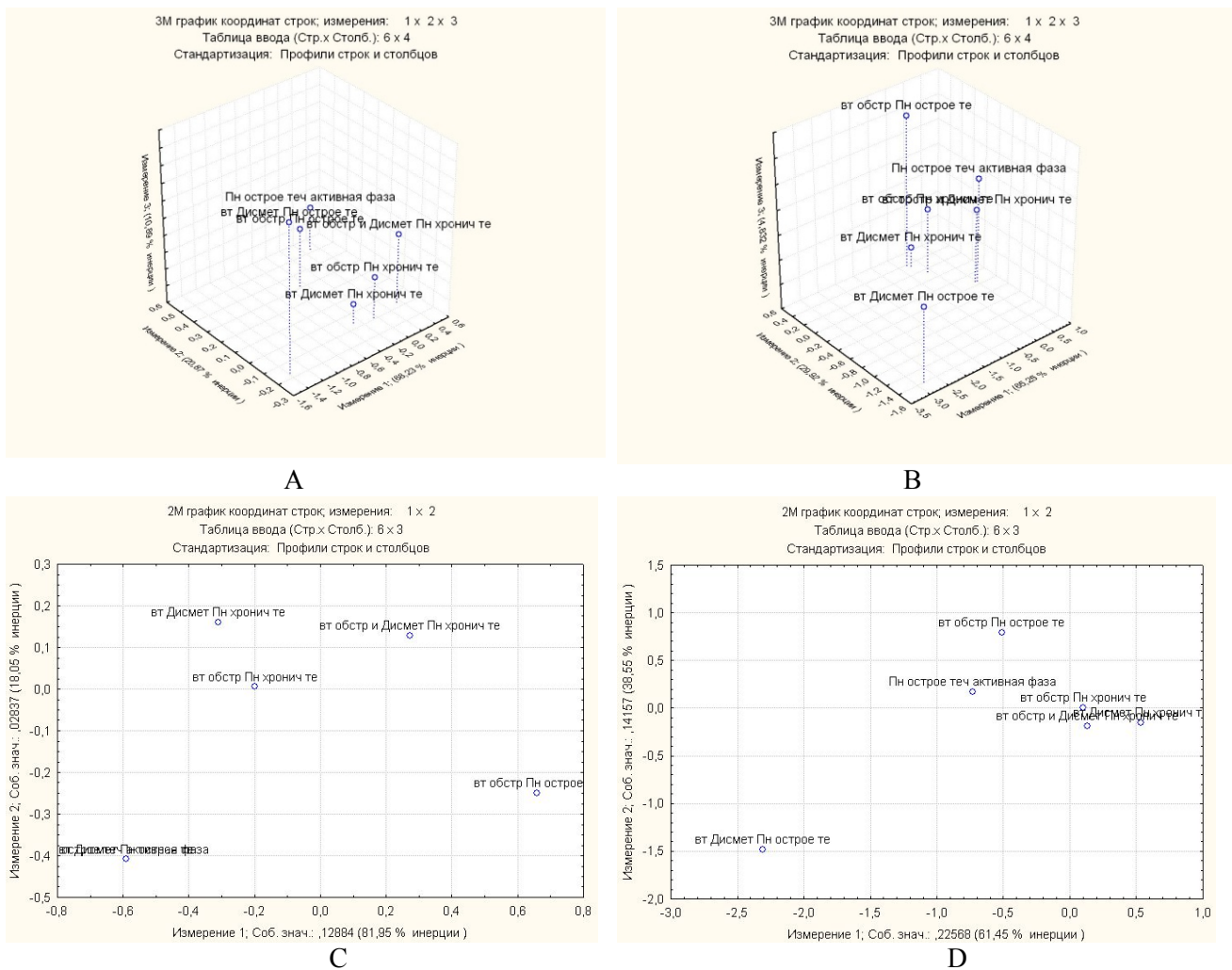


Рис. 2. Диаграммы рассеяния: А – Диаграмма рассеяния: признак Сила нс по кчсм; В – Диаграмма рассеяния: признак подвижность нс по ПЗМР; С – Диаграмма рассеяния: признак Активность; D – Диаграмма рассеяния: признак В.Реактивность

Проведенный анализ показал, что при проекции таблиц сопряженности признаков «Сила нс по кчсм», «подвижность нс по ПЗМР», «Активность», «В.Реактивность» с признаком «Диагноз» на n -мерное пространство, значения последнего расположились таким образом, что диагнозы «Вт обстр пн хронич теч», «Вт Дисмет пн хронич теч» оказались коррелированы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрьева Э.А. Совершенствование диагностики и профилактики мочекаменной болезни у детей / Э.А. Юрьева, Г.Н. Титов, Л.В. Симанина, Е.С. Воздвиженская // Экспресс-информация. М.: 1985. № 1. С. 26.
2. Калинина В.Н. Введение в многомерный статистический анализ / В.Н. Калинина, В.И. Соловьев. М., 2003.
3. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ Statistica / О.Ю. Реброва. М.: МедиаСфера, 2002.

Кочетков Олег Олегович – аспирант кафедры «Системы искусственного интеллекта» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Oleg O. Kochetkov – Postgraduate, Department of Artificial Intellect Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 22.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

М.В. Полякова, А.В. Ищенко, Ю.В. Емец

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СОСУДОВ НА АНГИОГРАММАХ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ОБОБЩЕННЫМИ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИЯМИ

Усовершенствован метод сегментации изображений сосудов на ангиограммах путем применения преобразования с обобщенной гребенчатой вейвлет-функцией, а также предложена процедура улучшения качества выделения скелетона сосудов путем удаления петель. Это позволило повысить быстродействие метода сегментации ангиограмм и обеспечить качество локализации дерева сосудов на ангиограмме, необходимое для принятия диагностического решения.

Скелетон, сегментация изображений, ангиограмма, вейвлет-преобразование

M.V. Polyakova, A.V. Ishchenko, Y.V. Emets

IMPROVING THE METHOD OF IMAGE SEGMENTATION FOR VESSELS IN ANGIOGRAMS BY TRANSFORMATION WITH GENERALIZED WAVELET-FUNCTIONS

The article presents an improved method for image segmentation of vessels on angiograms by applying the transform with a comb wavelet distribution, and the procedure for improving the quality of the vessel skeleton by removing the hinges. This increases the speed of the segmentation method of angiograms and ensures the quality of localization of the vascular tree on the angiogram needed to make diagnostic decisions.

Skeleton, the segmentation of images angiogram, wavelet transform

ВВЕДЕНИЕ

Результаты, получаемые при диагностике поражений сосудов на современном оборудовании, характеризуются очень большим размером 3D-данных высокого разрешения [1]. Для создания трехмерной модели сосудов выполняется сегментация ангиографических изображений, цель которой – сокращение объема обрабатываемой информации и обеспечение инвариантности к преобразованиям интенсивности изображений. Затем выполняется построение скелетона сосуда для формирования его 3D-модели, которая является более удобной для принятия диагностического решения. В процессе сегментации и скелетизации ангиографических изображений решаются задачи локализации дерева сосуда на ангиограмме и бинаризации ангиографического изображения. Далее проводится анализ бинаризованного изображения ангиограммы [2].

Проведенный анализ существующих методов сегментации изображений сосудов на ангиограммах показал, что основным недостатком этих методов является высокое время обработки или, как альтернатива, высокий уровень аппаратных затрат. Однако возможность объединения диагностического и лечебного потенциала метода ангиографии во время одной процедуры накладывает временные ограничения на метод сегментации ангиографических изображений. Поэтому для сокращения вычислительных затрат в методах сегментации ангиограмм используют многомасштабную обработку изображений [3].

Так, метод [3] выполняет локализацию дерева сосудов на ангиограмме путем анализа собственных значений матрицы Гессе $H(x, y)$ в каждой точке изображения $I(x, y)$, $x = 1, \dots, N$; $y = 1, \dots, M$. При вычислении этой матрицы учитывалось, что ширина сосуда на всей его протяженности изменяется. Поэтому для выделения фрагментов сосуда различной ширины выполнялось масштабно-пространственное представление ангиографического изображения [4] и анализ собственных значений матрицы Гессе проводился на фиксированном множестве значений масштаба. Для каждого из значений масштаба s путем свертки с производной гауссиана вычислялись частные производные изображения $I(x, y)$: $I_{xy}(x, y)$, $I_{xx}(x, y)$, $I_{yx}(x, y)$, $I_{yy}(x, y)$.

Однако при многомасштабной обработке изображения время обработки не удовлетворяет временным ограничениям методов сегментации ангиограмм. Повысить быстродействие рассматри-

ваемого метода сегментации ангиограмм можно путем применения разработанной в [5] обобщенной гребенчатой вейвлет-функции, заменив несколько уровней обработки одним. Последнее достигается за счет того, что свертка с обобщенной гребенчатой вейвлет-функцией аналогична использованию набора полосовых фильтров. К тому же применение обобщенных гребенчатых вейвлет-функций обеспечивает качество локализации дерева сосудов на ангиограмме, необходимое для принятия диагностического решения.

Целью работы является повышение качества выделения скелетона на изображении ангиограмм путем морфологической обработки и сокращение времени обработки ангиограмм за счет применения обобщенных гребенчатых вейвлет-функций для локализации сосудов. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- усовершенствование метода сегментации изображений сосудов на ангиограммах путем применения преобразования с обобщенными гребенчатыми вейвлет-функциями;
- улучшение качества выделения скелетона сосудов путем удаления петель;
- исследование быстродействия и помехоустойчивости усовершенствованного метода при сегментации изображений, полученных в ходе ангиографического исследования коронарных сосудов.

Метод сегментации ангиограмм с использованием вейвлет-функций

В этой работе усовершенствован метод работы [3], в котором для нахождения частных производных проводится преобразование с обобщенной вейвлет-функцией.

В результате вычисления значений обобщенной гребенчатой вейвлет-функции $\Psi(x)$ получаем дискретную последовательность $\{\Psi_n\}_{n=0}^N$, где N – количество коэффициентов этой последовательности, которую используем в качестве коэффициентов фильтра для обработки изображений [5].

На рис. 1 показана импульсная характеристика фильтра $\{\Psi_n\}_{n=0}^N$, полученная путем применения 3-х итераций каскадного алгоритма [6] к двумасштабному разностному уравнению с коэффициентами

$$\left\{ -\frac{1}{2^{3+\alpha}}, \frac{1}{2^{2+\alpha}}, -\frac{1}{2^{1+\alpha}}, 1, 1, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2^{2+\alpha}}, -\frac{1}{2^{3+\alpha}} \right\}, \text{ масштабированными к единице, где } \alpha = 0,7.$$

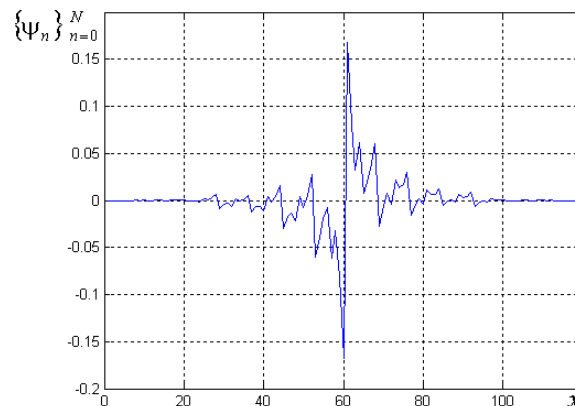


Рис. 1. Импульсная характеристика фильтра $\{\Psi_n\}_{n=0}^N$

Фильтр $\{\Psi_n\}_{n=0}^N$ использовался для нахождения частных производных изображения $I_{xx}(x, y), I_{xy}(x, y), I_{yx}(x, y), I_{yy}(x, y)$. Далее согласно методу работы [3] для каждого пикселя изображения вычислялась матрица Гессе $H(x, y)$ по формуле $H(x, y) = \begin{pmatrix} I_{xx}(x, y) & I_{xy}(x, y) \\ I_{yx}(x, y) & I_{yy}(x, y) \end{pmatrix}$ и оп-

ределялись собственные значения этой матрицы $\lambda_h(x, y)$ и $\lambda_l(x, y)$, где $|\lambda_h(x, y)| \geq |\lambda_l(x, y)|$.

Предполагалось, что сосуды на ангиограмме обозначены темным цветом на более светлом фоне, тогда они могут быть выделены при помощи следующих условий на собственные значения матрицы Гессе в каждой точке изображения:

$$\lambda_h(x, y) \gg \lambda_l(x, y), \quad (1)$$

$$\lambda_l(x, y) \approx 0, \quad (2)$$

$$\lambda_h(x, y) > 0. \quad (3)$$

Условия (1) – (2) позволяют обнаружить на изображении объекты, похожие на сосуды. Условие (3) означает, что подобные объекты выделены темным цветом на светлом фоне.

Далее в точках изображения, в которых выполняется условие (3), вычисляются две характеристики: $S(x, y)$ и $R_b(x, y)$. $R_b(x, y)$ показывает, насколько форма объекта на изображении близка к пятну,

$R_b(x, y) = \frac{|\lambda_l(x, y)|}{|\lambda_h(x, y)|}$. Так как $|\lambda_h(x, y)| > |\lambda_l(x, y)|$, то $R_b(x, y)$ принимает значения из

отрезка $[0, 1]$, а для пикселей объектов, похожих на сосуды, $R_b(x, y)$ близка к нулю. Функция $S(x, y)$ характеризует помехоустойчивость представления изображения сосудов с помощью собственных значений матрицы Гессе и вычисляется как норма Фробениуса этой матрицы $S(x, y) = \|H(x, y)\|_F = \sqrt{|\lambda_l(x, y)| + |\lambda_h(x, y)|}$. Значения $S(x, y)$ малы в зашумленных областях изображения со слабо различимыми фрагментами сосудов. В точках изображения, для которых условие (3) не выполняется, функции $S(x, y)$ и $R_b(x, y)$ полагаются равными нулю.

На основе функций $S(x, y)$ и $R_b(x, y)$ определяется функция $g_{c,\beta}(x, y)$, локализирующая со-

суды на ангиограмме: $g_{c,\beta}(x, y) = \begin{cases} e^{-R_b^2(x,y)/2\beta^2} (1 - e^{-S^2(x,y)/2c^2}), & \text{если } |\lambda_h(x, y)| > 0, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$ где c, β – параметры. В [9] β

фиксировалось равным 0,5; c полагалось равным половине максимального по (x, y) значения $\|H(x, y)\|_F$, $x = 1, \dots, N$, $y = 1, \dots, M$.

При реализации базового метода [3] в процессе многомасштабной обработки функция $g_{c,\beta}(x, y)$ вычислялась для каждого из значений масштаба s из фиксированного множества S . В результате получался набор функций $V_{s_0}(x, y) = g_{c,\beta}(x, y)|_{s=s_0}$. Далее для каждого пикселя изображения определялось значение $V(x, y) = \max_{s_0 \in S} V_{s_0}(x, y)$. К функции $V(x, y)$ затем применялось пороговая обработка с гистерезисом [3].

В предлагаемой модификации базового метода для нахождения частных производных изображения проводится преобразование с обобщенной вейвлет-функцией с компактным носителем на единственном масштабе. Затем с учетом результата преобразования вычисляется функция $g_{c,\beta}(x, y)$. Далее пороговая обработка с гистерезисом применяется непосредственно к функции $g_{c,\beta}(x, y)$, т. е. в качестве $V(x, y)$ выбирается $g_{c,\beta}(x, y)$: $V(x, y) = g_{c,\beta}(x, y)$.

В ходе пороговой обработки с гистерезисом изображение $V(x, y)$ преобразовалось в бинарное изображение $B(x, y)$ с помощью двух порогов – верхнего и нижнего. Верхний и нижний пороги для обработки изображения определялись как αt_h и βt_h , $\alpha > \beta$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$, – параметры (например, $\alpha = 1,1$; $\beta = 0,9$), t_h – значение порога, вычисленное методом работы [7].

Полученное бинарное изображение $B(x, y)$ содержало мелкие отдельно расположенные темные и белые области. Такие фрагменты препятствовали построению качественного скелетона на следующем шаге обработки ангиограммы. Поэтому к изображению $B(x, y)$ применялась фильтрация слитных групп [8]. Далее выполнялись скелетизация бинарного изображения и удаление ложных ветвей скелетона изображения путем стирания концевых точек при условии, что длина паразитных составляющих не превышает заданного числа пикселей и не достигнута точка ветвления.

Полученный скелетон сосуда содержал некоторое количество петель. Для их удаления использовалась морфологическая обработка. В данной работе предлагается следующая процедура удаления петель.

1. Сначала задается порог. Петли, размер которых превышает заданный порог, удаляются, для чего находим замкнутые четырехсвязные области темных пикселей на изображении скелетона, которые отвечают петлям – признаком этих областей является черная область в окружении белого контура.

2. Затем в цикле перебираются выделенные петли, и проверяется, не превышает ли найденная область заданный порог. При этом мы контролируем выход за границы изображения.

3. На следующем шаге проводится дилатация для каждой найденной петли на изображении скелетона для того, чтобы удалить контур, окружающий петлю.

4. В результате работы данной процедуры получаем скелетон, который не содержит петель, но имеет разрывы, которые необходимо соединить. Для этого задается максимальное расстояние для отрезков, которые будут соединяться и путем перебора фрагментов изображения, которые отвечают удаленным петлям, находятся конечные точки на скелетоне для каждого фрагмента. Затем определяется расстояние между этими точками. Если это расстояние не превышает максимальное расстояние, то с помощью алгоритма Брезенхема эти отрезки соединяются [9]. В результате получаем скелетон сосуда без петель.

Экспериментальные исследования и выводы

При проведении экспериментальных исследований учитывалось, что выделение сосудов на ангиограммах преследует две цели: получение центральных линий крупных сосудов для дальнейшей обработки и получение количественной оценки затенения артерий. Обозначим $W(x, y)$ – выходное изображение в результате выделения сосудов на ангиограмме, и сравним его с изображением $W_0(x, y)$, представляющим результат сегментации врачом-диагностом исходной ангиограммы. Вычислялись следующие характеристики: среднеквадратичная ошибка MSE ; коэффициент корреляции NC ; вероятность α ошибки первого рода (ложной тревоги); вероятность β ошибки второго рода (пропуска точки сосуда). Результаты оценивания этих характеристик на 37 ангиограммах, сегментированных базовым и разработанным методом, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценивания характеристик сегментации ангиограмм

Характеристика	MSE	NC	α	β	Время обработки, с
Базовый метод	0,0298	0,8079	0,0176	0,0122	53,0
Разработанный метод	0,0283	0,8178	0,0138	0,0142	30,1

Заметим, что применение обобщенной гребенчатой вейвлет-функции позволило снизить среднеквадратичную ошибку на 5%, а также повысить коэффициент корреляции на 1%. При этом вероятность α ошибки 1-го рода сократилась в 1,22 раза, а вероятность β ошибки 2-го рода возросла в 1,14 раз.

В процессе экспериментальных исследований также проводилось сравнение скелетона S бинарного изображения, полученного путем сегментации ангиограммы модифицированным методом, со скелетоном M изображения, который является результатом сегментации той же ангиограммы экспертом. Вычислялись следующие характеристики [10]:

– отношение количества пикселей на скелетоне: $SMCR(S, M) = \frac{|S|}{|M|}$,

– минимальное расстояние от скелетона S до скелетона M : $MSD(S, M) = \left\{ \min_{s \in S} d(m, s) \mid m \in M \right\}$

– минимальное расстояние от скелетона S до скелетона M : $SMD(S, M) = \left\{ \min_{m \in M} d(m, s) \mid s \in S \right\}$

Таблица 2

Результаты исследования эффективности модифицированного метода в сравнении с базовым

Метод сегментации	$SMCR$	MSD		SMD		Время обработки, с
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	
Базовый	1,1620	1,1288	1,9208	3,5708	7,8904	14,7
Разработанный	1,0437	2,6162	0,9046	2,6659	0,5777	14,2

В результате экспериментов было показано, что среднее значение и стандартное отклонение минимального расстояния от скелетона S до скелетона M снизились на 11 и 88% соответственно, и стандартное отклонение минимального расстояния от скелетона M до скелетона S снизилось на 89%.

На рис. 2 а показано реальное изображение, на котором выделялось дерево сосудов (рис. 2 б) и строился скелетон (рис. 2 в). Далее выделены петли (рис. 2 г) и получен скелетон без петель (рис. 2 д).

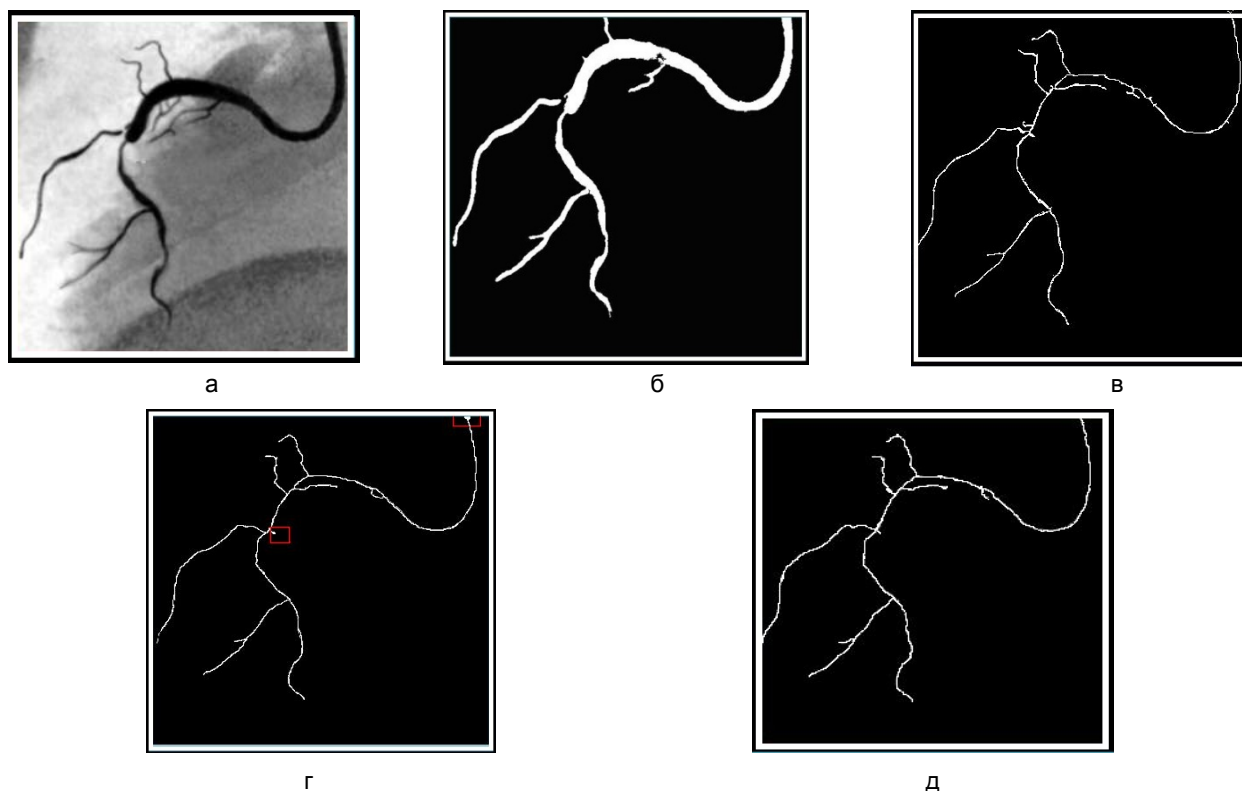


Рис. 2. Результаты применения метода на реальных изображениях: исходное изображение ангиограммы (а), дерево сосудов на ангиограмме, полученное с использованием обобщенной гребенчатой вейвлет-функции (б), скелетон дерева сосудов до удаления петель (в), выделение петель на скелетоне (г), скелетон изображения сосудов без петель (д)

Таким образом, в работе усовершенствован метод сегментации ангиограмм с применением вейвлет-функций для построения скелетона сосудов. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что предложенный метод соответствует практическим требованиям и позволяет уточнить локализацию поражения сосудистого русла, что повышает достоверность диагноза ишемической болезни сердца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Компьютерная технология восстановления пространственной структуры коронарных сосудов по ангиографическим проекциям / Н.Ю. Ильясова., Н.Л. Казанский, А.О. Корепанов., А.В. Куприянов, А.В. Устинов, А.Г. Храмов // Компьютерная оптика. 2009. Т. 33, № 3. С. 281-317.
2. Kirbas C. A review of vessel extraction techniques and algorithms / C. Kirbas, F. Quek // ACM Computing Survey 36 (2) (2004). p. 81-124.
3. Multiscale vessel enhancement filtering / A.F. Frangi, W.J. Niessen, K.L. Vincken, M.A. Viergever // Lecture Notes in Computer Science 1496 (1998). P. 130-138.
4. Lindeberg T. Edge detection and ridge detection with automatic scale selection / T. Lindeberg // International Journal of Computer Vision 30(2) (1998). P. 117-154.
5. Полякова М.В. Обобщённые вейвлет-функции с компактным носителем в задаче сегментации изображений упорядоченных текстур / М.В. Полякова, В.Н. Крылов // Электроника и связь. 2007. № 1. С. 27-36.
6. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. М.-Ижевск, 2001. С. 464.
7. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans. Syst. Man, Cybern SMC-9 (1979). P. 62-66.
8. В.О. Давыдов. Автоматизация технологического процесса регистрации номеров при управлении транспортными потоками: дис. ... канд. техн. наук / В.О. Давыдов; науч. рук. М.В. Максимов. Одесса, 2004. С. 155.
9. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики / Д. Роджерс; пер. с англ. С.А. Вичеса, Г.В. Олохонтовой, П.А. Монахова. М.: Мир, 1989. 512 с.

10. Kazmar T. Opacity quantification in cardiac angiogram sequences / T. Kazmar, J. Kybic // BIOSIGNAL: Analysis of Biomedical Signals and Images / J. Jan, J. Kozumplik, I. Provaznik (Eds.). Brno, 2008. P. 66.

Полякова Марина Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информационные технологии в бизнесе» института бизнеса, экономики и информационных технологий Одесского национального политехнического университета

Marina V. Polyakova – Ph. D., Associate Professor
Department of Applied Mathematics and Information Technologies in Business,
Institute of Business, Economics and Information Technology,
Odessa National Polytechnic University

Ищенко Алеся Владимировна – ассистент кафедры «Прикладная математика и информационные технологии в бизнесе» института бизнеса, экономики и информационных технологий Одесского национального политехнического университета

Alesya V. Ishchenko – Department of Applied Mathematics and Information Technologies in Business,
Institute of Business, Economics and Information Technology
Odessa National Polytechnic University

Емец Юрий Владимирович – магистр кафедры «Прикладная математика и информационные технологии в бизнесе» института бизнеса, экономики и информационных технологий Одесского национального политехнического университета

Yuriy V. Emets – Department of Applied Mathematics and Information Technologies in Business,
Institute of Business, Economics and Information Technology
Odessa National Polytechnic University

Статья поступила в редакцию 12.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 519.713.1

М.Д. Сластихина, А.А. Сытник, Т.Э. Шульга

О ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНО ИЗБЫТОЧНЫХ СИСТЕМ, ЗАДАНЫХ АВТОМАТАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО КЛАССА

Рассматривается задача проектирования функционально избыточных дискретных систем. Показывается, что данная задача сводится к задаче построения универсального автомата для заданного класса автоматов. Исследуются особенности нахождения универсального автомата для класса автоматов, заданных полиномами с рациональными коэффициентами. Предлагается метод нахождения восстанавливающей последовательности для автоматов данного класса. Показывается, что сделанные выводы могут быть применены ко всем детерминированным конечным автоматам.

Функциональная избыточность, конечный детерминированный автомат, универсальный автомат, полином, функция перехода автомата

M.D. Slastihina, A.A. Sytnik, T.E. Shulga

ON THE APPROACH TO DESIGNING FUNCTIONALLY REDUNDANT SYSTEMS DEFINED BY SPECIFIC CLASS AUTOMATA

The article considers the problem of designing functionally redundant discrete systems. We show that this problem is reduced to the problem of constructing a universal automation for a given automata class. The features of finding a universal automaton for

the automata class defined by polynomials with rational coefficients are researched. A method of determining the recovery sequence for this automata class is described. It is shown that the findings can be applied to all deterministic finite automation.

Functional redundancy, finite deterministic automaton, universal automaton, polynomial, automaton transition function

Одной из основных задач математического моделирования функционально избыточных дискретных систем является задача проектирования. Функционально избыточная система – это система, которая может реализовать одно из нескольких поведений (из заданного класса поведений) без аппаратной перенастройки, за счет специальным образом построенной системы входных воздействий (так называемых входных восстанавливающих последовательностей) и снятия реакций в определенные моменты времени [1]. Функциональная избыточность может выявляться в уже созданной системе с целью получения требуемой реакции, а может целенаправленно создаваться на этапе проектирования системы. В работе рассматривается один из подходов к решению второй задачи, т.е. проектированию функционально избыточных систем. В качестве модели дискретной системы будем использовать конечный детерминированный автомат (КДА) как одну из наиболее распространенных моделей. В этом случае рассматриваемая задача сводится к задаче синтеза универсального автомата для заданного семейства автоматов.

Для формальной постановки задачи введем ряд определений.

КДА можно охарактеризовать как устройство, имеющее входной и выходной каналы и находящееся в каждый из дискретных моментов времени, называемых тактовыми моментами, в одном из конечного числа состояний [2].

Рассмотрим конечный детерминированный автомат вида $A = (X, S, \delta)$, где

$S = \{s_1, \dots, s_m\}$ – конечное непустое множество внутренних состояний,

$X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – конечное непустое множество входных сигналов,

$\delta: S \times X \rightarrow S$ – функция переходов.

Занумеруем состояния автомата натуральными числами $S = \{0, 1, \dots, m-1\}$ и представим функцию переходов данного автомата в виде обобщенных подстановок:

$$\delta_x: \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & m-1 \\ s_0 & s_1 & \dots & s_{m-1} \end{pmatrix}, x \in X. \quad (1)$$

Обозначим $s = (0, 1, \dots, m)$. Для краткости также будем использовать запись подстановки (1) в виде $\delta_x(s)$.

Определение 1

Пусть задано семейство автоматов $\{A_i = (X_i, S, \delta^{(i)})\}_{i \in I}$, $|S| = m$. Автомат $A = (X, S, \delta)$ назовем универсальным для семейства автоматов $\{A_i\}_{i \in I}$, если

$$(\forall x \in X_i)(\forall i \in I)(\exists t_x \in X^*)(\overline{\delta}_{t_x}(s) = \delta_x^{(i)}(s)), \text{ где } s = (0, \dots, m-1),$$

т.е. для любого входного сигнала x любого автомата из семейства $\{A_i\}_{i \in I}$ существует последовательность входных сигналов автомата A , индуцирующая преобразование, эквивалентное преобразованию, индуцируемому сигналом x автомата из семейства $\{A_i\}_{i \in I}$.

Определение 2

Пусть текущее поведение системы M моделируется автоматом $A = (X, S, \delta)$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, а требуемое – автоматом $B = (X, S, \delta')$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Без ограничения общности будем считать, что $\delta'_{x_1}(s) \neq \delta_{x_1}(s), \dots, \delta'_{x_h}(s) \neq \delta_{x_h}(s), \delta'_{x_{h+1}}(s) = \delta_{x_{h+1}}(s), \dots, \delta'_{x_n}(s) = \delta_{x_n}(s)$. Система M является функционально избыточной системой относительно требуемых поведений $\{\delta'_x\}_{x \in X}$, если $(\forall i, i = \overline{1, h})(\exists t_i \in X^*)$ такое, что $\delta'_{x_i}(s) = \overline{\delta}_{t_i}(s)$. Последовательность t_i будем называть восстанавливающей последовательностью для преобразования δ'_{x_i} (или для входного сигнала x_i).

Нахождение восстанавливающей последовательности является важным этапом работы с универсальными автоматами, так как именно восстанавливающие последовательности позволяют моделировать работу одного автомата другим автоматом.

С алгебраической точки зрения приложение последовательности входных сигналов индуцирует на множестве внутренних состояний преобразование, представляющее произведение преобразований, индуцируемых каждым из входных сигналов этой последовательности. При этом под произведением преобразований $\delta_{x_1}(s) \cdot \delta_{x_2}(s)$ понимается преобразование $\delta_{x_2}(\delta_{x_1}(s))$, обозначаемое как $\overline{\delta}_{x_1 x_2}(s)$. То есть все возможные преобразования, индуцируемые автоматом, представляют собой полугруппу преобразований относительно операции умножения, а автоматные подстановки $\{\delta_x\}_{x \in X}$ – систему образующих этой полугруппы. Таким образом, согласно определению 2, построение восстанавливающей последовательности для преобразования δ'_{x_i} автомата B означает нахождение представления этого элемента в виде произведения элементов системы образующих автомата A , т.е. элементов $\{\delta_x\}_{x \in X}$.

Дадим содержательную и формальную постановку задачи проектирования функционально избыточной системы.

Пусть задан класс I требуемых поведений системы и каждое требуемое поведение $i \in I$ описывается автоматом A_i . Таким образом, предполагается заданным семейство конечных детерминированных автоматов $\{A_i\}_{i \in I}$, моделирующих требуемые поведения системы.

Содержательная постановка задачи: спроектировать систему таким образом, чтобы она обладала функциональной избыточностью относительно заданного класса требуемых поведений.

Постановка задачи в терминах теории универсальных автоматов (задача синтеза универсального автомата): построить автомат A , задающий текущее поведение системы, который является универсальным для семейства автоматов $\{A_i\}_{i \in I}$.

Рассматривая автоматные преобразования, моделируемые многочленами, сформулируем основные положения, присутствующие при разработке любого метода построения универсального автомата общего вида.

Схема синтеза универсального общего вида

Вход: класс требуемых поведений системы.

Выход: универсальный автомат общего вида, совокупность восстанавливающих последовательностей.

1. Построение полугруппы P автоматных преобразований, описывающих требуемое поведение системы, т.е. описание всех различных автоматных преобразований, индуцируемых последовательностями входных сигналов при требуемом поведении.

2. Выбор в множестве P системы образующих элементов с учетом возможных ограничений на их вид и количество, построение на их основе функции переходов универсального автомата.

3. Определение механизма порождения всех элементов заданного множества автоматных преобразований через выбранную систему образующих. В случае необходимости допускается изменение системы образующих и повторение данного шага.

4. Разработка метода, определяющего для произвольного автоматного преобразования из заданного множества P его конкретного представления через элементы системы образующих. Конструирование на этой основе восстанавливающих последовательностей для заданного класса требуемых поведений.

Очевидно, что, используя данную схему для одного и того же класса автоматных преобразований, можно построить различные универсальные автоматы.

Рассмотрим всевозможные автоматные преобразования на множестве состояний $\{0, 1, \dots, m-1\}$, $m \in \mathbb{N}$, т.е. симметрическую полугруппу степени m . Известно (см., например, [3]), что симметрическая полугруппа преобразований, определенных на множестве $\{0, 1, \dots, m-1\}$, обладает минимальной системой образующих из трех элементов:

$$\begin{aligned} \delta_0 &: \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & m-1 \\ m-1 & 0 & 1 & \dots & m-2 \end{pmatrix}, \quad \delta_1 &: \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & m-3 & m-2 & m-1 \\ 0 & 1 & 2 & \dots & m-3 & m-1 & m-2 \end{pmatrix}, \\ \delta_2 &: \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & m-3 & m-2 & m-1 \\ 0 & 1 & 2 & \dots & m-3 & m-1 & m-1 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

Пример 1

Рассмотрим автомат $U_3 = (X, S, \Delta)$, где $X = \{0, 1, 2\}$, $S = \{0, 1, 2\}$, $\Delta = \{\delta_0, \delta_1, \delta_2\}$, функции $\delta_0, \delta_1, \delta_2$ представлены автоматными преобразованиями

$$\delta_0 : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \delta_1 : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}, \quad \delta_2 : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 2 \end{pmatrix}.$$

Из них может быть построено преобразование любого автомата с тремя состояниями.

Следовательно, автомат U_3 является универсальным в классе автоматов с числом состояний, не превосходящим 3, в том числе автомат U_3 способен моделировать и поведение автоматов $A = (X, S, \delta^A)$, $B = (X, S, \delta^B)$, где

$$\delta_{x_1}^A : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 0 \end{pmatrix}, \delta_{x_2}^A : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\delta_{x_1}^B : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \delta_{x_2}^B : \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

при подаче следующих последовательностей соответственно 002, 20, 00200, 2022. При этом длина восстанавливающих последовательностей для автоматных преобразований $\delta_{x_1}^A, \delta_{x_2}^A, \delta_{x_1}^B, \delta_{x_2}^B$ которая определяет длительность процесса реализации требуемых поведений, равна соответственно 3, 2, 5, 4.

Отметим, что универсальный автомат U_3 обладает тем же числом состояний, что и заданные автоматы A и B , и минимально возможным числом входных сигналов.

Для произвольного m построим автомат $U_m = (X, S, \delta)$, где $X = \{0, 1, 2\}$, $S = \{0, 1, \dots, m-1\}$, $\delta = \{\delta_0, \delta_1, \delta_2\}$. Из автоматных преобразований данного автомата может быть порождено любое автоматное преобразование автомата с m состояниями, т.е. оно может моделировать работу автоматов целого класса. Отсюда следует справедливость следующего утверждения.

Утверждение 1

$U_m = (X, S, \delta)$, где $X = \{0, 1, 2\}$, $S = \{0, 1, \dots, m-1\}$, $\delta = \{\delta_0, \delta_1, \delta_2\}$, функции $\delta_0, \delta_1, \delta_2$ которого представлены автоматными преобразованиями типа (2), является универсальным для любого автомата с m состояниями.

Несмотря на то, что для заданного числа состояний m моделируемых автоматов удалось получить явный вид универсального автомата U_m , основная задача – построение для него восстанавливающих последовательностей, т.е. задача выразимости произвольного элемента полугруппы преобразований степени m через элементы системы образующих, – является неразрешимой [4]. Однако и она может быть решена при наложении ограничений на вид моделируемых автоматных преобразований.

Исследования представлений автоматных подстановок полиномами с целочисленными коэффициентами приведены в [5, 6].

Рассмотрим следующий способ задания функции перехода автомата:

$$\delta_{x_i}(s) = a_0(x_i) + a_1(x_i)s + a_2(x_i)s^2 + \dots + a_{m-1}(x_i)s^{m-1} =: f_{x_i}(s), \tag{3}$$

$s \in S$, $a_k(x_i) : X \rightarrow Q$, где Q – множество рациональных чисел, $k = \overline{0, (m-1)}$, $x_i \in X$.

Определение 3

Будем говорить, что поведение конечного автомата A определяется семейством полиномов $\{f_x\}_{x \in X}$ с рациональными коэффициентами, если подстановка из семейства $\{\delta_x\}_{x \in X}$ представима в виде (3) для каждого $x_i \in X$, т.е. $f_{x_i}(s) = \delta_{x_i}(s)$. Будем говорить, что в таком случае подстановка δ_x равна полиному f_x .

Заметим, что полином f_x всегда можно представить в виде перестановки σ_x , вычислив значения полинома на множестве $\overline{0, (m-1)}$, где m – количество состояний автомата.

Теорема 1. Любой конечный детерминированный автомат может быть задан с помощью полиномов с рациональными коэффициентами [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что класс автоматов, моделируемых с помощью полиномов с рациональными коэффициентами совпадает с классом конечных детерминированных автоматов.

Как было показано в работе [7] по подстановке всегда можно получить равный ей полином по формуле:

$$f(s) = \sum_{i=0}^{m-1} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) s_i \tag{4}$$

Так как при данном методе получается многочлен $(m-1)$ -й степени, предлагается ограничить степень полинома числом $(m-1)$.

В данной работе решается задача нахождения универсального автомата для класса КДА с числом состояний m . Как было показано ранее, для данного класса уже существует решение в рамках

симметрических полугрупп преобразований, определенных на множестве $\{0, 1, \dots, m-1\}$. Используя данные результаты, можно по подстановкам вида (2) получить следующие полиномы:

$$\begin{aligned}
 f_0(s) &= \sum_{i=0}^{m-1} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) s_i = \prod_{l=1}^{m-1} \frac{s-l}{0-l} (m-1) + \prod_{l=0, l \neq 1}^{m-1} \frac{s-l}{1-l} 0 + \sum_{i=2}^{m-1} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) (i-1) = \\
 &= \prod_{l=1}^{m-1} \frac{s-l}{-l} (m-1) + \sum_{i=2}^{m-1} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) (i-1), \\
 f_1(s) &= \prod_{l=1}^{m-1} \frac{s-l}{0-l} 0 + \sum_{i=1}^{m-3} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) i + \prod_{l=0, l \neq m-2}^{m-1} \frac{s-l}{m-2-l} (m-1) + \prod_{l=0}^{m-2} \frac{s-l}{m-1-l} (m-2) = \\
 &= \sum_{i=1}^{m-3} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) i + \prod_{l=0, l \neq m-2}^{m-1} \frac{s-l}{m-2-l} (m-1) + \prod_{l=0}^{m-2} \frac{s-l}{m-1-l} (m-2), \\
 f_1(s) &= \prod_{l=1}^{m-1} \frac{s-l}{0-l} 0 + \sum_{i=1}^{m-3} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) i + \prod_{l=0, l \neq m-2}^{m-1} \frac{s-l}{m-2-l} (m-1) + \prod_{l=0}^{m-2} \frac{s-l}{m-1-l} (m-1) = \\
 &= \sum_{i=1}^{m-3} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) i + \prod_{l=0, l \neq m-2}^{m-1} \frac{s-l}{m-2-l} (m-1) + \prod_{l=0}^{m-2} \frac{s-l}{m-1-l} (m-1),
 \end{aligned} \tag{5}$$

Так как данные полиномы равны соответственно подстановкам (2), которые являются функциями перехода универсального автомата для класса КДА с числом состояний m , эти полиномы также могут задать функции аналогичного универсального автомата.

Пример 2

Рассмотрим автомат U_3 , приведенный в примере 1. Найдём полиномы f_0, f_1, f_2 , равные соответственно подстановкам $\delta_0, \delta_1, \delta_2$.

$$\begin{aligned}
 f_0(s) &= \prod_{l=1}^2 \frac{s-l}{-l} 2 + \prod_{l=0}^1 \frac{s-l}{2-l} = \frac{(s-1)(s-2)}{(-1)(-2)} 2 + \frac{s(s-1)}{2(2-1)} = \\
 &= s^2 - 3s + 2 + \frac{s^2 - s}{2} = \frac{3}{2}s^2 - \frac{7}{2}s + 2, \\
 f_1(s) &= \prod_{l=0, l \neq 1}^2 \frac{s-l}{1-l} 2 + \prod_{l=0}^1 \frac{s-l}{2-l} = \frac{s(s-2)}{1 \cdot (-1)} 2 + \frac{s(s-1)}{2 \cdot 1} = -2s^2 + 4s + \frac{s^2}{2} - \frac{s}{2} = -\frac{3}{2}s^2 + \frac{7}{2}s, \\
 f_2(s) &= \prod_{l=0, l \neq 1}^2 \frac{s-l}{1-l} 2 + \prod_{l=0}^1 \frac{s-l}{2-l} 2 = \frac{s(s-2)}{1 \cdot (-1)} 2 + \frac{s(s-1)}{1 \cdot 2} 2 = -2s^2 + 4s + s^2 - s = -s^2 + 3s,
 \end{aligned}$$

Так как эти функции соответственно равны подстановкам $\delta_0, \delta_1, \delta_2$, они обладают аналогичными свойствами и являются универсальными для класса автоматов с числом состояний, не превышающем 3.

Заметим, что каждой подстановке может быть равен больше чем один полином с рациональными коэффициентами. Например, подстановке

$$\delta : \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

равны полиномы

$$\begin{aligned}
 f_1(s) &= -s + 1, \\
 f_2(s) &= -s^2 + 1.
 \end{aligned}$$

Кроме того, применении входной последовательности порождается суперпозиция подстановок, а следовательно и суперпозиция функций, в результате чего могут получаться полиномы больших степеней. При этом, так как в общем случае никаких ограничений на количество состояний и на степень полинома не накладывается, то возникает вопрос о том, как получить полином минимальной степени.

Определение 3

Будем говорить, что два полинома $f_1(s)$ и $f_2(s)$ равны на множестве $S = \overline{0..m-1}$, где m – целое число, если они оба равны какой-либо подстановке вида (1) длиной в m элементов.

Теорема 2.

Для любого полинома вида (3), принимающего целочисленные значения на множестве $S = \overline{0..m-1}$, где m – целое число, степень которого больше m , существует равный ему полином, степень которого будет не больше $(m-1)$.

Доказательство.

Так как полином $f(s)$ принимает только целочисленные значения на множестве S , для него существует равная ему подстановка $\delta(s)$.

Найдем данную подстановку, вычислив соответствующие значения функции $f(s)$.

Так как доказано, что для любой подстановки существует равный ей полином $f_1(s)$, степень которого не превышает $(m-1)$, найдем этот полином по схеме, представленной в работе [7].

Так как полиномы $f(s)$ и $f_1(s)$ оба равны подстановке $\delta(s)$, то по определению они являются равными на множестве S .

Теорема доказана

Пример 3.

Рассмотрим полином $f(s) = -2,25s^4 + 10,5s^3 - 15,25s^2 + 7s$, который принимает следующие значения на множестве $\underline{0..2}$:

$$f(0) = -2,25 * 0^4 + 10,5 * 0^3 - 15,25 * 0^2 + 7 * 0 = 0,$$

$$f(1) = -2,25 * 1^4 + 10,5 * 1^3 - 15,25 * 1^2 + 7 * 1 = 0,$$

$$f(2) = -2,25 * 2^4 + 10,5 * 2^3 - 15,25 * 2^2 + 7 * 2 = 1.$$

Таким образом, данный полином по определению равен подстановке

$$\delta: \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

По формуле (4) вычислим полином, равный подстановке δ :

$$f(s) = \sum_{i=0}^{m-1} \left(\prod_{l=0, l \neq i}^{m-1} \frac{s-l}{i-l} \right) s_i = \frac{(s-1)(s-2)}{(0-1)(0-2)} 0 + \frac{s(s-2)}{(1-0)(1-2)} 0 + \frac{s(s-1)}{(2-0)(2-1)} 1 = 0,5s^2 - 0,5s$$

Заметим, что оба полинома равны одной и той же подстановке, однако степень одного из них равна 4, а второго – 2. Очевидно, что удобнее будет использовать в вычислениях второй полином.

Рассмотрим произвольный автомат $A=(X, S, \delta)$, число состояний которого равно m , а функции перехода представлены полиномами. Как было показано в теореме (2), для данного автомата можно найти универсальный автомат, функции перехода которого имеют вид (5). Однако остается открытым вопрос о нахождении восстанавливающей последовательности для данного автомата. С практической точки зрения важно не просто знать, что для данной группы автоматов есть универсальный автомат, но и получить список восстанавливающих последовательностей.

Метод 1.

Вход: автомат $A=(X, S, \delta)$, универсальный для него автомат $A'=(X, S, \delta')$, функции перехода которых заданы через полиномы с рациональными коэффициентами. Пусть $|X| = n$.

Выход: список восстанавливающих последовательностей для автомата A .

1. Создадим множество I , каждый элемент которого будет хранить числовой идентификатор полинома (созданный на основе числовой последовательности), сам полином, идентификатор его предка, а также элемент из множества X (входной сигнал), удовлетворяющий следующему условию: композиция полинома-предка и полинома, соответствующего данному входному символу, дает добавляемый в систему полином. То есть если входной сигнал x_i моделируется полиномом f_1 , и есть какая-либо последовательность входных символов, ввод которой в систему моделируется полиномом f_2 , то в множество I может быть внесена запись вида $(a, f_1(f_2), f_2, x_i)$, где a – порядковый номер добавляемого полинома.

2. Создадим очередь полиномов Q , внеся в нее полиномы из множества δ' и добавив их в структуру I , указав им в качестве предка значение -1 , а в качестве числового идентификатора числа от 0 до $n-1$.

3. Берем первый полином p из очереди и для каждого δ'_i вычисляем $f = \delta'_i(p)$.

4. Если f не является частью множества I – добавляем f в множество I' ; указав в качестве предка идентификатор полинома p , а в качестве предка очередное натуральное число.

5. Если f принадлежит множеству δ , то восстанавливающей последовательностью для $\delta_i = f$ будет вычисляться следующим образом:

а. Получаем значение элемента множества X , при котором было получено текущий полином f и номер предка этого полинома.

б. Пока номер предка не станет равен -1 будем добавлять текущий символ из множества X в начало результирующей строки и переходить к следующему предку.

6. Переходим к шагу 3 до тех пор, пока не будут найдены восстанавливающие последовательности для любого $\delta'_i \in \underline{0..n-1}$, либо очередь не станет пустой.

7. Если очередь оказалась пустой до того, как были найдены все восстанавливающие последовательности, то автомат A' не является универсальным для автомата A .

Пример 4.

Рассмотрим автоматы $U=(X, S, \Delta)$, где $X = \{0,1,2\}$, $S = \{0,1,2\}$, $\Delta = \{f_0, f_1, f_2\}$, и $A = (X, S, F^A)$, где:

$$f_0(s) = 1,5s^2 - 3,5s + 2, \quad f_1(s) = -1,5s^2 + 3,5s, \quad f_2(s) = -s^2 + 3s;$$

$$f_0^A(s) = -s^2 + 3s, \quad f_1^A(s) = s^2 - 3s + 2.$$

Заметим, что автомат U является универсальным для автомата A . Найдем восстанавливающие последовательности для автомата A по методу 1:

1. Создадим множество I , удовлетворяющее параметрам, перечисленным в методе 1. Создадим очередь полиномов Q и внесем в нее полиномы f_0, f_1, f_2 , добавив их в множество I .

Таким образом, множество I будет содержать следующие данные:

Идентификатор элемента	Полином	Идентификатор предка	Входной символ
0	$f_0(s) = 1,5s^2 - 3,5s + 2$	-1	0
1	$f_1(s) = -1,5s^2 + 3,5s$	-1	1
2	$f_2(s) = -s^2 + 3s$	-1	2

2. Выберем первый элемент из очереди Q – f_0 (при этом он удаляется из очереди) и вычислим композиции полинома f_0 с полиномами f_0, f_1, f_2 :

$$f_3(s) = f_0(f_0(s)) = 1,5(1,5s^2 - 3,5s + 2)^2 - 3,5(1,5s^2 - 3,5s + 2) + 2 =$$

$$= 3,375s^4 - 15,75s^3 + 22,125s^2 - 8,75s + 1,$$

$$f_4(s) = f_0(f_1(s)) = 1,5(-1,5s^2 + 3,5s)^2 - 3,5(-1,5s^2 + 3,5s) + 2 =$$

$$= 3,375s^4 - 15,75s^3 + 23,625s^2 - 11,75s + 2,$$

$$f_5(s) = f_0(f_2(s)) = 1,5(-s^2 + 3s)^2 - 3,5(-s^2 + 3s) + 2 =$$

$$= 1,5s^4 - 9s^3 + 17s^2 - 10,5s + 2.$$

Заметим, что получились функции 4 степени. Вычислим полиномы, равные полиномам f_3, f_4, f_5 по методу, описанному в теореме 2. Получим следующие полиномы:

$$f_3(s) = -1,5s^2 + 2,5s + 1,$$

$$f_4(s) = -s + 2,$$

$$f_5(s) = 0,5s^2 - 1,5s + 2.$$

Так как ни одной из этих функций нет в множестве I , добавим их туда и в очередь Q . Так как ни один из полиномов не равен искомым, будем повторять действия, описанные в данном пункте, для всех элементов очереди, пока очередь не станет пустой, или мы не получим искомые полиномы.

При получении обоих искомых полиномов множество I будет следующим:

Идентификатор элемента	Полином	Идентификатор предка	Входной символ
0	$f_0(s) = 1,5s^2 - 3,5s + 2$	-1	0
1	$f_1(s) = -1,5s^2 + 3,5s$	-1	1
2	$f_2(s) = -s^2 + 3s$	-1	2
3	$f_3(s) = -1,5s^2 + 2,5s + 1$	0	0
4	$f_4(s) = -s + 2$	0	1
5	$f_5(s) = 0,5s^2 - 1,5s + 2$	0	2
6	$f_6(s) = 1,5s^2 - 2,5s + 1$	1	0
7	$f_7(s) = s$	1	1
8	$f_8(s) = -0,5s^2 + 1,5s$	1	2
9	$f_9(s) = 2s^2 - 4s + 2$	2	0
10	$f_{10}(s) = -s^2 + 3s$	2	1
11	$f_{11}(s) = 0,5s^2 - 1,5s + 1$	3	2
12	$f_{12}(s) = s^2 - 3s + 2$	4	2

3. Заметим, что f_{10} и f_{12} равны искомым полиномам. Найдем восстанавливающие последовательности для данных полиномов.

$$f_{10}(s) = f_1(f_2(s)),$$

$$f_{12}(s) = f_2(f_4(s)) = f_2(f_0(f_1(s))).$$

Т.е. восстанавливающими последовательностями для данных полиномов будут являться последовательности 21 и 102.

Сложность данного метода составляет $O(m^m)$. Заметим, что данный алгоритм, как и многие другие алгоритмы теории универсальных автоматов, можно отнести к пр-сложным алгоритмам. Однако данный алгоритм получает восстанавливающую последовательность минимальной длины.

Таким образом, в данной работе показано, как можно решить задачу проектирования функционально избыточной системы на основе решения задачи синтеза универсального автомата для автоматов с заданным числом состояний. Разработан метод получения восстанавливающей последовательности для автоматов, функции перехода которых заданы через полиномы с рациональными коэффициентами.

Данный метод может быть модифицирован для других способов задания автомата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сытник А.А. Об алгоритмической неразрешимости задач математического моделирования функционально избыточных дискретных систем / А.А. Сытник, Т.Э. Шульга // Вестник СГТУ. 2011. № 4(60). С. 213-218.
2. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов: пер. с англ. / А. Гилл. М.: Наука, 1966. 272 с.
3. Ляпин Е.С. Полугруппы / Е.С. Ляпин. М.: Физматгиз, 1960. 592 с.
4. Сытник А.А. Перечислимость при восстановлении поведения автоматов / А.А. Сытник // Доклады РАН. 1993. Т.238. С. 25-26.
5. Сытник А.А. Числовые методы функционального восстановления поведения систем / А.А. Сытник, Т.Э. Шульга // Автоматика и телемеханика. 2003. Вып. 10. С. 123-130.
6. Шульга Т.Э. Численные критерии восстановимости поведения КДА степенным многочленом / Т.Э. Шульга // Теоретические проблемы информатики и ее приложений. 1997. Вып. 1. С. 132-137.
7. Фатьянова М.Д. Задание автоматов с помощью семейства полиномов с рациональными коэффициентами / М.Д. Фатьянова // Наука и общество. 2011. Вып. 1. С. 113-116.

Сластихина Мария Дмитриевна – аспирант, ассистент кафедры «Прикладная информатика и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mariya D. Slastihina – Postgraduate, Assistant Lecturer
Department of Applied Informatics and Software Engineering,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Сытник Александр Александрович – доктор технических наук, профессор, первый проректор Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksandr A. Sytnik – Dr. Sc., Professor
Vice-rector
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Шульга Татьяна Эриковна – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная информатика и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatyana E. Shulga – Dr. Sc., Associate Professor
Head: Department of Applied Informatics and Software Engineering,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 10.09.13, принята к опубликованию

УДК 004.418

М.М. Соловьев, А.А. Бутов, М.А. Карев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ SIMPLEX

Описывается система управления электронными ресурсами Simplex. Эта система позволяет создавать информационные ресурсы (сайты) различной сложности с возможностью дальнейшего управления и администрирования. Simplex была разработана на языке программирования PHP с использованием БД MySQL и HTML/CSS/JavaScript. Платформа использует схему MVC (Model-View-Controller). Система нацелена на упрощение разработки, изменения и управления информационными ресурсами.

Система управления контентом, PHP, MVC

M.M. Solovyev, A.A. Butov, M.A. Karev

CONTENT MANAGEMENT OF THE SIMPLEX SYSTEM

The article presents the Simplex Content Management System. The given system allows you to create information resources (sites) of varying difficulty with the possibility of further management and administration. The Simplex has been developed using the PHP programming language with MySQL database and HTML/CSS/JavaScript. The platform utilizes the MVC (Model-View-Controller). The system aims at facilitating the development, modification and management of information resources.

Content Management System, PHP, MVC

Введение

В статье описывается система создания информационных ресурсов или сайтов, которые затем с ее помощью можно администрировать, т.е. добавлять новую и изменять существующую информацию. Приводится описание процесса разработки, методов управления и хранения данных.

Данная система является технологической платформой для создания и управления проектами (сайтами). Она позволяет создавать неограниченное число тематических сайтов, используя одни и те же файлы ядра системы и БД, изменению подлежат только файлы визуальной части. Платформа позволяет сократить расходы на сопровождение проекта, используя визуально понятный интерфейс управления статической и динамической информацией. Для управления проектом не требуется участия дополнительных специалистов, таких как дизайнер, верстальщик, программист и др.

Система управления сайтом/содержимым или CMS представляет собой инструмент для управления и вывода данных через браузер в трех режимах:

1. *Пользовательский*. Режим просмотра данных сайта для любых пользователей Интернета.
2. *Административный*. Режим редактирования и управления информацией/данными на сайте, который доступен после ввода администраторского логина/пароля.
3. *Авторизованный*. Режим персональных данных, доступный после регистрации на сайте и ввода логина/пароля. Данный режим включается в проект опционально, если требуется.

1. Технические особенности

Simplex написана на широко используемом языке программирования PHP и использует БД MySQL, а для визуализации данных HTML/CSS/JavaScript, что дает широкие возможности для доработок и развития системы. Файловая структура системы сделана по принципу модели MVC (Model, View, Controller), что позволяет разделить систему на три составляющие: модель, представление и управление. Такое представление делает понятным файловую структуру описываемой работы (табл. 1).

Существует много систем такого рода, но все они обладают рядом недостатков:

- тематические системы, т.е. системы для сайтов определенной тематики;
- сложны в понимании по управлению данными;
- сложны в установке и настройке;
- сложность в доработке нового функционала;
- недостаточная документированность;
- высокие требования на устанавливаемую платформу;
- недостаточная функциональность.

Работу настроенной системы можно изобразить в виде блок-схемы (рис. 1).

Файловая структура Simplex

/admin/	Папка с общими файлами для администраторского интерфейса
../css/	Стили администраторского интерфейса
../img/	Картинки администраторского интерфейса
../js/	Вспомогательные JavaScript-скрипты для администраторского интерфейса
../tpl/	Общие шаблоны администраторского интерфейса, выделение блоков, всплывающих окон и т.д.
../utils/	Дополнительные утилиты админки (файлы skeditor).
../htaccess	Обработчик запросов к админке
../index.php	Индексный файл админки, регистрирует авторизацию пользователя
/files/	Все загруженные файлы пользователями сайта, в т.ч. отмасштабированные под нужный размер картинки
../<дата: yууymmdd>/	Папка с датой сохранения файла
../<время: hhmiss>/	Папка со временем сохранения файл
../<file>	Сохраненный файл. Русские символы в имени транслитерируется при загрузке
/includes/	Подключаемые файлы с вспомогательными функциями и настройками
../config.inc.php	Конфигурационный файл системы
../core.inc.php	Класс с общими функциями системы, которые может использовать каждый модуль. Например, отправка сообщения по почте функцией mail()
../db.inc.php	Общий класс методов работы с БД
../db_config.ini	Содержит настройки к БД
../defines.inc.php	Константы системы
../functions.inc.php	Общие глобальные функции системы (обычно мелкие функции, которые могут применяться в любом месте проекта)
../upload.inc.php	Класс с методами работы для загрузки файлов с форм на сервер
/modules/	Папка со всеми модулями-блоками системы
../_main/	Общий класс обработчик запросов к системе
../core.inc.php	Получение информации о запрашиваемой странице и передача управления модулям, находящимся на ней
../sql.inc.php	Работа с БД
../<название модуля>/	Папка с файлами модуля
../tpl/	Шаблоны модуля
../../admin/	Шаблоны управления содержимым модуля, администраторский доступ
../../ru/	Стандартные русскоязычные шаблоны модуля
../core.inc.php	Обработчик действий модуля
../sql.inc.php	Работа с БД (в основном с таблицами модуля)
/tpl/	Общие шаблоны сайта (пользовательская часть)
../<тема сайта>/	Название папки шаблона (темы) для сайта, который задается в файле /includes/config.inc.php
../css/	Папка с файлами стилей для текущего шаблона
../images/	Папка с файлами картинок для текущего шаблона
../js/	Папка с файлами скриптов для текущего шаблона
../ru/	Папка с файлами шаблонов для русской версии
../../<имя модуля>/	Дополнительные шаблоны модуля. Из этой папки в шаблоны отображаются в первую очередь
../../404.php	Шаблон страницы 404 ошибки
../../main.php	Главный шаблон сайта с header и footer
../../pager_list.php	Шаблон постраничной навигации
/htaccess	Файл первоначальной обработки запросов к системе
/index.php	Индексный файл, через него идут все запросы (кроме запросов к картинкам, не скриптовым файлам, стилям и т.д.)

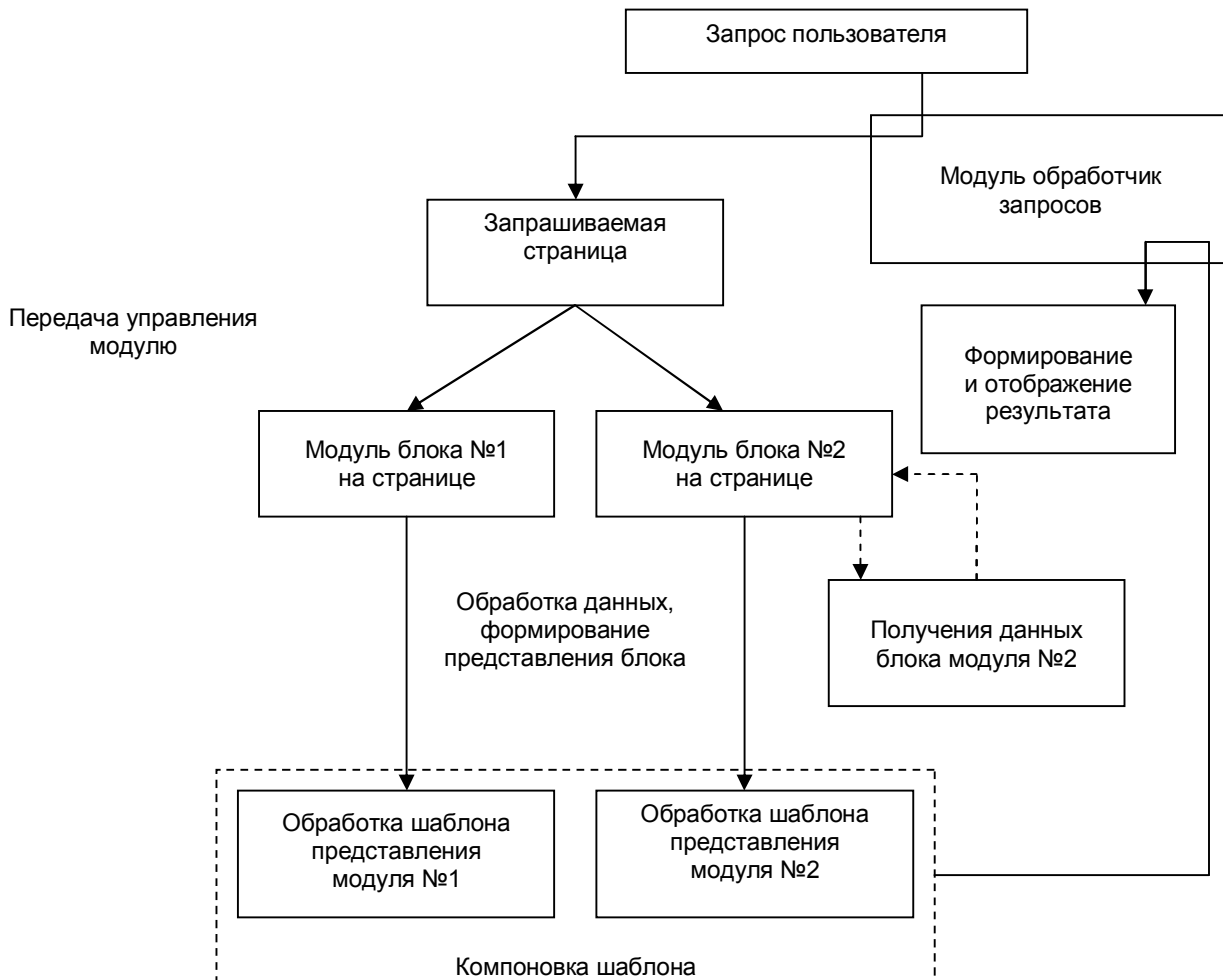


Рис. 1. Блок схема работы системы Simplex

2. Администрирование

Для входа в администраторский интерфейс необходимо авторизоваться (рис. 2).

Рис. 2. Блок авторизации администратора системы

При этом появится всплывающее окно, где необходимо ввести логин и пароль администратора. Если данные введены корректно, то страница перезагружается и вверху страницы появляется строка администраторского интерфейса (рис. 3).



Рис. 3. Строка администраторского интерфейса

Практически вся информационная часть сайта состоит из редактируемых на странице блоков-модулей (контейнер с информацией, выводятся по определенному шаблону и доступной для редактирования администратором). Это контейнер, содержащий информацию, выводятся по определенной схеме при помощи модулей системы. Это основное наполнение сайта информацией. Список этих блоков задается при установке системы и не подлежит изменению администратором, только программист может добавить новый модуль в список. Редактирование этих элементов доступно после авторизации на сайте в роле администратора, они выделены пунктирной линией. Существует два типа блоков-модулей: статичные и динамические.

1. Динамические блоки-модули.

Данные блоки могут быть добавлены на страницу администратором в любом количестве. Они могут быть отсортированы между собой и удалены/отключены при необходимости. Вот, некоторые из них.

- *Строка навигации* – выводит строку навигации сайта, начиная с «Главной» страницы.
- *Каталог* – блок информации с перечнем свойств: «Заголовок», «Описание», «Дата», «Файл».
- *Контент* – блок информации с функциями форматирования текста.
- *Вопросы и ответы* – блок информации с перечнем свойств: «Вопрос», «Ответ», «Дата».
- *Картинка* – блок содержащий вывод одной картинки.
- *Форма связи* – блок с возможностью отправки сообщения с сайта на указанный в его настройках E-mail.
- *Новости* – блок информации с перечнем свойств: «Заголовок», «Краткое описание», «Полное описание», «Дата», «Файл».
- *Цитата* – блок с текстовой информацией и ее автором.
- *Карта сайта* – список видимых разделов сайта.
- *Подразделы* – список подменю относительно текущей директории.
- *Заголовок* – блок заголовка страницы.
- *Доп. меню* – блок для вывода ссылок на существующие разделы сайта.

2. Статичные блоки-модули.

Это блоки с жестко зафиксированной позицией на странице. Их нельзя переместить или удалить, но можно редактировать содержащуюся информацию:

- *Меню* – блок основного меню сайта.
- *Константа* – блок со статичным текстом, который обычно выводится на всех страницах (например, контакты или копирайт).
- *Корзина товаров* – задает место расположения корзины, в которую попадают заказываемые пользователем товары.
- *Профиль пользователя* – содержит регистрацию/авторизацию и личный кабинет пользователя.

Заключение

Описываемая система позволяет решить большинство проблем, связанных с разработкой информационных сайтов, но не претендует на универсальную. Она проста как в понимании принципов ее разработки/доработки, так и в плане администрирования. Для последнего, пользователю не обязательно знать технические стороны данного вопроса, т.к. система имеет понятный интерфейс и адекватна в своих действиях. С другой стороны, пользователю предлагается полная документация как в самой системе для каждого модуля, так и в отдельном файле.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (НИР, проводимые в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ на 2013 г., Программы стратегического развития УлГУ на 2012-2016 гг., Программы развития деятельности студенческих объединений УлГУ на 2012-2013 гг.).

Соловьев Михаил Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования медико-биологических объектов Ульяновского государственного университета

Mikhail M. Solovyev – Ph. D., Senior Research Fellow
Laboratory of Modeling of Biomedical Objects
Ulyanovsk State University

Бутов Александр Александрович –
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Прикладная математика»
Ульяновского государственного университета

Alexander A. Butov –
Dr. Sc., Professor
Head: Department of Applied Mathematics
Ulyanovsk State University

Карев Михаил Андреевич –
аспирант, младший научный сотрудник
студенческой лаборатории моделирования
биологических объектов Ульяновского
государственного университета

Mikhail A. Karev –
Postgraduate, Junior Researcher
Laboratory for Modeling Biological Objects,
Ulyanovsk State University

Статья поступила в редакцию 17.10.13, принята к опубликованию

УДК 519.6

С.П. Романчук, Д.В. Терин, О.С. Шатурная

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ СХЕМ ОДНОВРЕМЕННОГО ПОИСКА КОРНЕЙ ПОЛИНОМОВ С КОМПЛЕКСНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МОДЕЛЯМ ЭФФЕКТИВНОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены методы одновременного поиска корней многочленов. Разработана программная реализация численных методов Аберта-Эрлиха и Дюрана-Кернера. Описывается алгоритм тестирования, позволяющий генерировать многочлены с интересующей областью определения коэффициентов n -й степени с t начальными приближениями.

Численный метод, корни многочлена, локализация корней, метод Аберта-Эрлиха, метод Дюрана-Кернера

S.P. Romanchuk, D.V. Terin, O.S. Shaturnaya

RESEARCH INTO NUMERICAL SIMULTANEOUS SEARCH SCHEMES OF POLYNOMIAL ROOTS WITH COMPLEX COEFFICIENTS APPLIED TO EFFECTIVE MEDIUM MODELS

The article presents the methods for the simultaneous search of the polynomial roots. A software was developed to implement the Abert-Ehrlich and Durand-Kerner numerical methods. The testing algorithm ensures generation of polynomials with a limited domain for definition coefficients with the n -th degree.

Numerical method, roots of the polynomial, localization of the roots, Abert-Ehrlich method, Durand-Kerner method

Введение

Проблема поиска корней многочлена представляет интерес не только для фундаментальных, но и для прикладных наук. Так например, при исследовании и моделировании оптических свойств материалов различного функционального назначения возникает необходимость поиска решения многочлена с комплексными переменными [1]. Этот пример является одним из огромного количества других задач, где требуется применение численных методов поиска корней многочлена. Большое количество литературы по теории многочленов также свидетельствует о потребности решения задач связанных с этим вопросом, например [2].

Численные схемы поиска корней

Среди итерационных методов поиска корней многочлена можно выделить методы последовательного поиска корней и методы одновременного поиска корней. Принципиальное отличие этих двух подходов состоит в следующем.

При одновременном поиске корней изначально выбираются первые приближения для каждого корня и ведется итеративное уточнение корней по какому-либо конкретно выбранному методу.

При последовательном поиске корней используется прием понижения степени. Для исходного полинома проводится поиск корня, после чего делением исходного полинома на двучлен происходит понижение степени, и для нового полинома с пониженной степенью повторяются предыдущие операции, вплоть до получения полинома первой степени. Проблемой методов последовательного поиска является то, что при последовательном понижении степени появляется вычислительная погрешность. Причиной тому является то, что при делении полинома на приближенное значение найденного корня, мы получаем полином с пониженной степенью для последующего определения других корней, и то, что деление проводится на приближенный корень, дает вычислительную погрешность при вычислении следующего корня, что, в свою очередь, дает цепочку увеличивающихся погрешностей. Это особенно важно при поиске корней полиномов высших степеней.

В работе рассматриваются методы одновременного поиска корней: метод Аберта-Эрлиха [3] и метод Дюрана-Кернера [4]. В связи с тем, что при использовании данных методов нет необходимости проводить понижение степени полинома при поиске корней, накапливающаяся погрешность отсутствует.

Локализация корней многочлена. Перед вычислениями корней можно однозначно установить их количество. Следствием основной теоремы алгебры [2] является то, что любой многочлен степени n над полем комплексных чисел имеет в нём ровно n корней, с учётом кратности корней, а также все корни лежат внутри кольца:

$$|x_p| \leq 1 + \frac{1}{|a_n|} \max(|a_0|, |a_1|, \dots, |a_{n-1}|). \quad (1)$$

Начальные приближения. Необходимо определить начальные приближения корней, так как у нас есть область определения корней, то можем пойти двумя путями, либо выбрать равноудаленные друг от друга значения для начального приближения, либо значения выбрать случайным образом. Мы воспользуемся случайным выбором начальных приближений корней. Главным условием выбора начальных значений является то, что все выбранные значения должны быть различны.

Методы поиска корней. Пусть

$$p(x) = p_n x^n + p_{n-1} x^{n-1} + \dots + p_1 x + p_0, \quad (2)$$

является полиномом степени n с комплексными или действительными коэффициентами. Тогда существуют такие комплексные числа, являющиеся корнями полинома,

$$z_1, z_2, \dots, z_n, \quad (3)$$

которые дают факторизацию

$$p(x) = p_n \cdot (x - z_1) \cdot (x - z_2) \cdot \dots \cdot (x - z_n) \quad (4)$$

На каждой итерации метода, вычисляем приращения корней. Формула вычисления приращения по методу Аберта-Эрлиха выглядит следующим образом [3]:

$$w_k = -\frac{p(z_k)}{p'(z_k)} \left/ \left(1 - \frac{p(z_k)}{p'(z_k)} \times \sum_{j \neq k} \frac{1}{z_k - z_j} \right) \right., \quad (5)$$

по методу Дюрана-Кернера [4]:

$$w_k = -\frac{p(z_k)}{\prod_{j \neq k} z_k - z_j} \quad (6)$$

Далее вычисляем следующее приближение корня:

$$z_n = z_n + w_n. \quad (7)$$

Алгоритм локализации корней полинома и генерации начальных приближений. Входными данными при вычислении начальных приближений, является степень полинома и коэффициенты по-

линома. При окончании работы алгоритма мы получаем начальные приближения корней полинома. Данный алгоритм можно разделить на две логические части.

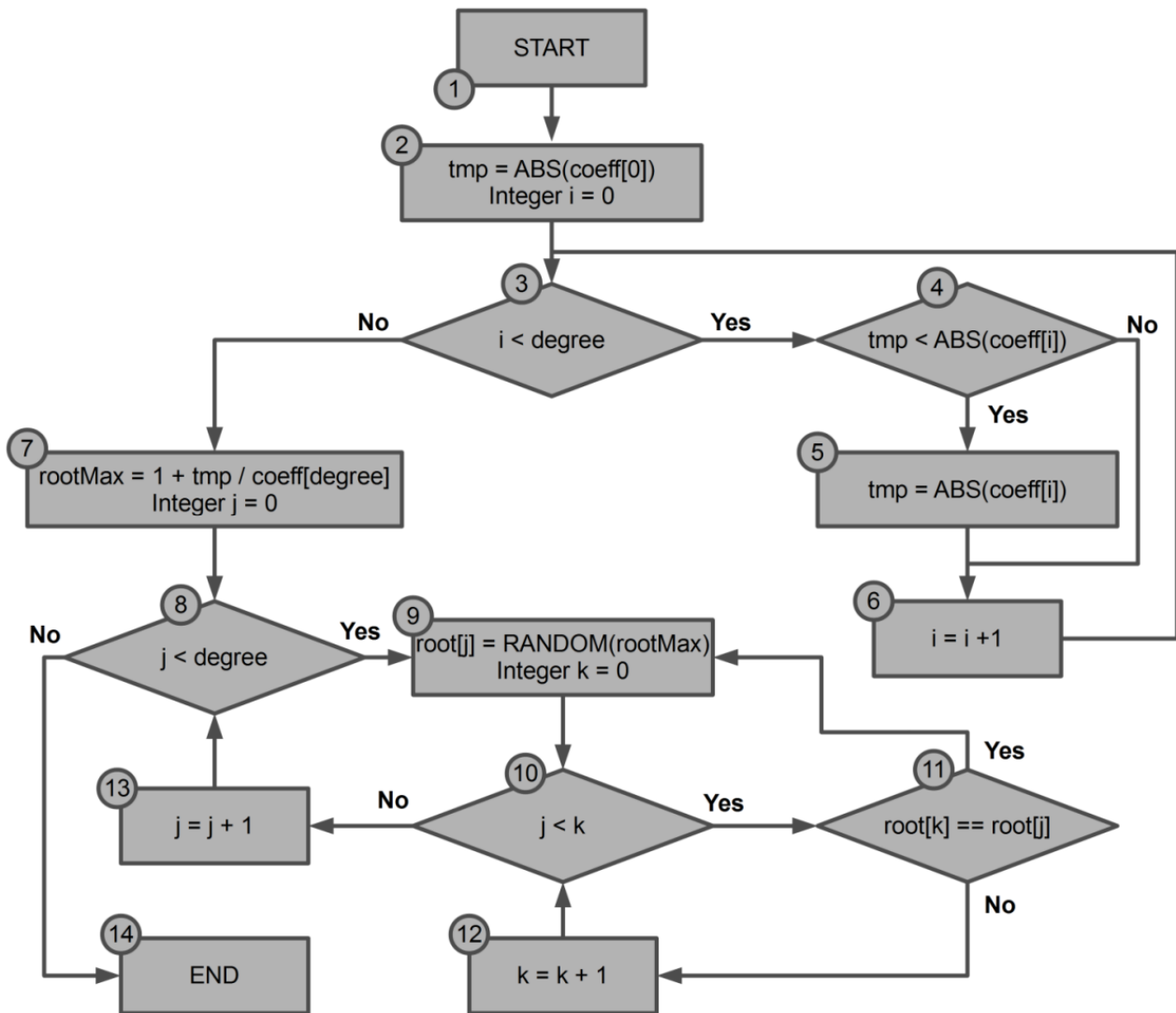


Рис. 1. Алгоритм локализации корней и генерация начальных приближений

Первая часть (Рис. 1, пункты 2–7) – это определение границ для дальнейшей генерации начальных приближений. Вторая часть (Рис. 1 пункты 7–13) – это генерация корней, с проверкой на уникальность. Перед началом работы алгоритма выделяется память для хранения начальных приближений. Пункты 3–6 (Рис. 1 пункты 3–6) – это цикл определения максимального значения коэффициента полинома. Далее (Рис. 1 пункт 7) вычисление верхней границы для генерации начальных приближений. Пункт 9 (Рис. 1 пункт 9) – это пункт генерации начального приближения. После чего проводится проверка на уникальность (Рис. 1 пункты 10–12), которая заключается в том, что после генерации просматриваются все предыдущие генерации начальных значений. Если оказывается, что одно из предыдущих значений совпадает с текущим, то генерация повторяется, иначе генерируется значение для следующего корня. После того, как система сгенерирует все начальные корни полиномов, запускается алгоритм итеративного уточнения корней одним из численных методов.

Алгоритм Аберта-Эрлиха. Входными данными при поиске корней многочлена по методу Аберта-Эрлиха являются степень и коэффициенты полинома, а также точность вычислений. На выходе мы получаем вычисленные корни. Весь алгоритм можно разделить на два цикла, основной, который является идентичным для метода Аберта-Эрлиха и метода Дюрана-Кернера, и дополнительный, который реализуется конкретно для каждого метода.

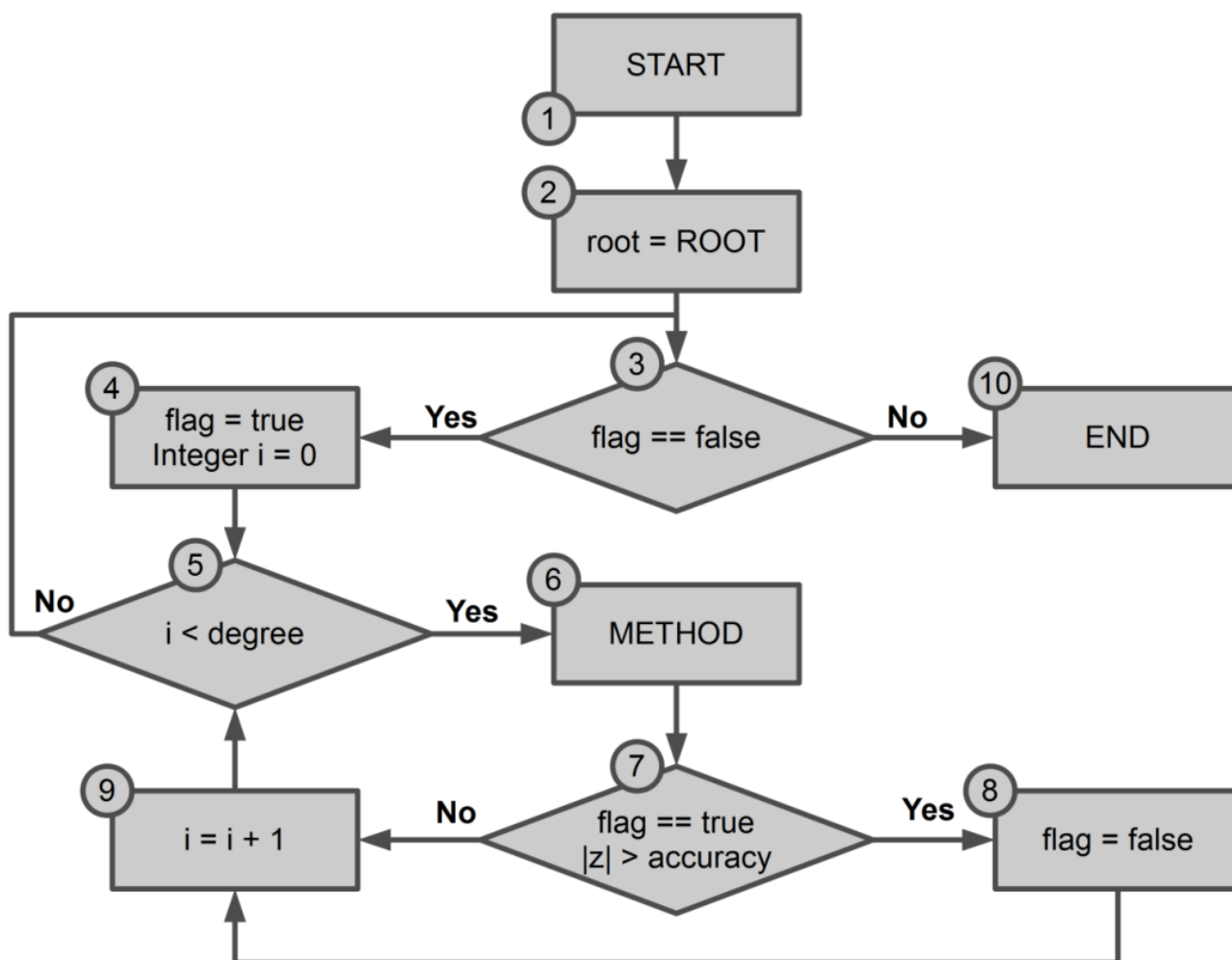


Рис. 2. Основной цикл методов поиска корней

Основной цикл (Рис. 2) работает до тех пор пока приращение для всех корней не достигнет заданной точности. Дополнительный цикл (Рис. 3) вычисляет для каждого корня приращение по методу Аберта-Эрлиха. Перед тем как запускается основной цикл вычисления корней, происходит инициализация переменных и выделение памяти (Рис. 2). Далее происходит вычисление начальных приближений корней (Рис. 2 пункт 2). Значения для начальных приближений генерируются случайным образом (функция ROOT), далее запускается основной цикл алгоритма, условием выхода из которого является значение переменной flag (Рис. 2 пункт 3). Переменная flag сигнализирует, что приращения для всех корней полинома достигли заданной точности (Рис. 2 пункты 7 и 8).

Внутри основного цикла (Рис. 2 пункт 6) функционирует дополнительный (Рис. 3), в теле которого вычисляется приращение для каждого корня в отдельности. Данный алгоритм разделен на два этапа. Первым этапом происходит суммирование (Рис. 3 пункты 4–6):

$$sum = \sum_{j \neq k} \frac{1}{z_k - z_j} \quad (8)$$

На следующем этапе (Рис. 3 пункт 7) происходят вычисления модуля полинома, производной и приращения для текущего корня по формуле:

$$z = \frac{1}{deriv/poly - sum}, \quad (9)$$

а также происходит сохранение нового корня. Далее проводится анализ вычисленного приращения (Рис. 2 пункт 7). Если все предыдущие приращения достигли заданной точности и текущее значение не превышает заданной точности, то работа основного цикла (после вычисления оставшихся корней) будет остановлена, иначе дальнейшие вычисления будут продолжены.

Алгоритм Дюрана-Кернера. Входными данными при поиске корней многочлена по методу Дюрана-Кернера будут аналогичны как и по предыдущему методу, т.е. степень и коэффициенты полинома, а также точность вычислений. На выходе мы получаем вычисленные корни. Алгоритм также можно разделить на две части, основной цикл (описанный выше) и дополнительный (Рис. 4). Расчет приращения начинается с того, что проводится вычисление произведения разности каждого корня с текущим (Рис. 4 пункты 4–6) по формуле:

$$denom = \prod_{j \neq k} z_k - z_j \quad (10)$$

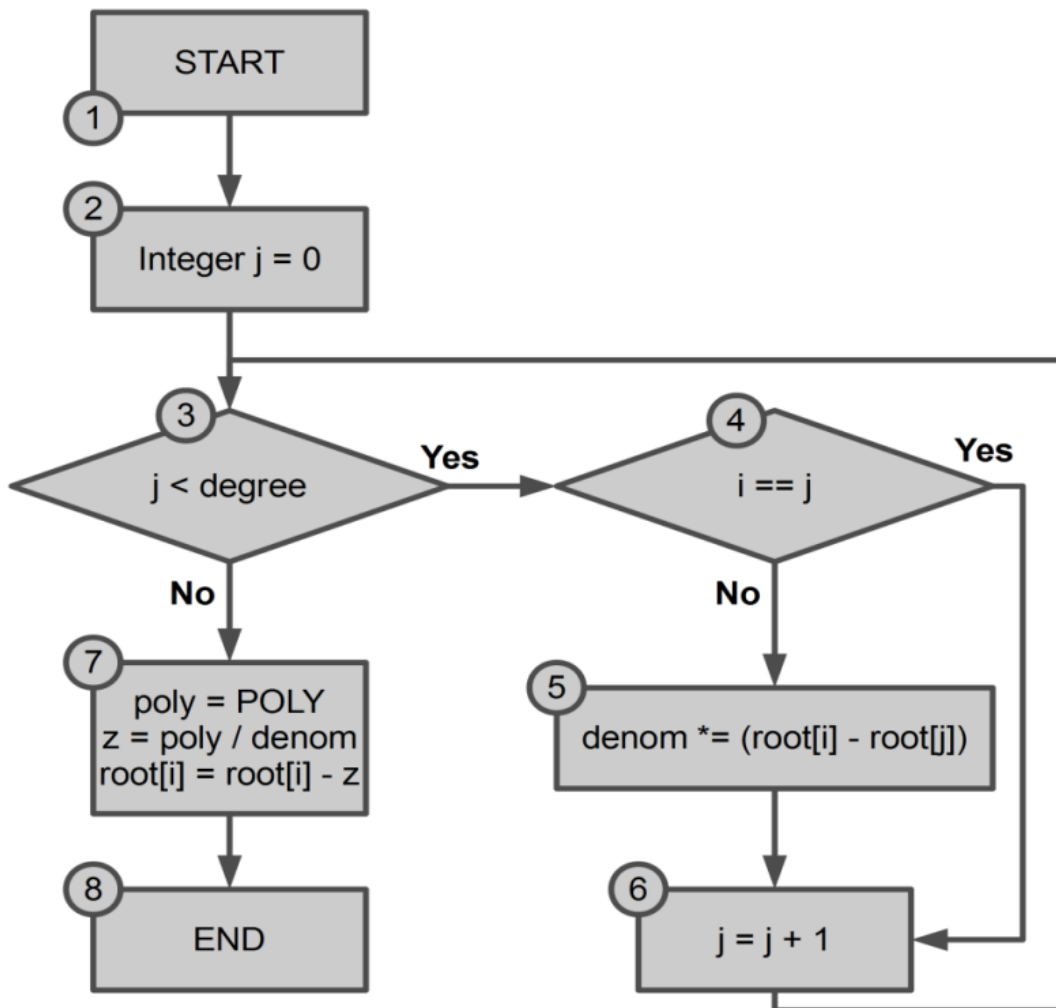


Рис. 3. Блок-схема алгоритма Аберта-Эрлиха

На следующем этапе (Рис. 4 пункт 12) вычисляется модуль полинома и приращение для текущего корня по формуле

$$z = poly / denom \quad (11)$$

А также заносится новый корень в память. Далее проводится анализ вычисленного приращения (описано в предыдущем пункте).

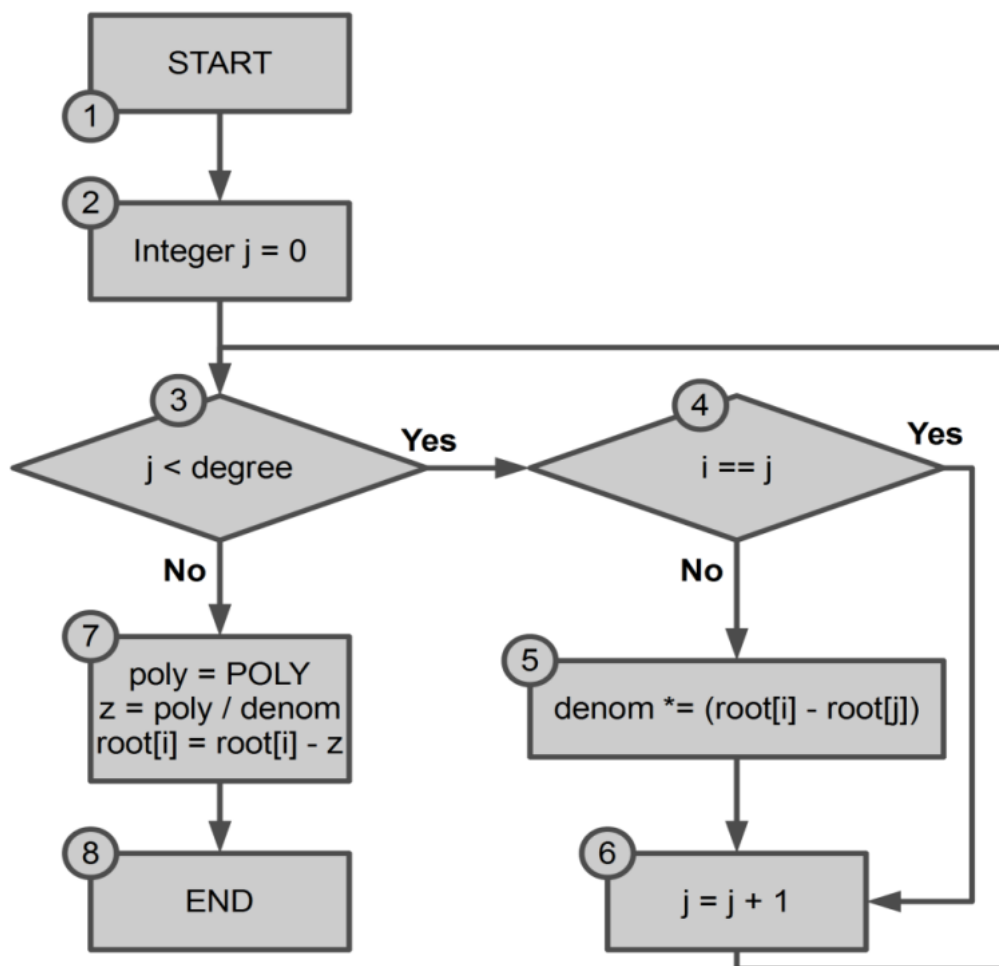


Рис. 3. Блок-схема алгоритма Дюрана-Кернера

Численный эксперимент

Численный эксперимент состоит из подготовительных этапов и исследования производительности алгоритмов. На первом этапе случайным образом генерируются многочлены. Для генерации многочленов вручную задаются количество многочленов одного типа, степень многочлена и граничные значения коэффициентов.

На следующем этапе генерируются случайным образом начальные приближения корней. На данном этапе пользователь устанавливает количество наборов начальных приближений. Границы для генерации начальных приближений вычисляются относительно коэффициентов многочлена.

После этого мы получаем массив сгенерированных многочленов и к каждому многочлену массив сгенерированных начальных приближений. Последним подготовительным этапом является установка точности вычислений. Точность вычислений задаётся для принятия решения о остановке работы алгоритма. Если вновь вычисленное приращение корня меньше по модулю выбранной точности, то корень считается найденным. Далее для каждого метода запускаем поиск корней.

При работе алгоритмов исследуем количество итераций и время необходимых для поиска корней.

При проведении теста генерировалось по 100 многочленов и для каждого многочлена генерировалось по 100 различных наборов начальных приближений. Область определения коэффициентов ограничивалась значениями от $(-10+i10)$ до $(10+i10)$ исходя из условий прикладной задачи. Точность установлена равной $1E-5$. Программная реализация алгоритмов разработана на языке C++, эксперимент проводился на следующем оборудовании: AMD Phenom™ II P650 Dual-Core 2.60 GHz, 3 Gb, MS Windows 7 (32) Home basic.

На рис. 5 видно, что с точки зрения количества итераций необходимых для достижения заданной точности, метод Аберта-Эрлиха наиболее эффективен, но с точки зрения затрачиваемого времени, наиболее эффективен метод Дюрана-Кернера (Рис. 6).

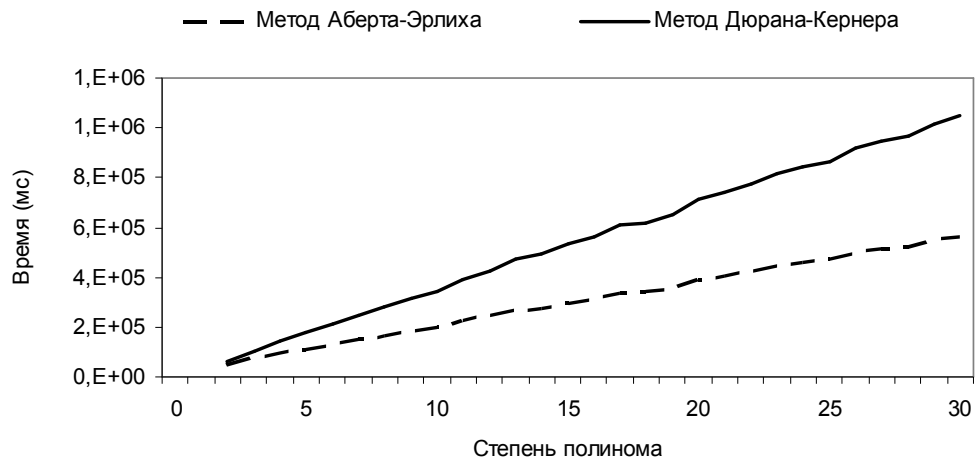


Рис. 4. Зависимость количества итераций от степени полинома

Такая зависимость связана с тем, что при использовании метода Аберта-Эрлиха необходимо вычислять производную, а также при вычислении приращения используется больше арифметических операций. При использовании метода Дюрана-Кернера необходимо только модуль многочлена разделить на произведение разности корней, что в свою очередь сокращает затраты по времени.

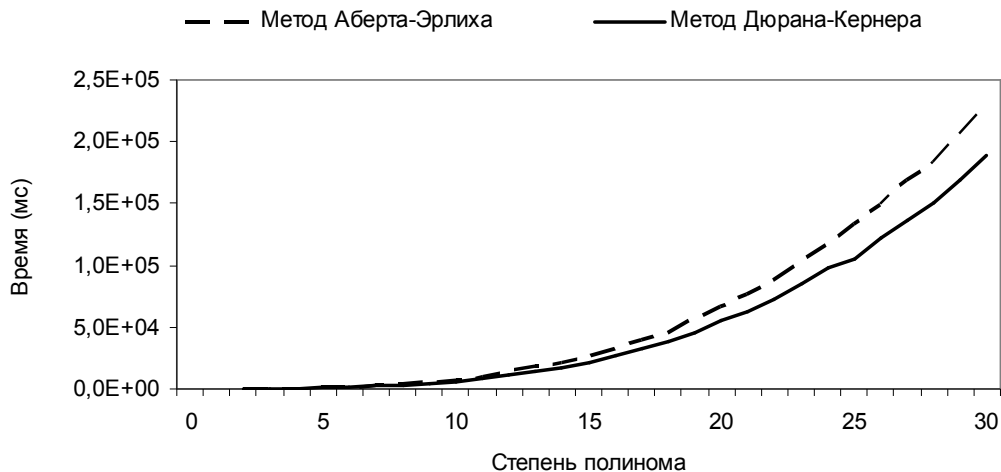


Рис. 5. Зависимость количества затрачиваемого времени на вычисления от степени полинома

Заключение

В исследуемой области определения комплексных коэффициентов от $(-10-i10)$ до $(10+i10)$, при установленной точности $1E-5$ вплоть до 30-й степени полиномов, проведенный численный эксперимент показал, что для рассмотренных методов одновременного поиска корней многочлена характерен линейный рост количества итераций и квадратичная зависимость времени на 10^3 вычислений от степени полинома. Предложена программная реализация алгоритма локализации корней и генерации начальных приближений, иллюстрирующая стабильность работы методов Аберта-Эрлиха и Дюрана-Кернера в исследуемых диапазонах. Разработанное приложение позволяет по внесенным данным формировать статистику работы описываемых алгоритмов и рекомендовать оптимизационные процедуры для последующего использования рассмотренных вычислительных схем применительно к моделям эффективной среды [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А.П. К вопросу об эффективных параметрах метаматериалов / А.П. Виноградов, А.В. Дорофеев, С. Зухди // УФН. 2008. Т. 178, № 5. С. 511-518.
2. Прасолов В.В. Многочлены / В.В. Прасолов. 3-е изд. М.: МЦНМО, 2003. 336 с.
3. Aberth O. Iteration methods for finding all zeros of a polynomial simultaneously / O. Aberth // Mathematics of computation. 1973. P. 339-344.
4. Kerner, Immo O. (1966). Ein Gesamtschrittverfahren zur Berechnung der Nullstellen von Polynomen. Numerische Mathematik 8: 290-294.

5. Математическое моделирование структур и процессов взаимодействия электромагнитного излучения с Core-Shell нанообъектами / С.П. Романчук, Д.В. Терин, А.М. Кац, Ю.В. Клинаев // Вестник СГТУ. 2011. № 4 (60). Вып. 2. С. 98-102.

Романчук Сергей Петрович – аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Sergey P. Romanchuk – Postgraduate
Department of Technical Physics and Information Technologies,
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Терин Денис Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Denis V. Terin – Ph. D., Associate Professor
Department of Technical Physics and Information Technologies,
Engels Institute of Technology (Branch),
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Шатурная Оксана Сергеевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информатика» Саратовского государственного социально-экономического университета

Oksana S. Shaturnaya – Ph. D., Associate Professor
Department of Applied Mathematics and Computer Science,
Saratov State Socio-Economic University

Статья поступила в редакцию 19.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 681.5(075.8)

И.Н. Фомин, Т.Э. Шульга

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ И РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЫТОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Впервые даются определения организационной и расчётной моделей измерения электроэнергии, определяются принципы и способы их организации в автоматизированных системах для расчёта цены и стоимости реализованной энергии на розничном рынке электроэнергии.

Организационная модель измерений электроэнергии, расчётная модель измерений электроэнергии, учётные показатели, расчётные показатели, точка учёта, точка измерения

I.N. Fomin, T.E. Shulga

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION ORGANIZATIONAL MODELS AND CALCULATION MODELS FOR POWER MEASUREMENT IN INFORMATION SYSTEMS OF RETAILING ENERGY COMPANIES

The article first gives the definition of the organizational and calculation models for energy measurement, defines the principles and methods of organization in the automated systems to estimate the prices for energy sales on the retail power market.

Organizational measurement model, the calculated power measurement model, use data, estimats data, the point of accounting, the measurement point

В начале XXI века во множестве стран мира произошла либерализация рынков электроэнергетики, что привело к новому витку научных исследований в области обработки и хранения данных об энергопотреблении. Совершенствуя методы обработки информации в этой области, Реймонд Кимбол определил практические приёмы построения хранилищ данных, используемых для хранения данных об объёмах энергопотребления [1], Владимир Воротницкий определил структуру коммерческих потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению, среди которых одним из важнейших стал учёт электроэнергии современными средствами информатизации [2], Александр Вендеров предложил методы и средства моделирования бизнес-процессов, которые можно использовать, в частности, для выявления закономерностей проведения различных расчётов в электроэнергетике [3].

Также в минувшее десятилетие Лев Осика впервые определил принципы коммерческого и технического учёта электрической энергии на оптовом и розничном рынках в условиях реформы электроэнергетики в России и технологию организации деятельности операторов коммерческого учёта на рынках электроэнергии [4], Людмила Богачкова [5] и Сергей Чернов [6] впервые взглянули на энергосбытовую деятельность в условиях реформирования и определили проблемы и перспективы, которые в числе прочего, содержали задачи совершенно нового подхода к автоматизации электроэнергетики.

Среди учёных, работающих в этом направлении, можно выделить также Юрия Александрова, определившего единую концепцию производственного и финансового планирования в энергосистеме России, Павла Горюнова, определившего методы планирования в условиях реформы электроэнергетики, Владимира Иващенко, который структурировал процессы электропотребления промышленных предприятий и произвёл формализацию управления этими процессами [7], Александра Резчикова, который предложил модели и методы поиска данных и документов в автоматизированных системах, обрабатывающих информацию об энергопотреблении [8].

Однако большинство из указанных выше работ посвящены проблемам совершенствования систем управления процессами производства и потребления электроэнергии и не затрагивают вопросы моделирования и автоматизации бизнес-процессов, происходящих на розничном рынке электроэнергии. Если для производственных предприятий в литературе описан целый ряд моделей управления сложными процессами потребления электроэнергии [7, 8], то для поставщиков электроэнергии на розничном рынке такие модели в настоящее время отсутствуют, несмотря на то, что энергосбытовые компании непосредственно участвуют в процессе ценообразования в электроэнергетике и напрямую влияют на энергоэффективность отрасли и экономики России в целом.

Методика поэтапного автоматизированного расчёта стоимости электроэнергии на розничном рынке описана в [9]. Однако не менее важным шагом на пути к решению задач управления процессами потребления электроэнергии в этом сегменте рынка является разработка моделей, на основании которых множество договорных, административных и технических условий электроснабжения могли бы найти адекватное отражение в автоматизированных информационных системах. Иными словами, проектирование структуры базы данных информационных систем энергосбытовых организаций требует разработки моделей измерений электроэнергии и определения их взаимосвязи. В работе предлагается формализация основных понятий электроэнергетики на розничном рынке, вводятся понятия организационной и расчетной моделей измерения электроэнергии и определяются принципы их построения.

В энергосбытовых предприятиях при моделировании технической структуры кроме определения модели технического взаимодействия подразделений определяется иерархия измерений электроэнергии.

Утверждение 1. Измерения – первичная функция программно-аппаратного комплекса предназначенного для биллинга электроэнергии и ключевая концепция многомерных баз данных. Многомерное моделирование предусматривает использование измерений для предоставления максимально возможного контекста для измеряемых фактов [1].

Измерения используются не только для определения каких-либо показателей (например, показаний счётчика электроэнергии), но и для выбора и агрегирования данных на требуемом уровне детализации. Измерения организуются в иерархию, состоящую из нескольких уровней, каждый из которых представляет уровень детализации, требуемый для соответствующего анализа или расчёта.

Определение 1. Иерархия моделей измерений – это совокупность данных, измеренных или рассчитанных в различных точках измерения и в точках учёта электроэнергии, взаимосвязанных определенным образом и объединенные в группы по заданным признакам. Иерархия моделей измерений применяется для измерений объёмов закупаемой электроэнергии в разных точках поставки и объёмов реализуемой электроэнергии в разных точках подключения в различных аналитических разрезах.

Иерархия моделей измерения строится на линиях перетока, на которых определяется переток электроэнергии из оптового рынка электроэнергии в розничный, от точек поставки, до точек подключения потребителей, от точек измерения до точек коммерческого или технического учёта (рис. 1).

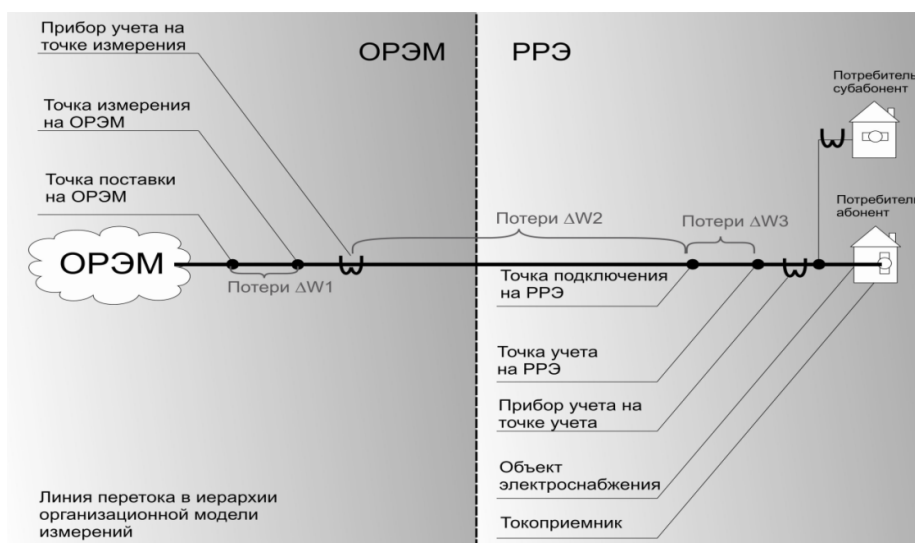


Рис. 1. Схема линии перетока электроэнергии

Данные об энергопотреблении, на основании которых осуществляется биллинг, формально могут быть представлены в виде набора векторов вида

$$\forall j \in [1, 12] X^j = (x_1^j, x_2^j, \dots, x_i^j, \dots, x_m^j), \quad (1)$$

где j – номер расчётного периода (месяца) в текущем году, X^j – множество сущностей, с помощью которых формируются данные об энергопотреблении в j -й расчётный период.

Эти векторы являются основной базой для определения структуры хранения данных и производства расчётов.

Каждый набор сущностей, на которых формируются данные об энергопотреблении X^j можно описать системой взаимосвязанных фреймов (или объектов в объектно-ориентированном программировании, таблиц в реляционной СУБД): $\langle F_1, F_2, \dots, F_k \rangle$, каждый из которых содержит в себе набор слотов (полей)

$$(s_1^1, s_2^1, \dots, s_i^1, \dots, s_z^1), \quad (2)$$

где s_i^1 – i -й слот фрейма F_1 .

Слоты фреймов F_i различаются по своему функциональному назначению. Для хранения и обработки информации об энергопотреблении, с целью биллинга, можно определить различные слоты теории фреймов [10]:

- слоты-идентификаторы (имя объекта) – специальные слоты, по которым идентифицируется фрейм (имеется у каждого фрейма); (должно быть выравнивание по ширине);
- слоты-значения (поля объекта) – содержат заданные (константные) значения (например, учётные или расчётные показатели); эти слоты могут так же играть роль формальных параметров подпрограмм, прикрепленных к фрейму;
- слоты-подпрограммы (методы объекта) – реализуют расчетные алгоритмы, используя в качестве входных значений слоты-значения своего фрейма или фрейма, связанного с ним;
- слоты-ссылки (в совокупности определяют структуру фреймовой сети (подобно связям в таблицах БД или наследования в ООП)) – хранят ссылки на другие фреймы информационной структуры.

Наполняемость фреймов слотами различна (различно количество слотов и их функциональное назначение) и устанавливается на этапе проектирования информационной структуры.

Такое представление связей в предметной области позволяет чётко определять объекты, которые должны существовать в объектно-ориентированной платформе автоматизированной системы.

Слоты-подпрограммы организуются таким образом, что они могут вызываться как по запросу (обращение к определенным функциям программы), так и при осуществлении доступа к фрейму или его обновлении (изменении наполняемости слотов-значений).

При описании прикладных структур хранения информации об энергопотреблении, а так же для повышения уровня структуризации знаний о различных прикладных объектах электроснабжения, фреймы объединяются в сеть (ациклический граф «ослабленной иерархии»), в которой фреймы, расположенные ниже в сети, могут наследовать значения слотов разных фреймов, расположенных выше [10]. Это хорошо согласуется с концепцией объектно-ориентированного программирования (свойство «наследование», «полиморфизм»). Такая структура может допускать перекрытие значений слотов фреймов, переопределения (расширения) слот-подпрограмм, допускает установку наибольшего приоритета данным, поступившим от внешних источников (перекрываются унаследованные данные), и множественное наследование данных, которое требует разрешения неопределённости.

Для реализации информационной структуры данных рекомендуется запретить множественное наследование и организовать отдельные фреймы, которые на основе исходных, результирующих данных (расчётных или учётных показателей), осуществляет свои учётные или расчётные функции.

Таким образом, сеть фреймов может быть представлена в виде, показанном на рис. 2. Во фреймы F_k и F_i с данными для биллинга поступает набор данных формирующихся в других фреймах (в электронных документах, в справочниках или хранилищах информационной системы, в расчётах и обработках информации). Каждый фрейм осуществляет свою учётную или расчётную функцию и формируется на основе сущностей, которые имеют конкретные значения в энергосбытовой деятельности – учётные и расчётные показатели.

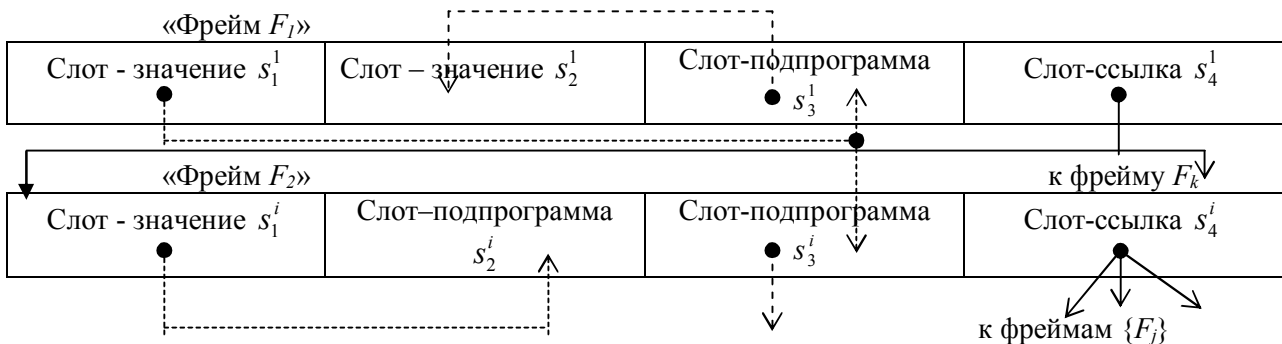


Рис. 2. Обобщенная структура фреймов

Учётные и расчётные функциональные характеристики автоматизированных систем для расчёта цены и стоимости электроэнергии описаны в работе [11].

Имея набор измеренных, рассчитанных и связанных между собой учётных и расчётных показателей, биллинговая информационная система формирует расчётную модель, согласно которой производятся измерения электроэнергии.

Утверждение 2. В электроэнергетике расчетная модель - это описание электроэнергетической системы, предназначенное для построения математической модели процесса производства, передачи и потребления электрической энергии, с помощью которой рассчитываются технически реализуемые в этой электроэнергетической системе объемы потребления электрической энергии и соответствующие им цены. Расчетная модель в качестве необходимой составляющей включает расчетную схему данной электроэнергетической системы и различные системные ограничения [12].

Модели измерений в информационных системах энергосбытовых организаций описаны в работе [13]. Данные о потребляемых объемах и ценах на электроэнергию хранятся в информационной системе согласно организационной и расчётной модели измерений.

Определение 2. Организационная модель измерения электроэнергии (ОМИ) – это модель, описывающая (или отражающая в информационной системе) элементы электрической сети (как реальные, так и абстрактные), и структуру данных об объемах перетока и потребления электроэнергии. Организационная модель измерения отражает технические условия электроснабжения и определяет структуру базы данных, в которых хранятся сведения об объемах потреблённой энергии. Задачей организационной модели измерений является формирование корректных учётных показателей.

Определение 3. Расчётная модель измерения электроэнергии (РМИ) – это модель, описывающая (или отражающая в информационной системе) правила и методы обработки информации о ценах и стоимости закупаемой и реализуемой электроэнергии. Расчётная модель измерения отражает экономические условия электроснабжения и определяет структуру базы данных, в которой хранятся данные необходимые для расчёта цен и стоимости потреблённой энергии. Задачей расчётной модели измерений является формирование корректных расчётных показателей.

Важной задачей построения модели различных технических структур является её визуализация. Как правило, визуализация модели технической структуры делается в рамках различных методик, отличающихся, прежде всего своим подходом к тому, что представляет собой моделируемая отраслевая задача.

Утверждение 3. В зависимости от целей и задач построения иерархии моделей измерения, для визуализации моделей можно использовать четыре способа визуализации: в виде древовидной структуры, проекцией линий перетока электроэнергии на организационно-технические условия электроснабжения, построением ориентированных графов, построением матриц.

Рассмотрим каждый из этих способов.

В существующих информационных системах, применяемых в отрасли, часто используют древовидную структуру, в которой зарегистрированы все реальные и абстрактные элементы электрической сети. Организационная модель при этом выстраивается для каждого n -го объекта электроснабжения обвязкой n -ых элементов, участвующих в электроснабжении. Количество и иерархия элементов определяется электрической схемой, а также целями и задачами формирования модели измерения (рис. 3).

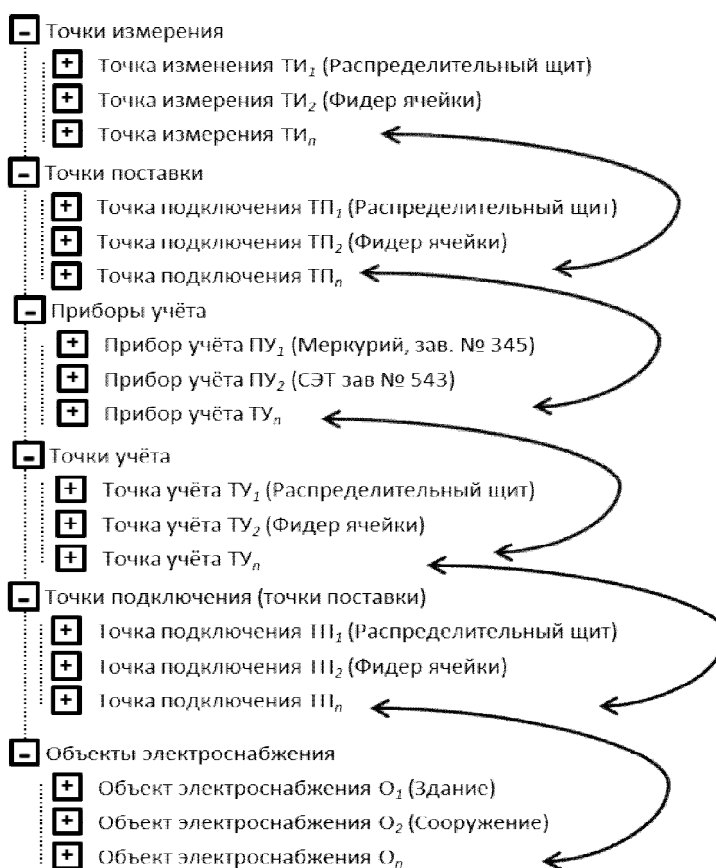


Рис. 3. Древовидная структура организационной модели измерения электроэнергии

Поскольку объектные методики рассматривают моделируемую предметную область как набор взаимодействующих объектов – производственных единиц, то для визуализации иерархии моделей измерения можно применять использование объектной методики и принять в качестве таких единиц элементы электрических сетей, в которых формируются учётные и расчётные показатели. Таким образом, объект определяется как осязаемая реальность – предмет или деятельность, оперирующая вышеперечисленными фреймами. При этом задачей визуализации иерархии моделей измерений является проецирование цепей питания различных категорий потребителей на виды деятельности энергосбытового предприятия, а также на способы отражения этой деятельности в управленческом и финансовом учёте. Объектный подход позволил построить более обобщённую и устойчивую к изменениям модель, соответствующую существующим структурам организации электроснабжения потребителей (рис. 4).

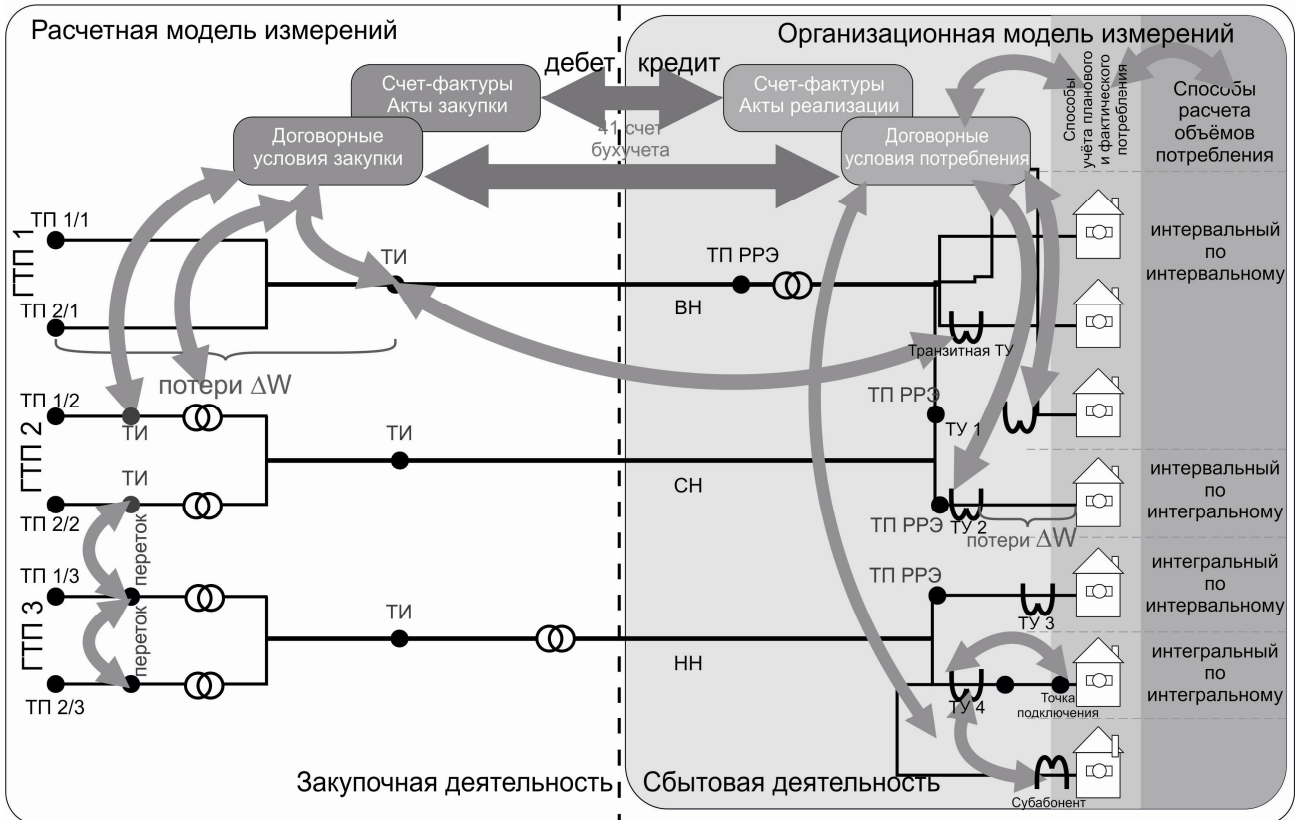


Рис. 4. ОМИ и РМИ в виде проекцией линий перетока электроэнергии на организационно-технические условия электроснабжения

Графическое отображение совокупности данных в иерархии измерений и проекция элементов технической структуры на виды деятельности энергосбытового предприятия позволяет наглядно представить организационную и расчётную модели измерений электроэнергии и дать им определения.

Типовой вид соответствия организационной и расчётной моделей измерений (рис. 3) показывает, как разделены потребители по способам определения объёмов потребления, по способам учёта электроэнергии, по способам электроснабжения и как связаны между собой показатели информационного, технического и экономического характера. Результатом этого способа визуализации стало нахождение принципов зеркального отображения моделей разделённых осью, разделяющей виды деятельности, модели измерений и статьи бухгалтерского учёта.

Дуги на рис. 2 и рис. 3 показывают, как могут быть связаны друг с другом различные объекты реального мира и информационной системы и наталкивают на мысль визуализации моделей измерения в виде графов.

Используя теорию графов как раздел дискретной математики или теории множеств, организационную модель измерений можно задать как конечное множество X , состоящее из n элементов ($X = \{1, 2, \dots, n\}$), которые и формируют вершины ориентированного графа, и множество дуг подмножества ($V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$), при этом $V \subseteq X$ [14].

При разработке биллинговых информационных систем визуализация ОМИ и РМИ с помощью графов даёт возможность наглядно представить разработчику прикладную задачу и корректно проектировать структуры реляционных баз данных предметной области (рис. 5). С точки зрения программной реализации, иногда удобнее задавать этот граф в виде матрицы (двумерного массива).

Стоимость потреблённой электроэнергии вычисляется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^N W_i * C_i, \quad (3)$$

где W – объём электроэнергии, подлежащей оплате в каждой i -й точке поставки в количестве N точек поставки электроэнергии; C – цена электроэнергии, в каждой i -й точке поставки, поставленной в N точек поставки; N – количество разнообразных точек поставки электроэнергии.

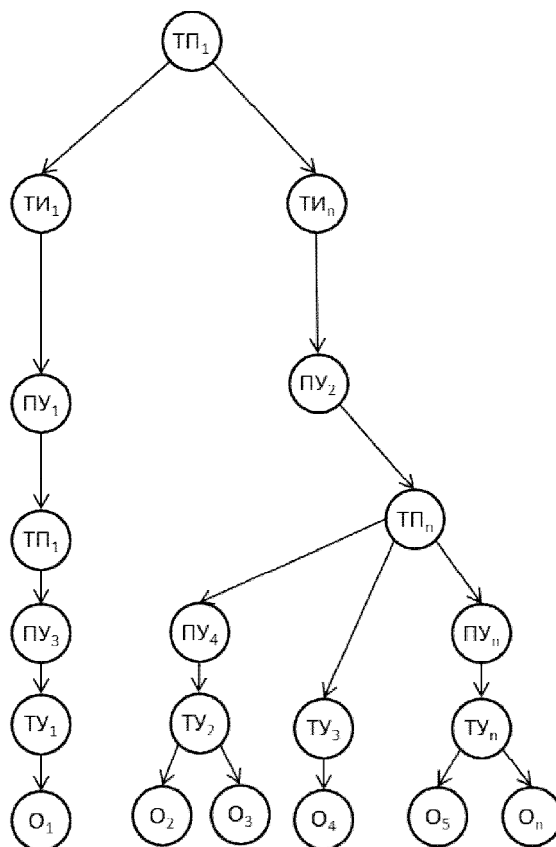


Рис. 5. ОМИ в виде графа

Утверждение 3. Стоимость электроэнергии, поставляемой в различные точки поставки на розничном рынке электроэнергии, – это прямое или декартово произведение двух множеств, элементами которого являются всевозможные упорядоченные пары элементов исходных множеств учётных и расчётных показателей, характеризующих объёмы и цены потребляемой электроэнергии в различных расчётных периодах.

Это обстоятельство делает необходимой разработку математического описания производственных ситуаций в классе графовых и логико-лингвистических моделей, допускающих работу в зависимости от качественного типа. Указанные модели наглядны и удобны для лиц принимающих решения, имеют выразительную способность, близкую к естественному языку, и широко используются при создании банков знаний, а также интеллектуальных систем управления сложными производственными процессами [8].

Таким образом, матрица и графы, как модели прямого произведения массивов также подходит для визуализации ОМИ и РМИ. Для этого существуют несколько способов его интерпретации, среди которых матрицы смежности и матрицы инцидентности. Причем размеры этих массивов, зависят от количества вершин и/или ребер в конкретном графе, а произведение двух объектов будет наследовать структуры, имевшиеся на множествах-носителях исходных объектов.

Договорные и технические условия электроснабжения определяют структуру баз данных, описывающие иерархичные модели измерений электроэнергии и методы определения объёмов потребляемой электроэнергии и цен на каждый час (получас). Информационные элементы рассмотренной модели хранятся в базе данных реляционного типа в виде совокупности отношений различной структуры. Поиск этих элементов осуществляется по запросу СУБД, сформированному на языке SQL и выдаваемому при обработке каждой производственной ситуации. Для формирования указанного запроса необходимо определить структуру области базы данных, хранящей информационные элементы рассматриваемой модели [8].

Основными принципами построения организационной модели является учёт взаимосвязей и иерархий реальных и абстрактных сущностей:

- в электрических цепях электроснабжения;
- в технических условиях электроснабжения;
- в способах измерения электроэнергии;
- в методах расчёта объёмов планового и фактического потребления электроэнергии.

Основным способом формирования организационной модели в информационной системе является организация связей или отношений между элементами, входящими в организационную модель.

Для этого в информационной системе нужно совершить «обвязку» этих элементов:

- связать между собой питающие центры, распределительные устройства, отходящие и входящие фидеры, согласно принципиальной электрической схеме электроснабжения;
- задать каждому потребителю – договор электроснабжения;
- задать каждому договору электроснабжения – объекты электроснабжения;
- задать каждому объекту электроснабжения – точки учёта электроэнергии;
- задать каждой точке учёта – прибор учёта;
- задать каждой точке учёта – точки подключения;
- задать каждой точке поставки - точки измерения;
- задать каждой группе точек поставки – свои точки поставки.

Формирование учётных показателей и передача данных коммерческого учёта – важная задача организации оптового рынка электроэнергии [12]. Их число определяется сложностью электрической цепи и задачами учётной политики предприятия. В общем случае, организационная модель измерений определяет способ хранения информации об энергопотреблении в базе данных информационной системы.

Основными принципами построения расчётной модели является учёт взаимосвязей и иерархий:

- в методах учёта и расчёта объёмов потребления;
- в методах учёта и расчёта потерь;
- в методах учёта тарифов и расчёта цен или предельных уровней цен;
- в методах расчёта стоимости отклонений;
- в методах расчёта стоимости закупленной и реализованной электроэнергии.

Основным способом формирования расчётной модели в информационной системе является организация связей или отношений между элементами, входящими в эту модель.

Для этого в информационной системе нужно совершить «обвязку» этих элементов:

- задать каждой точки учёта - вид начисления оплаты за потреблённую электроэнергию или ценовую категорию;
- задать каждому виду начисления - метод расчёта стоимости;
- задать каждому виду начисления – тип тарифа, по которому будет производиться биллинг электроэнергии.

Производя такую обвязку, в информационной системе регистрируются учётные показатели, определяется прямая связь их друг с другом или связь посредством заданных математических моделей, выраженных в расчётных формулах. Таким образом, в информационной системе рождается модель, учитывающая связь методов расчёта потерь в сетях и методов определения объёмов потребления на точках учёта субабонентов и транзитных точках учёта, зонность тарифов, а также множество других учётных показателей.

Расчётные показатели, связанные в определённую иерархию, можно использовать для получения различных дополнительных данных для целей управления, аналитики или прогнозирования.

Структура ОМИ зависит напрямую от технических условий электроснабжения и лишь иногда может изменяться, исходя из нетехнических - административных и договорных условий. РМИ жёстко связана с организационной моделью и всегда изменяется при изменении организационной модели, административных, договорных или технических условий электроснабжения.

В реальной информационной системе присвоение одной группе справочников информационной системы соответствия других справочников и присвоение им учётных показателей является важной задачей формирования расчётной модели измерений, в которой задаются основные фреймы и их слоты объектно-ориентированного программирования.

Известно, что опыт специалиста по выбору рациональной стратегии поведения в сложных производственных ситуациях выражается не столько количественными соотношениями, сколько качественными формулировками и зачастую может быть использован в системе управления только в том виде, в котором он был зафиксирован на практике [15].

Формированием организационной модели измерений должен заниматься профессиональный техник-электрик или инженер-электрик, знающий особенности договорных и экономических условий закупки и реализации электроэнергии потребителям. Формированием расчётной модели измерений должны заниматься экономисты, знающие особенности электроснабжения и точки подключения потребителей на схеме. Совместная работа профессионалов различных направлений позволяет сформировать предельно чёткую иерархическую структуру.

Таким образом, в настоящей статье были даны определения различным терминам и понятиям, находящимся на стыке электроэнергетики, экономики и информатики и показана их роль в формировании моделей измерений электроэнергии. Проведённое исследование позволило сформулировать основные принципы построения моделей измерений, которые могут быть использованы при проектировании биллинговых информационных систем и в дальнейшем при реализации процедур автоматизированного расчёта стоимости электроэнергии на розничном рынке.

Полученные результаты на дальнейших этапах исследования будут использоваться для разработки унифицированных методов интервального и интегрального расчёта стоимости потреблённой электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kimball R. The Data Warehouse Toolkit: Practical Techniques for Building Dimensional Data Warehouses (Практические приёмы построения хранилищ данных). John Wiley & Sons, New York, 1996.
2. Воротницкий В.Э. Структура коммерческих потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению. Метрология электрических измерений в электроэнергетике / В.Э. Воротницкий, Ю.А. Арентов, М.А. Калинкина // Доклады научно-технических семинаров и конференций 1998-2001 / под общ. ред. д.т.н., проф. Я.Т. Загорского. М., 2001. С. 47-54.
3. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А.М. Вендров // СУБД. 1995. № 3.
4. Осика Л.К. Коммерческий и технический учёт электрической энергии на оптовом и розничном рынках. Теория и практические рекомендации / Л.К. Осика. М: Н-ЭНАС, 2004.
5. Богачкова Л.Ю. Проблемы и пути развития распределительных сетевых компаний на либерализуемых региональных рынках электроэнергии / Л.Ю. Богачкова, Е.А. Москвичев, А.О. Зазулина, А.С. Карева // Региональная экономика: теория и практика. 2011. № 35. С. 66-72.
6. Чернов С.С. Энергосбытовая деятельность в условиях реформирования: проблемы и перспективы / С.С. Чернов // Проблемы современной экономики. 2011. № 4 (40).
7. Иващенко В.А. Теоретические основы автоматизированного управления энергопотреблением промышленных предприятий: дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Иващенко. Саратов, 2006. 254 с.
8. Модели и методы поиска данных и документов в системах управления сложными человеко-машинными комплексами / А.Ф. Резников, В.А. Кушников, В.А. Родичев, Е.И. Шлычков, А.В. Антонов // Вестник СГТУ. 2005. Т. 2. № 1 (7). С. 83-92.
9. Фомин И.Н. Методика поэтапного автоматизированного расчёта стоимости потреблённой электроэнергии / И.Н. Фомин // Труды Академэнерго. 2013. № 3. С. 103-115.
10. Минский М. Фреймы для представления знаний / М. Минский. М.: Мир, 1979.
11. Фомин И.Н. Учётные и расчётные функциональные характеристики автоматизированной системы для расчёта цены и стоимости электроэнергии / И.Н. Фомин // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах. Саратов: ИЦ «Наука». 2013. С. 135-138.
12. Горбатенко О.В. Формирование учётных показателей и передача данных коммерческого учёта / О.В. Горбатенко, О.К. Трушина // АНО «Учебный центр НП «Совет рынка», 2011. 84 с.
13. Фомин И.Н., Модели измерений в информационных системах энергосбытовых организаций / И.Н. Фомин // Высокие технологии, исследования, финансы. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2013. С. 213-217.
14. Бурков В.Н., Теория графов в управлении организационными системами / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков. М.: Синтег, 2001. 124 с.
15. Пospelов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Пospelов. М.: Энергоиздат, 1981. 220 с.

Фомин Игорь Николаевич – аспирант кафедры «Прикладная информатика и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor N. Fomin – Postgraduate Department of Applied Informatics and Software Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Шульга Татьяна Эриковна – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная информатика

Tatyana E. Shulga – Dr. Sc., Associate Professor Head: Department of Applied Informatics

и программная инженерия»Саратовского
государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.

and Software Engineering,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 14.11.13, принята к опубликованию

УДК 681.324:371.694

Д.А. Фролов

АРХИТЕКТУРА И СЦЕНАРИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматривается построение компьютерного тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий. Проводится обоснование выбора представлений многоуровневой клиент-серверной архитектуры тренажера. Разработаны сценарии работы компьютерного тренажера для всех групп пользователей.

Компьютерный обучающий тренажер, персонал промышленных предприятий, многоуровневая архитектура, сценарии работы тренажера.

D.A. Frolov

SOFTWARE IMPLEMENTATION AND SCENARIOS OF A LEARNING MANAGEMENT SYSTEM FOR THE PERSONNEL TRAINING AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

The construction of a computer simulator for the staff training at industrial enterprises is considered. The choice of representations for the multi-tier architecture simulator is conducted. Operation scenarios of computer simulators are developed for all user groups.

Computer simulator training, the staff at industrial enterprises, multi-tier architecture, the simulator scenarios

Подготовка квалифицированных профессиональных кадров для высокотехнологичных промышленных предприятий проводится в учебно-тренировочных центрах повышения квалификации и переподготовки персонала. Причем, обучение предполагает как изучение теоретического материала, включая документы по требованиям охраны труда, инструкции, стандарты и руководящие нормативные документы по организации производства работ. Изучение учебных и нормативных материалов обязательно должно сопровождаться изучением оборудования и производства работ на этом оборудовании. Учитывая, что номенклатура оборудования, используемого на промышленных предприятиях, представлена большим количеством видов и типов, а также, как правило, имеет значительные габариты, поэтому использование натуральных тренажеров достаточно затруднено. Поэтому в настоящее время в учебно-тренировочных центрах стали большое внимание уделять использованию компьютерных обучающих тренажеров [1].

Компьютерный обучающий тренажер для подготовки персонала промышленного предприятия представляет собой обучающую систему, в которой выделены следующие основные подсистемы: управления, обучающая, контролирующая [2]. Эти подсистемы предоставляют учебно-методический материал, возможность отработки практических навыков производства работ на изучаемом оборудовании, а также управленческую информацию. То есть обеспечивается всесторонняя поддержка управленческих функций преподавателя-инструктора, поддержка функций самоуправления учебной деятельности обучаемых. Причем, следует учитывать, что особенность представления учебно-методических материалов связана с выбором технологии и платформы для реализации обучающей среды [3]. При этом комфортность работы обучаемых и преподавателя-инструктора с такими компьютерными обучающими тренажерами во многом определяется уровнем их программной реализации. В настоящее время существует несколько направлений программной реализации обучающих

систем: использование инструментальных систем общего назначения, использование учебных пакетов, применение метода «прямого» программирования [4]. При разработке компьютерного обучающего тренажера выбран метод «прямого» программирования, поэтому особое внимание следует уделять разработке архитектуры тренажера. В связи с этим проведем анализ представлений клиент-серверной архитектуры, что позволит произвести выбор архитектуры разрабатываемого компьютерного обучающего тренажера.

Понятие архитектуры системы в специализированной литературе трактуется по-разному, причем часто синонимом данного понятия выступает «структура системы», что предполагает деление любой прикладной программы на три основных компонента:

- компонент представления данных;
- компонент прикладной логики;
- компонент управления базой данных.

Функция обработки данных, как правило, выносится на несколько серверов, что указывает на многоуровневую клиент-серверную архитектуру. В таких системах функции сбора, хранения, обработки и представления информации разделяются для более эффективного использования вычислительных ресурсов серверов и клиентов. Самыми распространенными представлениями многоуровневой архитектуры являются двухуровневая и трехуровневая архитектура. В любом современном сетевом приложении между пользователем и сервером осуществляется взаимодействие как минимум на основе двухуровневой архитектуры. В таком случае под клиент-серверным приложением чаще всего понимается информационная система, базирующаяся на использовании серверов баз данных, но существуют и другие варианты использования:

- *файловый сервер предназначен для выполнения операций ввода/вывода и долговременного хранения файлов;*
- *сервер приложений (рис. 1) предназначен для размещения функциональных блоков на стороне сервера, доступ к которым происходит при помощи интерфейса прикладного программирования (API);*
- *сервер терминалов.*
-

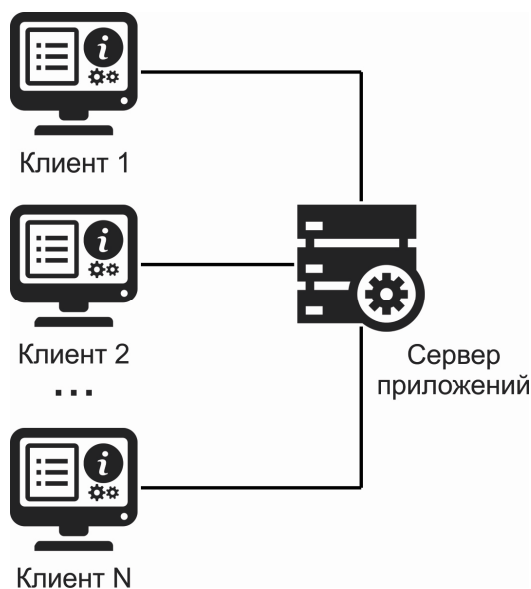


Рис.1. Представление двухуровневой клиент-серверной архитектуры

В случае размещения компонентов визуализации данных и прикладной логики на стороне клиента взаимодействие с сервером СУБД осуществляется при помощи структурированных запросов SQL, то есть по типу архитектуры с «толстым клиентом». Однако, масштабируемость системы, обусловленная увеличением количества клиентов, может доставить некоторые неудобства из-за использования пользовательских компьютеров с различными характеристиками и операционными системами. Частично такую проблему позволяет решить кроссплатформенное программное обеспечение Java. При реализации двухуровневой архитектуры с «тонким клиентом» на клиентской стороне раз-

мещается только графический интерфейс пользователя (GUI), а вся бизнес-логика с базой данных размещается на сервере. Функции GUI может выполнять обычный браузер, что существенно упрощает масштабирование системы.

Трехуровневая архитектура предполагает использование клиентского приложения, подключенного к серверу приложений, который в свою очередь подключен к СУБД (рис. 2). На первом уровне размещается GUI-компонент, который не реализует основную бизнес-логику системы, а также не имеет прямой связи с базой данных. Данный компонент выполняет простейшие функции авторизации пользователя, шифрования, проверки правильности ввода данных и так далее. На втором уровне располагается сервер приложений, который отвечает за бизнес-логику системы и осуществляет взаимодействие с клиентом и СУБД. На третьем уровне функционирует сервер базы данных.

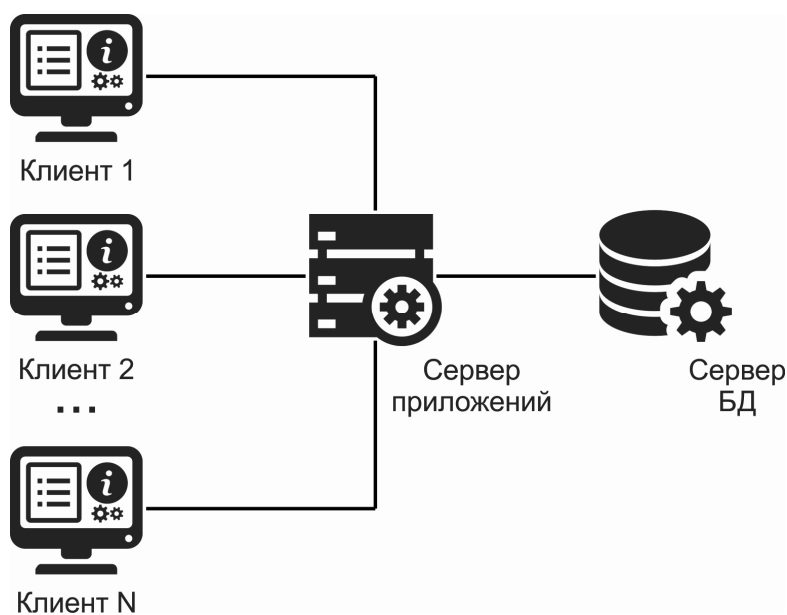


Рис. 2. Представление трехуровневой клиент-серверной архитектуры

Серверы приложений и баз данных могут быть размещены и на одном компьютере, но в таком случае нарушаются принципы безопасности и надежности обработки данных. Наиболее оптимальной конфигурацией является реализация сервера баз данных на отдельном компьютере, к которому подключается сервер приложений. При большом количестве пользователей нужен незагруженный другими сетевыми файловыми задачами сервер баз данных. Это позволит максимально быстро и без потерь обрабатывать большой объем данных.

Таким образом, на основании проведенного анализа с точки зрения безопасности, надежности и масштабируемости в качестве основного типа архитектуры компьютерного тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий используем трехуровневое представление клиент-серверной архитектуры. В качестве программного инструментария для разработки тренажера оптимальным решением будет использование возможностей платформы Java и баз данных Oracle Database. Это решение обусловлено невозможностью использования стандартных средств описания HTML и CSS, воспроизводимых браузерами, ввиду обширного использования трехмерной графики для визуализации технологических процессов промышленного предприятия.

На рис. 3 детально представлена архитектура тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий. В соответствии с моделью трехуровневой клиент-серверной архитектурой функционал обучающего тренажера вынесен на три различных уровня:

- *уровень клиента;*
- *уровень сервера приложений;*
- *уровень сервера данных.*

Каждая подсистема тренажера разработана в соответствии с главными функциональными требованиями, что обеспечивает динамичность и адаптивность учебных материалов для индивидуальных пользователей. Права доступа определяют набор действий, разрешенных для выполнения

пользователям системы над объектами данных. В качестве основного принципа контроля доступа в тренажере используется избирательное управление доступом.

Основных пользователей системы разделяем на три группы: администраторы, инструкторы и обучаемые. Так как каждый из них выполняет свою функциональную задачу, то интерфейс пользователя для группы является уникальным. Интерфейсы располагаем на уровне клиента, то есть программные модули GUI размещаем на локальных компьютерах пользователей. На уровне сервера приложений реализуем основную бизнес-логику тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий, а на уровне сервера данных располагаем основное файловое хранилище и СУБД.

Доступ к подсистеме управления инструкторами осуществляется только администраторами тренажера. Данная подсистема позволяет выполнять весь цикл CRUD-операций (Create Read Update Delete – Создание Чтение Обновление Удаление) с профилями инструкторов, размещенными в базе пользователей тренажера. Также в этой базе хранятся профили всех обучаемых, которых в тренажер добавляют уже инструкторы через подсистему управления обучаемыми. Помимо администрирования и мониторинга обучаемых в задачи инструктора входит создание и поддержка учебных курсов тренажера.

Подсистема управления учебным курсом позволяет настраивать хранимые на сервере данных справочную подсистему и подсистему учебных материалов. Справочная подсистема содержит основные методические рекомендации по работе с тренажером и учебным курсом и размещается в базе данных. Подсистема учебных материалов состоит из нескольких частей. Нормативно-техническая документация, фотографии оборудования, видеоролики, визуализированные модели и прочие документы хранятся в файловом хранилище, а описание и настройки обучающих и контролирующих подсистем – в базе данных. Все данные из подсистемы учебных материалов используются в дальнейшем процессе обучения, реализуемом уже на стороне сервера приложений.

Работа обучаемого в тренажере начинается с прохождения входного контроля. В ходе первичной проверки оцениваются не только теоретические знания, но и практические навыки выполнения виртуальных работ. По итогам полученных данных подсистема управления обучением составляет порядок изучения материалов обучаемым, тем самым создавая для него индивидуальную образовательную траекторию. После прохождения процесса обучения пользователь направляется в контролируемую подсистему, где осуществляется итоговая проверка знаний, умений и навыков. При получении неудовлетворительных результатов индивидуальный план обучения перестраивается с учетом ошибок, и цикл обучения повторяется вновь. Все действия инструкторов и обучаемых записываются в журнал транзакций, доступ к которому есть только у администраторов тренажера. Протоколирование всех действий пользователей тренажера позволит администраторам после возникновения неполадок понять их причины.

Сценарии работы компьютерного тренажера продемонстрированы на диаграмме прецедентов (рис. 4). Работа в компьютерном тренажере начинается с авторизации пользователя, а затем в зависимости от его группы подключается требуемый GUI. На данной диаграмме более подробно рассмотрен процесс управления обучаемыми. Помимо регистрации обучаемых инструктор должен объединить их в группы, а затем указать доступные учебные курсы для этих групп. Также инструктор на протяжении всего процесса обучения имеет доступ к подробной статистике и результатам обучения каждого пользователя, закрепленного за ним. Обучаемый в свою очередь может не пройти курс обучения за один сеанс работы с тренажером, поэтому каждое действие обучаемого фиксируется и сохраняется в базу данных, что позволит ему продолжить обучение с последней сохраненной контрольной точки.

Программная реализация компьютерного обучающего тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий на основе представления трехуровневой клиент-серверной архитектуры позволяет реализовывать сценарии работы администратора, инструктора по обучению и обучаемых. При этом обеспечивается управление со стороны администратора, включая настройку и поддержку функционирования компьютерного тренажера, управление со стороны инструктора, включая администрирование учебных курсов и управление обучаемыми, а также самоуправление обучаемыми своей учебной деятельностью при работе на тренажере.

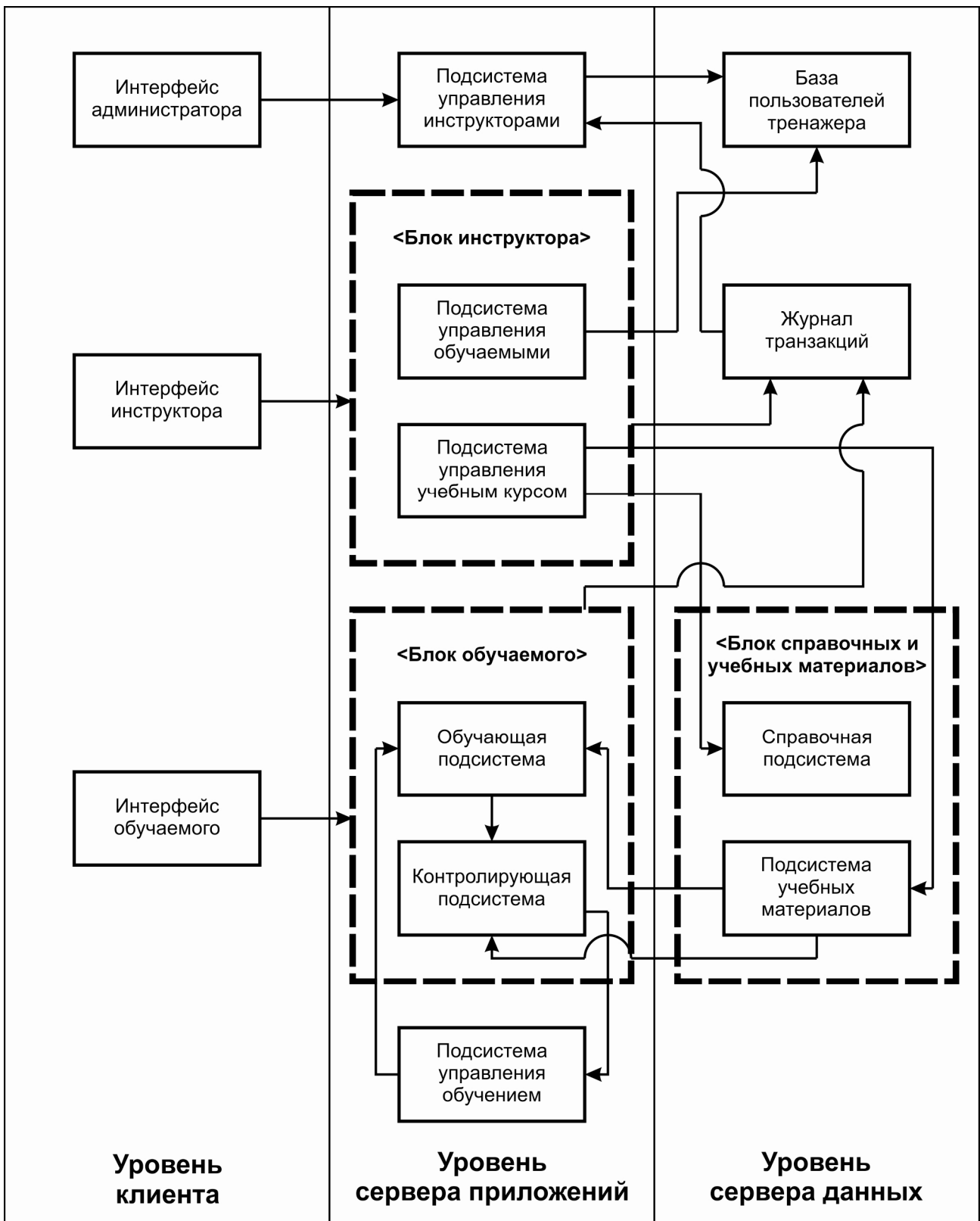


Рис. 3. Архитектура компьютерного тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий

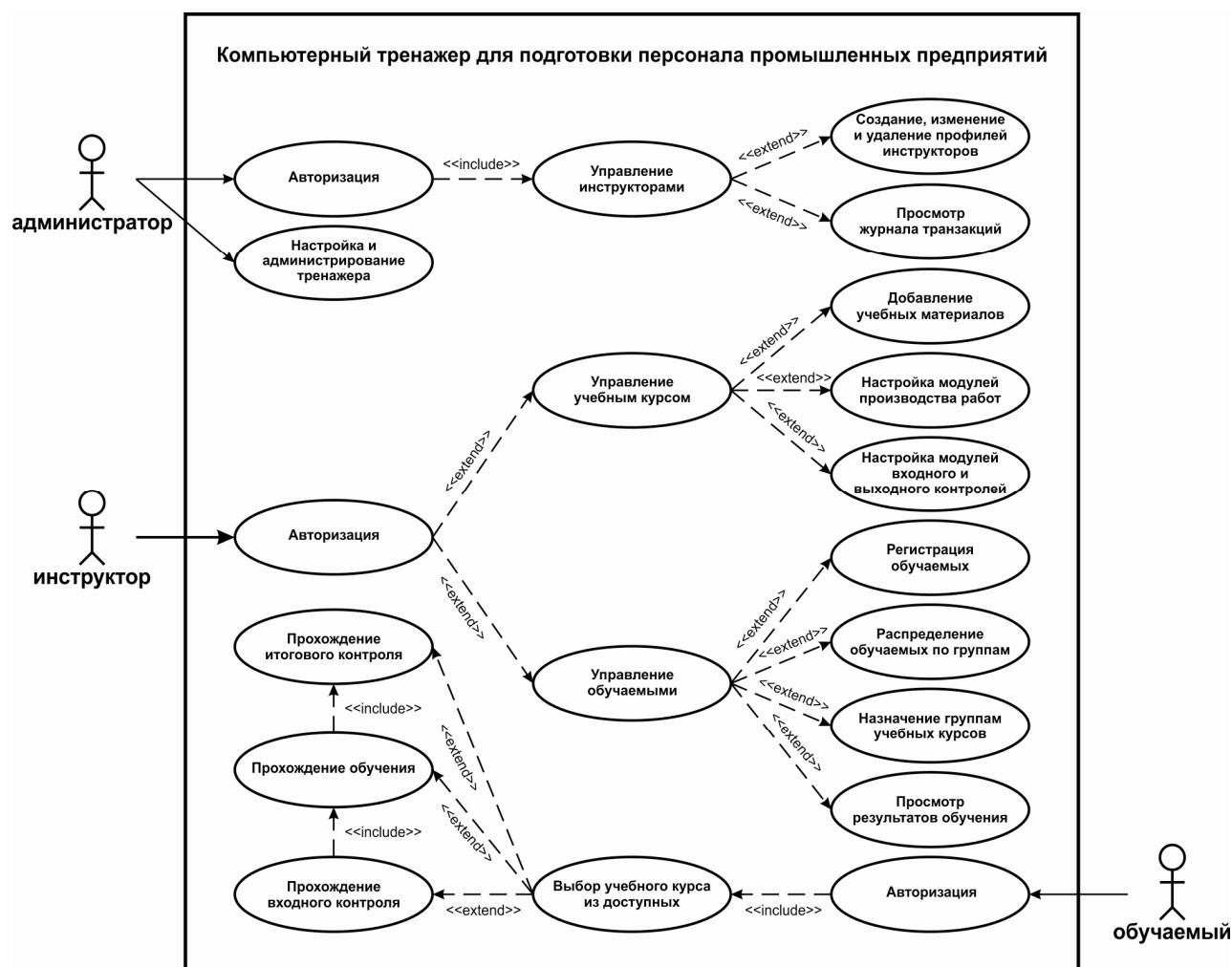


Рис. 4. Диаграмма прецедентов компьютерного тренажера для подготовки персонала промышленных предприятий

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов Д.А. Анализ видов компьютерных обучающих систем для подготовки персонала промышленного предприятия и современных технологий их построения / Д.А. Фролов // Инновационные информационные технологии. 2013. Т. 1. № 2. С. 431-434.
2. Виштак Н.М. Функционально-структурная модель интеллектуальной обучающей системы / Н.М. Виштак, Д.А. Фролов, Е.В. Варгина // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-5. С. 871-874.
3. Большаков А.А. Использование технологий распределенных вычислений для решения сложных технических задач в дистанционной образовательной среде вуза / А.А. Большаков, В.П. Глазков, И.В. Егоров, А.В. Лавров, С.В. Пчелинцева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 1. С. 99-107.
4. Виштак О.В. Направления программной реализации электронных образовательных ресурсов / О.В. Виштак // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 5. № 2. С. 36-39.

Фролов Дмитрий Александрович – аспирант Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Dmitriy A. Frolov – Postgraduate Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 10.12.13, принята к опубликованию 15.12.13

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 72.03

А.Б. Корчагина

КОНЦЕПЦИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ЛИЧНОСТИ ЗОДЧЕГО И ЕГО ПРОИЗВЕДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВЕДУЩИХ АРХИТЕКТОРОВ САРАТОВА РУБЕЖА XIX-XX ВЕКОВ

Рассматривает формирование творческой личности, которое проходит в несколько этапов: адаптация, индивидуализация и интеграция. Автор выстраивает феноменологическую модель, и подтверждает ее конкретными примерами из биографий ведущих архитекторов Саратова рубежа XIX-XX веков, а также их произведениями разных лет. В статье наглядно демонстрируются принципиальные моменты творческого процесса с учетом роли личности творца и влияния на него среды: семьи, окружающей обстановки, образования, экономических, социальных и политических условий, творчества других мастеров.

Личность архитектора, Мюфке, Салько, Каллистратов, Люкшин, Зыбин

A.B. Korchagina

THE CONCEPT OF INTERDEPENDENCE BETWEEN THE PERSONALITY OF AN ARCHITECT AND HIS WORKS ON THE EXAMPLE OF LEADING SARATOV ARCHITECTS AT THE TURN OF THE XIX-XX CENTURIES

The article considers formation of a creative personality which goes through a number of stages: adaptation, individualization and integration. The author developed the phenomenological model and confirmed it by the concrete examples taken from biographies of the leading Saratov architects who lived at the turn of XIX-XX centuries, and their works of architecture dating back to different years. The article presents the basic moments in the creative process taking into account the role of an artist impacted by the environment, i.e. his family, surroundings, educations, economic, social and political conditions, and works of other artists.

Personality of an architect, Mufke, Salko, Kallistratov, Lukshin, Zybin

Внешний облик любого города можно сравнить с неким пространственным знаком, издали ориентирующим зрителя, а наличие закрепляющих узлы зданий и ансамблей внутри него придает ему характерные отличительные черты в ряду других городских образов. Саратов, несомненно, ассоциируется с университетом, зданиями консерватории и Крытого рынка. В ряду значимых сооружений также стоят: здания Управления Рязано-Уральской железной дороги и гостиниц «Астория» и «Московская», гимназии Куфельд и церкви-часовни «Утоли моя печали». Все это творения плеяды пяти ведущих архитекторов Саратова рубежа XIX-XX веков: А. М. Салько, К. Л. Мюфке, В. А. Люкшина, С. А. Каллистратова и П. М. Зыбина.

Застройка рубежа XIX-XX веков сформировала целостный и уникальный облик культурной столицы Поволжья. Город приобрел свои индивидуальные черты на основе синтеза провинциальной русской архитектуры и ассимилированных многонациональных традиций региона.

Купеческое зодчество столицы Поволжья рубежа XIX-XX веков ярко выражает особенности жизнедеятельности исторической городской среды. Торговые здания, особняки и доходные дома составляют основу исторического центра. На формирование культурной среды влиял деловой мир города. Купцы, промышленники, крупные домовладельцы и банкиры отдавали предпочтение современному направлению архитектуры. Она отражала стилистические предпочтения и финансовые возможности общества того времени.

Новый массовый заказчик, щедро субсидировавший строительство, – промышленная и торговая буржуазия – своими взглядами, вкусами, требованиями существенно влиял на характер архитектуры, ее стилевую направленность. Зодчий переставал быть центральной, непререкаемо авторитетной

фигурой в этом процессе. И закрепить за собой право на значимые проекты могли лишь действительно творческие личности.

Итак, свобода творчества выдающихся авторов в синтезе с благоприятной социально-экономической средой купеческого Саратова на рубеже XIX-XX веков дала возможность архитекторам оставить яркий след в истории и культуре. Архитектура отражает способность архитектора к пространственному видению и сочетанию различных стилей, проявляет его организаторские способности, темперамент и интуицию. В сооружениях отражено движение мысли архитектора, подчеркивая его личное присутствие в создании произведения. На наш взгляд, интересным будет обратить внимание как на личность архитектора и его творения, так и на их взаимодействия. Отдельные здания и их ансамбли выделяют авторский почерк творца и дают представление об архитекторе и его личности.

Используя термин «личность архитектора», мы говорим лишь о профессиональном развитии личности человека. Тем не менее личность архитектора хоть и является уникальной сама по себе, все же подчинена общим психологическим закономерностям. Проблемы деятельности, самосознания и творчества человека, формирования собственного «Я», воспитание индивидуального характера и способностей, – все это рассматривает персоногенетический подход в психологии. Согласно данному подходу социокультурная среда является источником, питающим развитие личности. Реальной базой и движущей силой совершенствования личности является приобщение ее к культуре и творчеству [1].

Формирование творческой личности проходит в несколько этапов: адаптации, индивидуализации и интеграции [2]. Ниже рассмотрим их подробнее и на конкретных примерах пяти выдающихся архитекторов Саратова рубежа XIX-XX веков.

Первый этап – *адаптация*. В этот период происходит усвоение действующих ценностей и норм, освоение средствами и формами деятельности и подражание начинающего архитектора коллегам-профессионалам.

Анализируя начальные периоды биографии известных архитекторов, можем сделать вывод, что все они отражали в своей последующей профессиональной деятельности печать воспитания и обстановки, полученных в детском возрасте. Так, Карл Людвигович Мюфке, отец которого был аптекарем-провизором, впоследствии создал основу архитектурного ансамбля Саратовского университета, состоявшего изначально только из медицинского факультета, а также ансамбль Клинического городка [3]. Значимыми проектами Зыбина Петра Митрофановича, воспитывавшегося в церковно-приходской школе и учившегося живописи у иконописца, стали церковь-школа, построенная для детей железнодорожных служащих, церковь-часовня при архиерейском доме «Утоли моя печали», колокольня при Спасопреображенском мужском монастыре (совместно с В.К. Карпенко), а также принятый проект расширения Александро-Невского кафедрального собора.

Семен Акимович Каллистратов родился в семье сельского священника и преподавателя. На его счету в Саратове два осуществленных и один оставшийся только на бумаге проекты школ-дворцов, гимназии Куфельд. И, конечно, венец творчества – проект расширения и оформления фасада здания музыкального училища для нужд открываемой консерватории.

Сыну государственного служащего, Алексею Марковичу Салько, особенно удавались общественно значимые проекты: здания окружного суда, управления Рязано-Уральской железной дороги, Духовного православного училища и музея имени А. Н. Радищева. Василий Алексеевич Люкшин родился в мещанской семье, с двух лет воспитывался дедом. Работая в Саратове, архитектор реализовал проекты гинекологической лечебницы имени Медведевых, частной больницы врачей Л. Бухгольц и В. Грасмик, дома профессора-ботаника Н. Я. Ивановского. На основе вышеприведенной феноменологической модели нам представляется возможным сделать вывод, что дед В. А. Люкшина по роду деятельности имел отношение к медицине, возможно, был сельским врачом.

Таким образом, каждый архитектор совмещал свой социокультурный опыт и приобретенные знания в своих произведениях, определяя их конечную направленность – общественную, культурно-просветительскую, религиозную.

Следующим этапом развития творческой личности является *индивидуализация* архитектора. Все изменения в этот период обусловлены обострением противоречий между необходимостью «быть таким, как все» и стремлением личности творца к персонализации. Из вышеизложенного следует, что архитектурное сооружение часто находится в прямой зависимости от эстетических и культурных предпочтений зодчего.

Ярким примером данного предположения является использование классицистических мотивов в проектах К. Л. Мюфке, воспитывавшего свой художественный вкус на лучших образцах столичного классицизма (рис. 1). Для П. М. Зыбина, получившего столичное образование, прообразами значимого проекта церкви-часовни «Утоли моя печали» (рис. 2), несомненно, стали собор Воскресения Христова на Крови и собор Василия Блаженного. С. А. Каллистратов, учившийся в Швейцарии, увековечил свое имя в образах зданий саратовской консерватории (рис. 3) и гостиницы «Астория». Оба архитектурных сооружения в стиле романтического модерна отсылают нас к европейской готической архитектуре. А. М. Салько был человеком, придерживавшимся патриархальных русских традиций. Это отразилось как на его семье (Алексей Маркович был отцом девяти детей), так и на его архитектуре. Здания, автором которых является

А.М. Салько, выделяются из общей застройки города своим «кирпичным стилем» (рис. 4). В их обликах чувствуется традиционно русский мотив, влияние отечественной архитектурной школы: затейливые орнаменты из кирпича, декоративные карнизы, веселые кокошники, башенки – что-то от старинных боярских палат, от знаменитой кремлевской зубчатки. В здании Крытого рынка (рис. 5) архитектора В. А. Люкшина можно увидеть черты европейской архитектуры рубежа XIX-XX веков с присущим ей использованием бетона, большепролетных конструкций и витражного остекления больших окон.

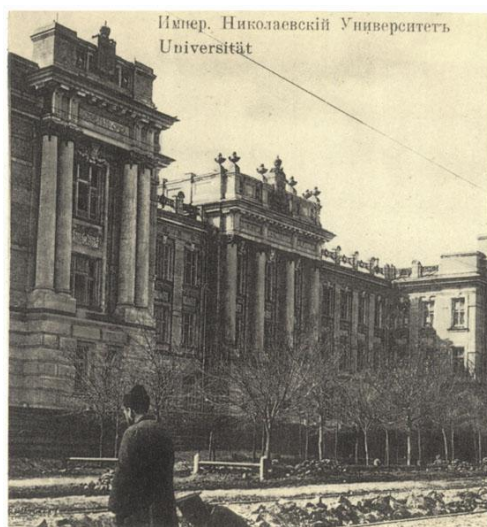


Рис. 1. Учебный корпус Саратовского государственного университета. Архитектор К. Л. Мюфке

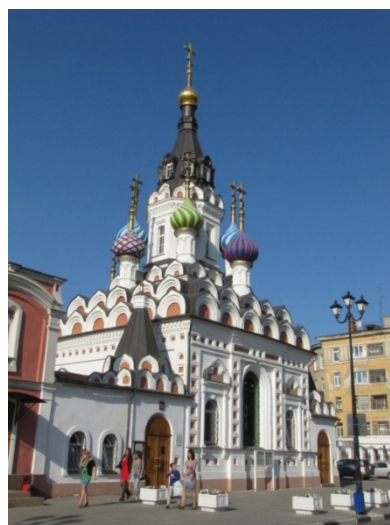


Рис. 2. Церковь-часовня «Утоли моя печали». Архитектор П. М. Зыбин



Рис. 3. Здание саратовской консерватории. Архитектор С. А. Каллистратов

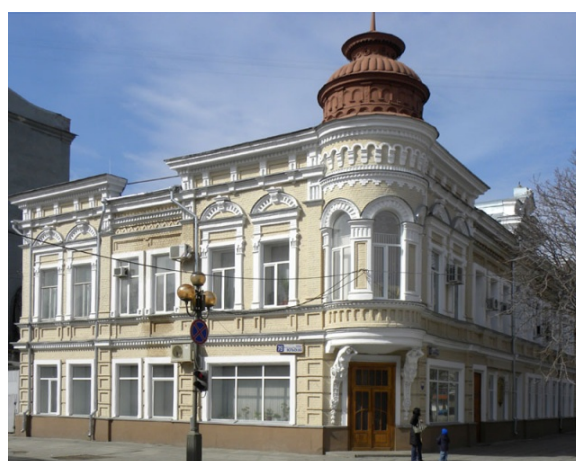


Рис. 4. Особняк П.А. Никитина. Архитектор А. М. Салько



Рис. 5. Здание Крытого Рынка. Архитектор В. А. Люкшин

Завершающим этапом формирования творческой личности является *интеграция*. Она определяется противоречием между стремлением архитектора быть индивидуально представленным своими особенностями в профессиональном сообществе и потребностью этого сообщества принять и культивировать лишь некоторые из них. Если данное противоречие не устранено, чаще всего, это приводит к дезинтеграции с последующей изоляцией или вытеснением из профессиональной среды. Появляются неосуществленные проекты, оставшиеся лишь на бумаге, работа «в стол», тогда как сам проект не представляет собой конечной цели творчества архитектора, его замысел должен быть воплощен в жизнь.

Что касается саратовских архитекторов, каждый из них – А.М. Салько, В.А. Люкшин, С.А. Каллистратов, К.Л. Мюфке и П.М. Зыбин, – был плодотворным творцом до конца жизни. Некоторые занимались на склоне лет административной работой и преподаванием.

Таким образом, нам удалось на примере ведущих архитекторов Саратова рубежа XIX-XX веков наглядно продемонстрировать принципиальные моменты творческого процесса с учетом роли личности творца и влияния на него среды: семьи, столичной или провинциальной атмосферы, образования, экономических, социальных и политических условий, идеологий, творчества других мастеров.

Во всех произведениях саратовских архитекторов вложены пыл души, разносторонняя образованность, все их профессиональные знания и навыки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современный психологический словарь / под ред. Б.Г. Мещерякова, В.П. Зинченко. СПб.: Прайм-ЕВРОЗНАК, 2006.
2. Петровский А.В. Личность. Деятельность. Коллектив / А.В. Петровский. М.: Политиздат, 1982.
3. Осятинский А.П. Архитектурный ансамбль К.Л. Мюфке в Саратове / А.П. Осятинский. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1984.

Корчагина Александра Борисовна – аспирант, ассистент кафедры «Архитектура» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

Alexandra B. Korchagina – Postgraduate, Assistant Lecturer Department of Architecture, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 10.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 624.04

Н.В. Купчикова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОСТЕЛИ ПО ДЕФОРМАЦИИ СВОБОДНОГО КОНЦА СВАИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

С помощью методики расчёта линейно-протяжённых конструкций (балок, свай), основанной на свойствах изображений Фурье финитных функций, выведена формула определения коэффициента постели по деформации свободного конца свай с помощью дифференциальных уравнений в обобщённых функциях.

Коэффициент постели, линейно-протяжённые конструкции, дискретное преобразование Фурье

N.V. Kupchikova

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF BED ON THE DEFORMATION OF THE FREE END OF PILES WITH THE USE OF METHODS OF THE DISCRETE FOURIER TRANSFORM

With the help of methods of calculation of linearly extended structures (beams, piles), based on the properties of the Fourier images of compactly supported functions the formula for determining the coefficient of bed on the deformation of the free end of piles with the help of differential equations in generalized functions.

Coefficient of bed, linearly extended structures, discrete Fourier transform

Интегральные преобразования, в частности преобразование Фурье, являются мощным современным аппаратом, позволяющим эффективно решать различные задачи физики и механики. За последние двадцать лет интенсивно исследовались и развивались теория и приложения преобразования Фурье обобщенных функций [1-4]. Обобщенные функции являются обобщением классического понятия функции. Множество обобщенных функций состоит из множества обычных функций и множества сингулярных, «необычных» с точки зрения классического анализа функций. Так же, как например, множество действительных чисел состоит из множества рациональных, «обычных» чисел и множества иррациональных, «необычных». Множество рациональных чисел расширяется до множества действительных чисел для того, чтобы сделать выполнимой операцию извлечения корня и взятия логарифма. Необходимость в расширении множества обычных функций до множества обобщенных возникла при решении задач математической физики. На множестве обобщенных функций всегда выполняема операция дифференцирования. Обобщенные функции расширяют возможности классического анализа, например, любую обобщенную функцию можно дифференцировать любое число раз, преобразование Фурье обобщенной функции всегда существует и т.д.

Аппарат преобразования Фурье эффективен в задачах, связанных с решением дифференциальных уравнений с обычными и частными производными и в механике грунтов. Решение этих задач сводится к решению алгебраических уравнений.

Благодаря применению обобщенных функций и преобразования Фурье математические выкладки автоматизируются и упрощаются.

Наиболее удобно использовать метод решения, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций для решения задач, представляемых дифференциальными уравнениями с кусочно-постоянными параметрами в механике грунтов. В последние двадцать лет интенсивно исследовались и развивались теория и приложения преобразования Фурье обобщенных функций на кафедре «Тоннели и мосты» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) под руководством заведующего кафедрой, профессора Е. Н. Курбацкого и подробно изложены в его диссертации «Метод решения задач теории упругости и строительной механики, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций».

В основе метода лежит теорема Винера Пэли Шварца о свойствах изображений Фурье финитных функций: «Изображения Фурье финитных функций целые функции, т.е. функции представимые сходящимися степенными рядами».

В [5] изложена методика расчёта свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями на действие горизонтальной нагрузки, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций. Определим коэффициент постели по деформации свободного конца сваи с помощью дифференциальных уравнений в обобщенных функциях, основываясь на данной методике.

Для достаточно длинных свай, когда влиянием граничных условий на нижнем конце сваи можно пренебречь, сваю можно рассматривать как полубесконечную

$$\frac{d^4 u}{dx^4} + 4\beta^4 u = u'''(0)\delta(x) + u''(0)\delta'(x) + u'(0)\delta''(x) + u(0)\delta'''(x) \quad (1)$$

Учитывая граничные условия для балки со свободным концом:

$$u'''(0) = -\frac{P}{EI}; \quad u''(0) = \frac{M}{EI} = 0;$$

имеем

$$\frac{d^4 u}{dx^4} + 4\beta^4 u = \frac{P}{EI} \delta(x) + u'(0)\delta''(x) + u(0)\delta'''(x)$$

Применим преобразование Фурье к обеим частям уравнения:

$$\tilde{u}(v) [(-iv)^4 + 4\beta^4] = \frac{P}{EI} + u'(0)(-iv)^2 + u(0)(-iv)^3.$$

Изображение Фурье функции прогиба балки имеет вид

$$\tilde{u}(v) = -\frac{u'(0)v^2 - u(0)iv^3 - \frac{P}{EI}}{v^4 + 4\beta^4} \quad (2)$$

Параметры $u'(0)$ и $u(0)$ аналогичны константам интегрирования, которые можно определить, не выходя из области изображений. Для этой цели найдём корни знаменателя $v^4 + 4\beta^4 = 0$:

$$\begin{aligned} v_1 &= \sqrt{2}\beta e^{i\frac{\pi}{4}} = \beta(1+i); & v_2 &= -\sqrt{2}\beta e^{-i\frac{\pi}{4}} = -\beta(1-i); \\ v_3 &= -\sqrt{2}\beta e^{i\frac{\pi}{4}} = -\beta(1+i); & v_4 &= \sqrt{2}\beta e^{-i\frac{\pi}{4}} = \beta(1-i). \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая, что функция $u(x) \equiv 0$ при $x < 0$, изображение Фурье этой функции $\tilde{u}(v)$ должно быть аналитической функцией во всех точках верхней полуплоскости, из чего следует, что корни знаменателя, лежащие в верхней полуплоскости, должны совпадать с корнями числителя. Из этого условия следуют два уравнения: $u'(0)v_1^2 - u(0)iv_1^3 - \frac{P}{EI} = 0$; $u'(0)v_2^2 - u(0)iv_2^3 - \frac{P}{EI} = 0$.

Подставляя в систему уравнений выражения корней знаменателя

$$v_1 = \sqrt{2}\beta e^{i\frac{\pi}{4}} = \beta(1+i), \quad v_2 = -\sqrt{2}\beta e^{-i\frac{\pi}{4}} = -\beta(1-i) \quad (4)$$

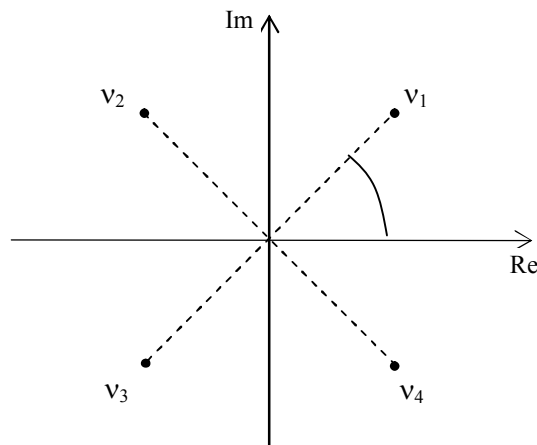
получим:

$$u'(0)v_1^2 - u(0)iv_1^3 - \frac{P}{EI} = 0 \quad (5)$$

$$u'(0)v_2^2 - u(0)iv_2^3 - \frac{P}{EI} = 0$$

$$iu'(0) - \sqrt{2}iu(0)\beta e^{3i\frac{\pi}{4}} = \frac{P}{2\beta^2 EI} \quad (6)$$

$$-iu'(0) + \sqrt{2}iu(0)\beta e^{-3i\frac{\pi}{4}} = \frac{P}{2\beta^2 EI}$$



Расположение корней на комплексной плоскости

Складывая левые и правые части уравнений, получим

$$u(0) \left[\frac{e^{-3i\frac{\pi}{4}} - e^{3i\frac{\pi}{4}}}{2i} \right] \sqrt{2} = \frac{P}{2\beta^3 EI} \quad (7)$$

$$u(0)\sqrt{2} \sin 3\frac{\pi}{4} = \frac{P}{2\beta^3 EI} \Rightarrow u(0) = \frac{P}{2\beta^3 EI} \quad (8)$$

Для определения угла поворота подставим полученное выражение для прогиба в уравнение

$$iu'(0) - \sqrt{2}i \frac{P}{2\beta^3 EI} \beta e^{3i\frac{\pi}{4}} - \frac{P}{2\beta^2 EI} = 0 \quad (9)$$

Выполнив необходимые алгебраические преобразования, получим

$$u'(0) = -\frac{P}{2\beta^2 EI} \quad (10)$$

при $x=0$

$$u(0) = -\frac{P}{2EI\beta} \quad (11)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{P}{2uEI}} \quad (12)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad (13)$$

Из уравнений (12, 13) получаем коэффициент постели основания для полубесконечной балки:

$$k = 4EI^3 \sqrt[4]{\left(\frac{P}{u} \frac{1}{2EI}\right)^4} \quad (14)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Курбацкий Е.Н. Методические указания по решению задач механики с использованием преобразования Фурье: учеб. пособие / Е.Н. Курбацкий. М.: МИИТ, 1979.
2. Курбацкий Е.Н. Метод расчета строительных конструкций с использованием дискретного преобразования Фурье / Е.Н. Курбацкий // Конструкции жилых зданий. М.: ЦНИИЭПжилища, 1987.
3. Курбацкий Е.Н. Методика расчета свайных фундаментов с уширениями на статические и динамические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций / Е.Н. Курбацкий, Н.В. Купчикова, Сан Лин Тун // Модернизация регионов России: инвестиции в инновации: сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 2010. С. 3-6.
4. Курбацкий Е.Н. Соотношение между интегралом Фурье и спектрами ответов при оценке сейсмического воздействия на свайные фундаменты / Е.Н. Курбацкий, Н.В. Купчикова, Сан Лин Тун // Энергоресурсосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство: сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2011. С. 173-178.
5. Купчикова Н.В. Методика расчёта свайных фундаментов с уширениями на сейсмические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций / Н.В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 24-31.

Купчикова Наталья Викторовна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Технология, организация строительства и экспертиза, управление недвижимостью» Астраханского инженерно-строительного института

Nataliya V. Kupchikova – Ph. D., Associate Professor
Department of Technology and Organization of Construction and Appraisal, Property Management
Astrakhan Engineering and Construction Institute

Статья поступила в редакцию 11.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 721:502.12

Е.А. Сухинина

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И СРАВНЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ

Автором рассматриваются международные системы экологической сертификации и экологические стандарты в строительстве. Изучаются разделы и экологические требования систем сертифицирования. Сравниваются разделы и критерии экологических стандартов, устанавливающих комплекс обязательных мероприятий для зданий и территорий.

Экологический стандарт, система экологической сертификации, экологические требования, окружающая природная среда

E.A. Sukhinina

THE FUNDAMENTAL PRINCIPLES AND COMPARISON OF INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL STANDARDS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

The author considers international system of environmental certification and environmental standards in the construction industry. Various sections and environmental requirements for the certification systems are being studied. The categories and criteria for environmental standards specifying the set of mandatory measures for buildings and territorial regions are compared.

Environmental standards, the system of environmental certification, environmental requirements, the natural environment

Неблагоприятная экологическая ситуация на Земле, изменение климатических условий, истощение запасов природных ископаемых, нерациональное использование энергоресурсов при эксплуатации зданий создают необходимость улучшить, остановить и предотвратить пагубные явления человеческой деятельности на окружающую среду. Это становится возможным путем введения обязательных законодательных нормативов в области охраны природы и экологии в середине – конце XX века в Европе и России.

Для регулирования потребительского и негативного отношения к природной среде в строительной сфере на рубеже XXI века разрабатываются и вводятся первые «зеленые» стандарты в строительстве.

«Зеленый» стандарт – это набор критериев и требований, обеспечивающих комплексный анализ всех систем здания с позиций: расположения, водозффективности, энергосбережения, экологичности материалов, благоприятного микроклимата, здоровья и социального благополучия путем начисления баллов и присуждения соответствующего сертификата рассматриваемому объекту.

Сегодня лидерами в мировом экологическом сообществе являются три системы экологического сертифицирования BREEAM (Великобритания, 1990 г.), LEED (США, 1998 г.), DGNB (Германия, 2009 г.). Данные экологические стандарты активно используются как в Европе, так и в других развитых странах. Экологический сертификат для здания в Европе является показателем качества в области экологичности и энергосбережения, увеличивая конкурентоспособность и привлекательность здания для арендаторов, клиентов и работников. В европейских странах уже активно развито такое понятие, как «экоустойчивый» архитектор, использующий при проектировании национальный стандарт, максимально учитывающий все аспекты экологического строительства.

В России на текущий момент времени также внедряются экостандарты для зданий. Центр экологической сертификации «Зеленые стандарты» разработал и принял в 2010 году первую версию системы сертификации «Зеленые стандарты». На основе «Зеленого стандарта» 30 августа 2012 г. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 257-СТ был утвержден национальный стандарт РФ ГОСТ Р 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости». В 2011 году Совет по «зеленому» строительству провел работу по созданию экологического стандарта для малоэтажных зданий CAP-СПЗС 1.1.M – 2011. Однако российский девелоперы и инвесторы предпочитают оценивать здания по экостандартам BREEAM и LEED, разработанным более 15 лет назад.

Но судя по выступлению Президента РФ В.В. Путина, национальные российские экостандарты будут работать уже в ближайшее время: «На стройках в Сочи впервые широко применены такие технологии, которые в мире называются «зелеными экологическими стандартами», и в дальнейшем мы планируем распространить такие технологии на всю страну. Эти технологии дорогие, но это действительно то, что называется вложением в будущее» [1].

Сегодня экосертифицирование объектов недвижимости носит рекомендательный характер и служит для подтверждения экологичности, энергоэффективности и увеличения конкурентоспособности зданий на рынке недвижимости. Возможно, в скором времени соответствие зданий национальным экостандартам может стать обязательным как в развитых странах, так и в России. Так существует необходимость провести сравнительный анализ разделов и критериев действующих систем экосертифицирования зданий, принятых в разных странах, с целью выявления их особенностей и направленности экологических требований.

Немецкий ученый доктор Питер Мосле провел исследование по сравнению трех систем экологического сертифицирования (DGNB, LEED, BREEAM) по шести категориям оценки зданий: экологическое качество, экономическое качество, социальное качество, техническое качество, качество

процесса, качество расположения и сделал вывод, что «немецкий экологический стандарт DGNB - единственная система, на сегодняшний день, которая подчеркивает экономическую устойчивость здания» [2] (рис. 1), но ничего не сказано о влиянии требований экологических стандартов на архитектурно-планировочное решение объектов строительства.

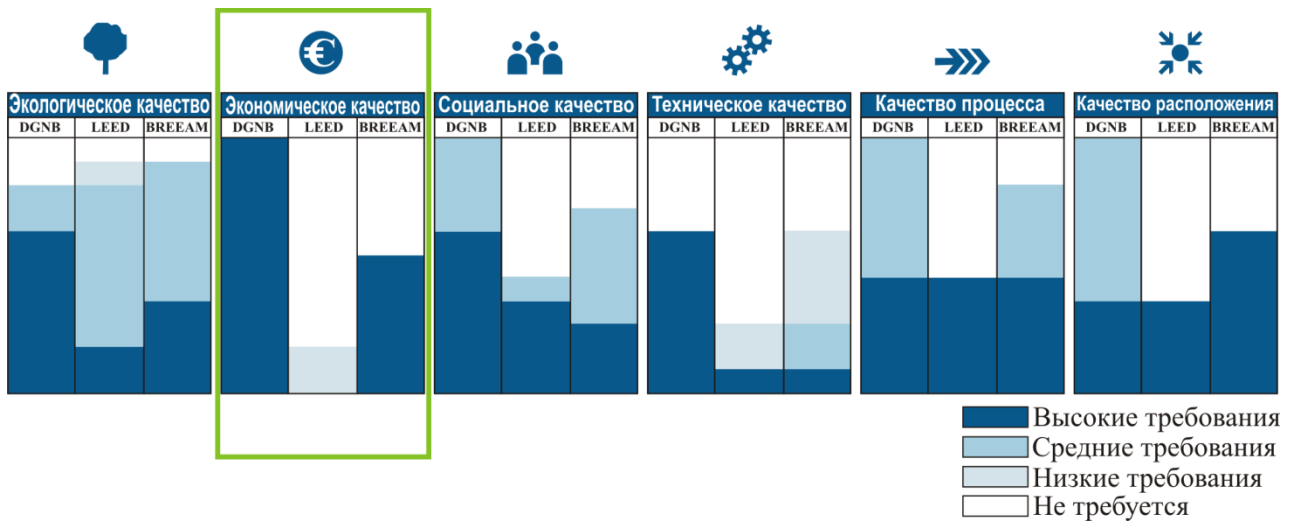


Рис. 1. Сравнительный анализ международных экостандартов Питера Мосле, [2]

При анализе структуры двенадцати систем экологического сертифицирования объектов недвижимости: BREEAM (Великобритания, 1990 г.); LEED (США, 1993 г.); DGNB (Германия, 2009 г.); SB-Tool (Канада, 2007 г.); CASBEE (Япония, 2001 г.); Green Star (Австралия, 2003 г.); Three Star (Китай, 2007 г.); SBAT (Южная Африка, 2010 г.); HQE (Франция), «Зеленый стандарт» (Россия, 2010 г.); «Корпоративный Олимпийский Зеленый Стандарт» (Россия, 2011 г.); CAP-СПЗС 1.1.M – 2011 (Россия, 2011 г.), автором были проанализированы основные разделы экологической оценки.

Наиболее подробный комплексный анализ здания и территории по десяти разделам экологической оценки приведен в стандарте BREEAM. Английская система наиболее объективна и приспособлена к реальности. BREEAM сосредоточен на использование возобновляемой энергии, местоположении и утилизации отслуживших свой срок элементов здания, однако уклон в энергетику незначительный. Большое внимание в экостандарте уделяется минимальным выбросам парниковых газов, восстановлению экологически неблагоприятных территорий, комфорту и микроклимату внутри объекта.

Стандарт LEED отличается от других систем «негибкой» структурой. В отличие от BREEAM, не использует разные версии систем для различных государств. В американском стандарте рассматриваются схожие позиций с BREEAM, при этом требования некоторых частей объединены в единый раздел, как например, мероприятия по отходам относятся к разделу «Материалы и ресурсы», мероприятия по транспорту включены в раздел «Прилегающая территория». В LEED предусматривается жесткая связь функционального назначения с архитектурными формами, что не всегда приемлемо за пределами США [4]. Стандарт LEED нацелен главным образом на эффективное использование существующих источников энергии, соответствие здания требованиям Energy Star является главным условием для получения экосертификата. Особое внимание уделяется месту строительства, использованию в ландшафтном дизайне местных растений, доступности общественного транспорта, использованию материалов с вторсырьем. Меньше баллов можно получить за расположение объекта около водоема или рядом с зелеными зонами.

Иную структуру имеет экостандарт DGNB, в нем оценивается качество процессов и структур в здании (качество проекта, период строительства, эксплуатация, утилизация). Меньше внимания уделяется природоохранным требованиям и месту расположения здания, что является важным аспектом в российских системах сертифицирования. Немецкая система сконцентрирована на всем жизненном цикле здания с тщательной проработкой проектной стадии объекта. Основным достоинством стандарта является то, что существует предварительная стадия экооценки. По мнению автора, это является действенным методом, который необходимо использовать и в российских системах экосертификации. Так как сложно изменить концепцию на стадии строительства, сделав архитектурно-планировочные решения здания более экологическими, об этом следует задумываться на стадии эскиз-идеи проекта. В немецкой системе особое внимание уделяется культуре и социуму.

Схожие требования разделов экосистем канадской SB-Tool и американской LEED. Экологический стандарт SB-Tool имеет меньшее количество экотребований для зданий, но в отличие от

LEED и BREEAM дополнен разделами «Качество сервисного обслуживания», «Социальные и экономические аспекты».

По количеству экологических требований очень подробной является японская система CASBEE и китайская система Three Star.

Экологические разделы австралийской системы Green Star идентичны разделам английского стандарта BREEAM, за исключением раздела «Отходы».

Нетипичная структура по трем основным разделам («Общество», «Экономика», «Экология») у южно-африканского стандарта SBAT.

Четырнадцать категорий подробной экологической оценки представлено во французской системе HQE, в ней учитываются разделы, не встречающиеся в других экостандартах: «Выбор способов строительства и материалов» и «Визуальная привлекательность здания».

Разделы российского «Зеленого стандарта» схожи с требованиями стандарта LEED (рис. 2). При сравнении основных разделов «Зеленого стандарта» и экотребований LEED можно сделать вывод, что некоторые разделы имеют схожую структуру экологических критериев оценки зданий и прилегающей территории. Российская система дополнена разделами «Экологический менеджмент», «Архитектурно-планировочные и конструкторские решения», «Безопасность жизнедеятельности». Однако в американском стандарте предусматриваются такие разделы, как «Инновации в проектировании» и «Учет региональных особенностей».

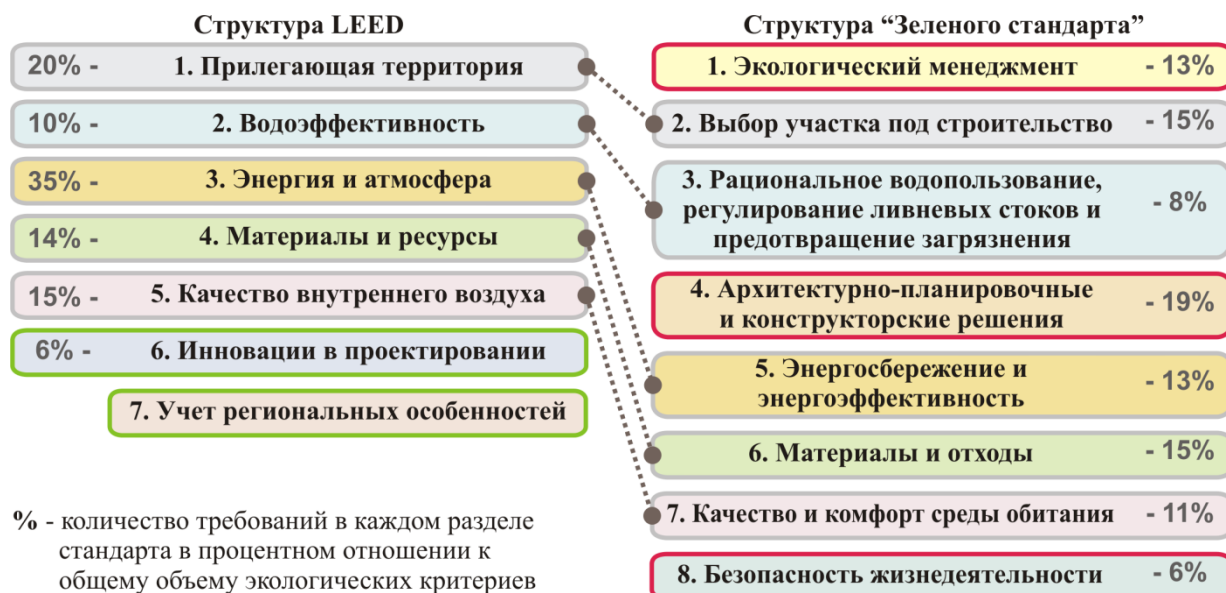


Рис. 2. Авторский сравнительный анализ разделов американского экологического стандарта LEED и российского «Зеленого стандарта»

В «Корпоративном Олимпийском Зеленом Стандарте», разработанном для строительства спортивных объектов в Сочи, рассматриваются основные позиции экологической оценки без учета архитектурно-планировочных и эстетических решений объектов.

Другой российский стандарт для малоэтажного экологического строительства САР-СПЗС имеет подробную структуру по тринадцати позициям экооценки зданий и в отличие от других экостандартов учитывает «Радиационную безопасность» и «Архитектурные решения» проектируемых домов. При разработке стандарта для малоэтажных зданий САР-СПЗС за основу был взят немецкий стандарт DGNB (рис. 3), охватывающий широкий спектр вопросов, относящихся к экоустойчивому строительству с учетом экономического и жизненного цикла здания. Из истории известно, что еще в XIX веке существовали тесные контакты Германии с Россией по нормализации строительства. Немецкий стандарт (DIN) тогда оказывал влияние на нормы строительной системы России, поэтому сегодня большинство российских строительных норм (около 80%) похожи на немецкие [5].

При сравнительном анализе международных систем экологического сертифицирования зданий автором определено, что в основе рассматриваемых стандартов лежат экологические разделы британского стандарта BREEAM и американского стандарта LEED, как наиболее распространенных, давно зарекомендовавших себя на экоустойчивом строительном рынке. Прослеживается коммерческая направленность экотребований, в наименьшей степени проявляется забота об окружающей сре-

де, не рассматривается возможное влияние экокритериев на архитектурно-градостроительное пространство.

Глобализация экосертификации зданий в мировом сообществе проявляется в общности экологических стандартов по многим позициям экооценки. При сравнении двенадцати систем экологической сертификации зданий определено, что в общей массе стандарты охватывают схожие аспекты:

- прилегающая территория;
- энергосбережение;
- водозэффективность;
- материалы и конструкции;
- отходы;
- микроклимат;
- здоровье и социальное благополучие.

Рассматриваемые стандарты повышают экологические показатели объектов сертифицирования, устанавливая экологические требования к месту строительства, общедоступности (для общественных зданий), близости развитой инфраструктуры (для жилого строительства). Баллы начисляются за безопасное для окружающей среды возведение здания (реконструкцию) и возможность дальнейшей утилизации строительных элементов. Рейтинг проекта также могут повысить повторно-используемые материалы, грамотная сортировка и переработка отходов жизнедеятельности. Поощряются сбор дождевой воды и устройство зеленой кровли. Большое внимание уделяется естественному освещению и естественной вентиляции. Но очень часто экосертифицированные здания превращаются в механизмы с «умной начинкой», зависимые от электроэнергии и другой подпитки извне, что негативно сказывается на формировании архитектурно-градостроительных объемов и пространств.



Рис. 3. Авторский сравнительный анализ разделов немецкого экостандарта DGNB и российского стандарта для малоэтажных зданий СПЗС-1.1.М-2011

Более подробный анализ критериев шести экологических стандартов (BREEAM, LEED, DGNB, Зеленый стандарт, Олимпийский стандарт, СПЗС-1.1.М-2011) показал, что в процентном отношении по количеству требований рассматриваемых разделов в стандартах больше внимания уделяется инженерно-техническим системам и оборудованию зданий.

Анализ критериев экологических стандартов

Название экологического стандарта	Количество требований рассматриваемого раздела, %					
	BREEAM	LEED	DGNB	Зеленый стандарт	Олимпийский стандарт	САР-СПЗС
Инженерно-технические системы, оборудование	20,02%	34,56%	14,28%	28,35%	39,10%	26,24%
Объемно-планировочные решения	14,56%	5,76%	6,12%	13,23%	13,05%	16,40%
Конструктивные решения	3,64%	3,84%	6,12%	11,34%	-	4,92%
Эффективное использование материалов	10,92%	19,20%	6,12%	9,45%	4,35%	9,80%
Эстетические решения	1,82%	1,92%	4,08%	-	-	-

Можно сделать вывод, что большинство экосистем имеют инженерно-техническую направленность, в международных экостандартах *небольшое количество требований* относительно объемно-планировочных, конструктивных и эстетических решений.

К примеру, в новом «зеленом» офисном здании класса «А» в г. Москве (рис. 4), спроектированном по немецкому стандарту и претендующем на золотой сертификат DGNB, офисные помещения оборудованы инженерными системами высочайшего качества, здание спроектировано с учетом самых строгих требований современного бизнеса, но во внешнем и внутреннем облике объекта не прослеживается экологической составляющей (альтернативных источников энергии, «зеленой» эксплуатируемой кровли, взаимосвязи здания с прилегающим парком, натуральных природных материалов для отделки помещений).



Рис. 4. Офисное здание класса «А», г. Москва, Ленинский проспект, 119

Сегодня требования экологических стандартов являются мощным рычагом влияния на архитектуру сертифицируемого объекта, что приводит к обезличиванию здания из-за стремления набрать большее количество экоустойчивых баллов. Обязательное экосертификация зданий в будущем способно привести к тиражированию типовых решений без учета архитектурно-эстетической составляющей и индивидуального образа сооружения.

По мнению автора, существует необходимость в усовершенствовании национальных систем экологической сертификации для России, находящихся на стадии внедрения, в силу специфики климатических особенностей различных регионов и устоявшихся национальных традиций строительства. Следует переориентировать разрабатываемые экостандарты, минимизировав техногенное вмешательство в объемно-планировочное пространство «зеленого» здания и прилегающей территории. Сертифицирование по национальному стандарту должно быть доступным, а экобаллов в большей степени следует добиваться за счет возможностей потенциала места строительства, рационального планировочного решения и уникального для каждой ситуации объемно-пластического образа здания.

Наиболее важные моменты, по мнению автора, которые должны первостепенно учитываться в экологических стандартах, это:

- проектирование и строительство качественных энергоэффективных, экологических зданий, доступных для всех слоев населения;
- учет культурных особенностей и традиций места строительства;
- отказ от использования новых земель, в свою очередь, реабилитация загрязненных и неблагополучных территорий;
- на прилегающей к зданию территории создание благоприятной среды, способствующей развитию животного и растительного сообществ;
- создание здоровых условий с учетом климатических данных как внутри здания (организация естественного проветривания за счет особого планировочного решения, максимальное использование естественного освещения, избежание перегрева и переохлаждения за счет объемно-планировочного решения здания, применение экологических материалов), так и на участке (организация водоемов, теневых навесов, разнообразных зеленых насаждений, биологической мостовой и т.п.);
- применение энергосберегающих планировочных и конструктивных решений;
- использование системы пассивного солнечного отопления и охлаждения;
- использование конструктивных решений зданий, возможных для разборки и демонтажа;
- повторное использование строительных элементов и материалов;
- организация мероприятий по снижению энергопотребления (эффективное утепление ограждающих конструкций) и водопотребления (сбор дождевой и очистка «серой» воды);
- в экостандартах должны использоваться регламенты на этажность здания;
- основным показателем экологичности, несомненно, должен являться показатель минимальной зависимости от традиционных источников энергии и обязательное применение альтернативной энергетики (энергии солнца, воды, грунта).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленые стандарты / Новости / Новости Центра зеленых стандартов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.greenstand.ru/gsnews.html> / Дата обращения: 29.05.2013.
2. Клейст Т. Материалы учебного семинара по сертификационной системе Немецкого совета по экоустойчивому строительству DGNB Консультант / Лектор: Томас Клейст. Москва: офис фирмы «Бене Рус», 15-18 мая, 2013 г.
3. BREEAM / Что такое BREEAM? / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.breeam.org> / Дата обращения: 30.05.2013.
4. Yudelson J. The Green Building Revolution / Jerry Yudelson Foreword by S. Richard Fedrizzi, CEO U.S. Green Building Council, Washington: Island press, 2008.-270 p.
5. АНО Журнал «Экология и жизнь» / Издание НП СПЗС № 3 / Экоустойчивая позиция 2012 / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecolife.ru>

Сухинина Елена Александровна – аспирант, ассистент кафедры «Архитектура» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena A. Sukhinina – Postgraduate, Assistant Lecturer Department of Architecture, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 14.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 624.071.22:531.011

Д.А. Тарасов, В.В. Коновалов, В.Ю. Зайцев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Предложен метод математического моделирования напряженно-деформированного состояния стальных канатов. Представлена математическая модель, реализованная в виде листинга математического пакета MathCAD. Особенностью модели является возможность учитывать большие стрелы провеса начального очертания стальных канатов. Рассмотрен пример и проведен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния, полученного разными методами расчета.

Стрела провеса, канат, нить, усилия, перемещения

MATHEMATICAL MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE IN STEEL ROPES

We propose a method of mathematical modeling of the stress-strain state in the steel wire ropes. A mathematical model implemented in the form of a listing of the mathematical package MathCAD. The characteristics of the model include the ability to take into account the large sag of initial outlines of steel ropes. A case study was made, and the comparative analysis of the stress-strain state was obtained using different methods of calculation.

Sag, rope, thread, effort, movement

В настоящее время, расчеты отдельных стальных канатов, несущих поперечную нагрузку, ведутся с использованием известных методик расчета гибких нитей таких ученых, как В.К. Качурин, Н.С. Москалев, Г.С. Ведеников, Р.Н. Мацелинский. Однако такие подходы не позволяют с достаточной точностью определять напряженно-деформированное состояние гибких нитей с большими стрелами провеса. Проблема заключается еще и в том, что указать точную границу между нитями с малыми и большими стрелами провеса невозможно, так как эта граница зависит от характера и величины нагрузки, от материала и условий работы нити [1]. В таком случае становится очевидным, что требуется одна методика расчета гибких нитей как с малыми, так и с большими стрелами провеса, обеспечивающая достаточную степень точности.

Для решения поставленной задачи использованы методы математического моделирования и вычислительной математики. Результатом явилась предложенная методика, реализованная в виде листинга математического пакета MathCAD, а также проведенные численные исследования.

При обозначении вертикальных опорных реакций R_A и R_B на расчетной схеме, представленной на рис. 1, следует принимать реакцию R_A на более высокой опоре.

Для построения линии равновесия гибкой нити используются правила построения эпюры изгибающих моментов для балки. Линия равновесия гибкой нити под действием вертикальной нагрузки совпадает с эпюрой изгибающих моментов шарнирно опертой балки пролетом l , находящейся под действием той же нагрузки; при этом ординаты эпюры моментов уменьшены в H раз и отложены от хорды AB , соединяющей точки крепления нити. Математически это записывается так [2]:

$$y(x) = \frac{M(x)}{H} + x \cdot tg\beta, \tag{1}$$

где $M(x)$ – изгибающий момент в шарнирно опертой балке пролетом l , от соответствующей нагрузки, $H \times m$, H – распор, т. е. горизонтальная составляющая опорных реакций в точках крепления нити, равная по величине горизонтальной составляющей продольных усилий T во всех сечениях нити, H .

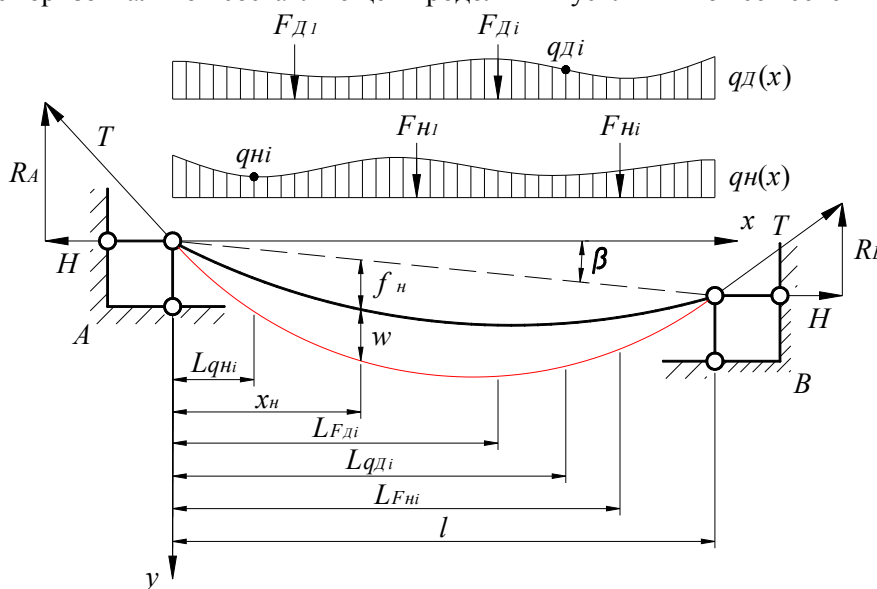


Рис. 1. Расчетная схема гибкой нити: — - начальное состояние линии равновесия нити; — — - конечное состояние линии равновесия нити от внешнего воздействия

Построение линии равновесия гибкой нити сводится к определению ее распора H в точках крепления, так как определение изгибающего момента в шарнирно опертой однопролетной балке не вызывает трудностей.

При определении внутренних усилий в однопролетной балке пролетом l поперечная сила равняется сумме сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения; изгибающий момент равен сумме моментов всех сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения относительно центра тяжести сечения. Математически внутренние усилия при изгибе можно записать следующим образом [3]:

$$Q(x) = \sum F_i + \sum \int q_i(x) \cdot dx; \quad (2)$$

$$M(x) = \sum M_i + \sum F_i \cdot h(x) + \sum \int q_i(x) \cdot h(x) \cdot dx, \quad (3)$$

где $h(x)$ – плечо силы.

Взяв производные от левой и правой части формулы (1), получим выражение, которое необходимо для определения длины нити [2]:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q(x)}{H} + tg\beta, \quad (4)$$

где $Q(x)$ – поперечная сила в шарнирно опертой балке пролетом l , от соответствующей нагрузки, Н.

Длина дуги кривой между точками A и B равна длине нити и вычисляется по формуле [4]:

$$L = \int_l ds = \int_l \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \int_l \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx, \quad (5)$$

где ds – длина отрезка нити, имеющая проекции на оси dx и dy , м; l – пролет нити, м.

Примем все переменные, относящиеся к начальному очертанию гибкой нити, обозначать с индексом n , а к конечной линии равновесия – с индексом k .

Подставив формулу (4) в выражение (5), получим длину нити при действии нагрузки $q_n(x)$, вызывающей начальное очертание гибкой нити:

$$L_H = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{Q_H(x)}{H_H} + tg\beta\right)^2} dx, \quad (6)$$

где $Q_H(x)$ – поперечная сила в шарнирно опертой балке пролетом l от начальной нагрузки $q_n(x)$, Н; H_H – величина распора нити от начальной нагрузки $q_n(x)$, Н.

Распор гибкой нити от начальной нагрузки равен

$$H_H = \frac{M_H(x_H)}{f_H}, \quad (7)$$

где $M_H(x_H)$ – значение изгибающего момента в шарнирно опертой балке пролетом l , нагруженной начальной нагрузкой $q_n(x)$, в сечении со значением абсциссы x_H , Н×м; f_H – стрела провеса нити от начальной нагрузки $q_n(x)$ для координаты x_H , м.

Рассмотрим случай, если нагрузка, вызывающая начальное очертание нити, отсутствует. В формуле (6) при определении длины нити получается неопределенность типа $\frac{0}{0}$. Для раскрытия этой

неопределенности предварительно определим уравнение кривой провисания нити от действия равномерно-распределенной нагрузки равной погонному весу. Кривая может быть аппроксимирована цепной линией. В этом случае нить примет очертание по уравнению

$$y_H(x) = \left(\frac{H_H}{q_H} \cdot \left(ch\left(\frac{q_H}{H_H} \cdot x \right) - 1 \right) \right) - f_H - x \cdot tg\beta - \frac{1 \cdot tg\beta}{2}, \quad (8)$$

где q_H – погонный вес нити, Н/м

При этом распор H_H , относящийся к первоначальному положению нити, определяется из граничного условия [5]:

$$\frac{H_H}{q_H} + f_H = \frac{H_H}{q_H} \cdot ch\left(\frac{q_H \cdot l}{H_H \cdot 2} \right). \quad (9)$$

Если первоначальная длина нити равна длине хорды AB , т. е. стрела провеса нити f_H от начальной нагрузки $q_n(x)$ для координаты x_H равна нулю, то в этом случае уравнение кривой провисания нити будет иметь вид

$$y_H(x) = x \cdot tg\beta, \quad (10)$$

а распор H_H будет равен нулю.

Тогда начальная длина нити определяется так:

$$L_H = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} y_H(x)\right)^2} dx. \quad (11)$$

Поскольку распор H_K не известен до момента его определения, а он входит в уравнение для расчета длины нити при совместном действии начальной $q_H(x)$ и дополнительной $qД(x)$ нагрузки, то уравнение запишем в виде функций от распора H_K :

$$L_K(H_K) = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{Q_K(x)}{H_K} + tg\beta\right)^2} dx, \quad (12)$$

где $Q_K(x)$ – поперечная сила в шарнирно опертой балке пролетом l от совместного действия начальной $q_H(x)$ и дополнительной $qД(x)$ нагрузки, Н.

Гибкая нить работает только на растяжение. Материал нити подчиняется закону Гука. Полное удлинение нити от изменения нагрузки $q_H(x)$, вызывающей начальное очертание, до совместного действия начальной $q_H(x)$ и дополнительной $qД(x)$ нагрузки на величину $H_K - H_H$ при постоянном значении распора H и площади сечения A можно записать

$$\Delta L(H_K) = \int_0^l \frac{H_K - H_H}{\cos\alpha \cdot E \cdot A} ds = \frac{H_K - H_H}{E \cdot A} \cdot \int_0^l \frac{dx}{\cos^2\varphi} = \frac{H_K - H_H}{E \cdot A} \cdot \int_0^l (1 + tg^2\varphi) dx, \quad (13)$$

где из тригонометрии известно

$$\frac{1}{\cos^2\varphi} = 1 + tg^2\varphi. \quad (14)$$

Уравнение (13) является функцией от распора H_K .

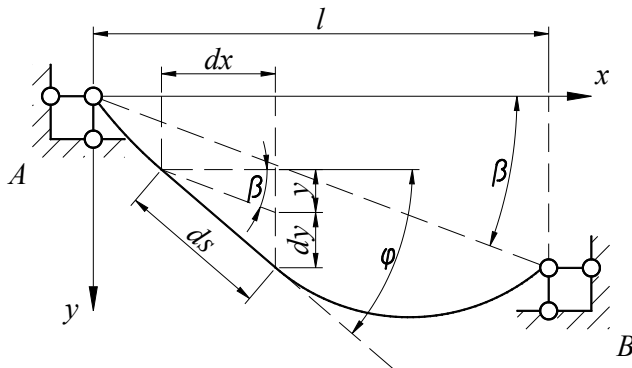


Рис. 2. Расчетная схема при определении упругого удлинения гибкой нити

Из рис. 2 видно

$$tg\varphi = \frac{dy + y}{dx}; \quad (15)$$

$$tg\beta = \frac{y}{dx} \Rightarrow y = dx \cdot tg\beta. \quad (16)$$

Подставив выражение (16) в (15), получим

$$tg\varphi = \frac{dy + dx \cdot tg\beta}{dx} = \frac{dy}{dx} + tg\beta = \frac{Q_K(x)}{H_K} + tg\beta. \quad (17)$$

Полное удлинение гибкой нити от изменения нагрузки после подстановки формулы (17) в (13) примет вид

$$\Delta L(H_K) = \frac{H_K - H_H}{E \cdot A} \cdot \int_0^l \left(1 + \left(\frac{Q_K(x)}{H_K} + tg\beta\right)^2\right) dx, \quad (18)$$

где E – модуль упругости материала, Па; A – площадь поперечного сечения нити, m^2 .

Кроме этого, длина нити изменяется от влияния температуры на величину [6]:

$$\Delta L_t = \frac{l \cdot \alpha \cdot t}{\cos\beta}, \quad (19)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; t – расчетный перепад температур, $^{\circ}\text{C}$.

Величины L_H , $L_K(H_K)$, $\Delta L(H_K)$ и ΔL_t связаны между собой [6]:

$$L_H + \Delta L(H_K) + \Delta L_t = L_K(H_K). \quad (20)$$

Для решения уравнения (20) и нахождения распора гибкой нити H_K используется вычислительный блок *given-find*.

Величина продольного усилия в гибкой нити равна [5]:

$$T_K = \sqrt{H_K^2 + R^2}, \quad (21)$$

где

$$R_A = Q_K(0) + H_K \cdot \text{tg}\beta; \quad (22)$$

$$R_B = Q_K(l) - H_K \cdot \text{tg}\beta. \quad (23)$$

Прогиб нити, включающий ее упругую деформацию и кинематическое перемещение, можно представить в виде функции от абсциссы x :

$$w(x) = y_K(x) - y_H(x), \quad (24)$$

где $y_K(x)$ – значение ординаты сечения линии равновесия нити от совместного действия начальной $q_H(x)$ и дополнительной $qД(x)$ нагрузки, $y_H(x)$ – значение ординаты сечения линии равновесия нити от действия начальной $q_H(x)$ нагрузки или собственного веса в случае ее отсутствия.

В качестве оценки достоверности предложенной методики проведем сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния нити, определяемого различными методами расчета. Рассмотрим кубическое уравнение В.К. Качурина, метод конечных элементов и предложенную методику на примере задачи, расчетная схема которой представлена на рис. 3.

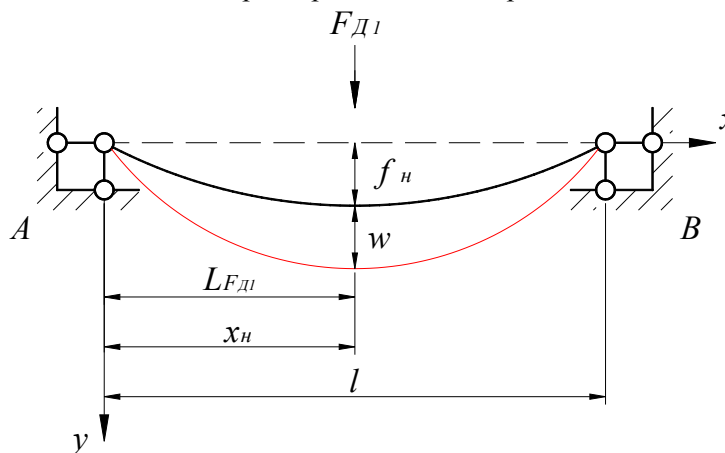


Рис. 3. Расчетная схема гибкой нити: — — начальное состояние линии равновесия нити; — — конечное состояние линии равновесия нити от внешнего воздействия

Гибкая нить с опорами на одном уровне пролетом $l=1,09$ м, сечение $A=3,58 \times 10^{-6}$ м², выполненная из стали с модулем упругости $E=167057,433$ МПа, погонный вес нити $q_H=0,27556$ Н/м, нагружена сосредоточенной нагрузкой $F_{Дl}=49,05$ Н с привязкой $L_{FДl}=0,545$ м (нагрузка, вызывающая начальное очертание нити q_H отсутствует).

Примем за основные критерии сравнения продольное усилие нити T_K и прогиб $w(x_H)$. Для этого решим ряд задач, последовательно приравнивая первоначальную стрелу провеса нити f_H в сечении с абсциссой $x_H=0,545$ м к долям от пролета нити.

Расчет методом конечных элементов выполнен в программном комплексе «ЛИРА» версия 9.6 релиз R9. Конструкция моделировалась конечными элементами нити (тип 310), разбивка производилась на 20 конечных элементов. Длина заготовки больше расстояния между опорами, поэтому начальная геометрия определялась по специальной программе «цепная линия», входящей в программный комплекс «ЛИРА». Расчет выполнен шаговым нелинейным процессором, предназначенным для решения физически и геометрически нелинейных, а также контактных задач [7].

Результаты расчета по вышеуказанным методикам отражены на рис. 4 и 5.

Из гистограммы зависимости, представленной на рис. 4, видно, что изменение отношения первоначальной стрелы провеса к пролету нити f_H/l , не повлияло на величину продольного усилия в нити T_K , определенного рассматриваемыми методами.

Зависимость, представленная на рис. 5, показывает, что при малых отношениях первоначальной стрелы провеса к пролету нити f_H/l , значения прогиба $w(x_H)$, определяемые по всем трем методикам, равны, однако с увеличением отношения f_H/l прогиб $w(x_H)$, определяемый по известной методике расчета пологих гибких нитей, резко расходится со значениями, полученными методом конечных элементов и предложенной методикой, причем прогибы, рассчитанные двумя последними методами, остаются близкими по значению.

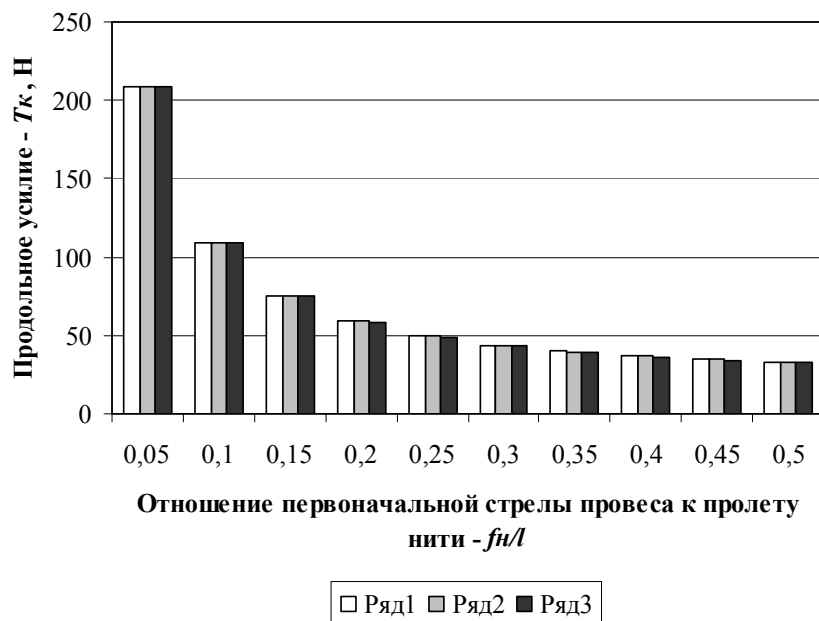


Рис. 4. Гистограмма зависимости продольного усилия T_k от отношения первоначальной стрелы провеса к пролету нити f_H/l : Ряд 1 – предложенная методика; Ряд 2 – метод конечных элементов; Ряд 3 – методика В.К. Качурина



Рис. 5. Гистограмма зависимости прогиба $w(x_H)$ от отношения первоначальной стрелы провеса к пролету нити f_H/l : Ряд 1 – предложенная методика; Ряд 2 – метод конечных элементов; Ряд 3 – методика В.К. Качурина

Проведем сопоставление статистических показателей, полученных с использованием программы *Excel*, результатов по разным методикам расчета относительно метода конечных элементов. В таблице приведены статистические показатели.

Статистические показатели

Показатели	Сопоставление предложенной методики и метода конечных элементов		Сопоставление методики В.К. Качурина и метода конечных элементов	
	T_K	$w(x_H)$	T_K	$w(x_H)$
Коэффициент корреляции R	1	1	1	0,99184
F-тест	0,99118	0,97374	0,99033	0,28256
Chi ² -тест	1	1	1	0,00597

Анализ коэффициентов корреляции показывает высокую коррелированность всех рассматриваемых моделей. При этом значения F-тест и Chi²-тест сопоставления результатов расчета по предложенной методике с методом конечных элементов показали значения указанных статистических показателей, близкие к единице, т.е. их различия крайне малы.

В то же время сопоставление результатов расчета по методике В.К. Качурина с методом конечных элементов для указанных статистических показателей имеют низкие значения, свидетельствующие о существенном расхождении результатов. Только продольное усилие T_K не имеет существенного расхождения результата по Chi²-тест между методикой В.К. Качурина и методом конечных элементов.

Из этого можно сделать вывод, что предложенная математическая модель по определению напряженно-деформированного состояния стальных канатов дает возможность вести расчет как с малыми, так и с большими первоначальными стрелами провеса в отличие от известных методик по расчету пологих гибких нитей. Данные, полученные с помощью предложенной методики, хорошо согласуются с результатами метода конечных элементов на всем интервале изменения отношения первоначальной стрелы провеса к пролету нити f_H/l .

ЛИТЕРАТУРА

1. Качурин В.К. Теория висячих систем / В.К. Качурин. Л.: Госстройиздат, 1962. 223 с.
2. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. А.А. Уманского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1972. 600 с.
3. Макаров Е.Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad / Е.Г. Макаров. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев; под ред. Г. Гроше, В. Циглера. М.: Наука, 1980. 976 с.
5. Белен, Е.И. Металлические конструкции: спецкурс: учеб. пособие для вузов / Е.И. Беленя, Н.Н. Стрелецкий, Г.С. Ведеников [и др.]; под общ. ред. Е.И. Беленя. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991. 687 с.
6. Качурин В.К. Проектирование висячих и вантовых мостов / В.К. Качурин, А.В. Брагин, Б.Г. Ерунов; под общ. ред. В.К. Качурина. М.: Транспорт, 1971. 280 с.
7. Лири 9.4. Руководство пользователя. Основы: учеб. пособие / Е.Б. Стрелец-Стрелецкий, В.Е. Боговис, Ю.В. Гензерский [и др.]. Киев: Факт, 2008. 164 с.

Тарасов Денис Александрович – соискатель кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Пензенского государственного технологического университета

Denis A. Tarasov – Degree Candidate
Department of Theoretical and Applied Mechanics,
Penza State Technological University

Коновалов Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Пензенского государственного технологического университета

Vladimir V. Konovalov – Dr. Sc., Professor
Department of Theoretical and Applied Mechanics,
Penza State Technological University

Зайцев Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» Пензенского государственного технологического университета

Vladimir Yu. Zaitsev – Ph. D., Associate Professor,
Head: Department of Theoretical and Applied
Mechanics,
Penza State Technological University

К.Ф. Шагивалеев, Е.К. Сурнина, С.В. Васильцов

РАСЧЕТ ЗАМКНУТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК НА НАГРУЗКУ, ДЕЙСТВУЮЩУЮ В ТАНГЕНЦИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Рассмотрена замкнутая цилиндрическая оболочка под действием тангенциальной нагрузки. При решении системы дифференциальных уравнений технической теории оболочек Власова использовано операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа. Решения получены в общем виде.

Оболочка, нагрузка, система, уравнение, операционное исчисление, оригинал, изображение, решение, перемещение

C.F. Shagivaleev, E.C. Surnina, S.V. Vasiltsov

CALCULATION OF THE CLOSED CYLINDRICAL COVER ACCORDING TO THE TECHNICAL THEORY OF COVERS ON LOADING OPERATING IN THE TANGENTIAL DIRECTION

The closed cylindrical cover under the influence of tangential loading is considered. When deciding the system of differential equations to the Vlasov technical theory of covers, the operational calculation connected with Laplace transformation was used. The general solution to the equation was received.

Cover, loading, system, equation, operational calculation, original, image, solution, movement

Многие современные сооружения можно рассматривать как тонкостенные упругие оболочки, контактирующие между собой, либо с различными подкрепляющими элементами. При решении большинства контактных задач учитываются только нормальные контактные усилия. Однако, во многих случаях в зависимости от конструктивных решений сопряжений контактирующих тел помимо нормальных контактных усилий необходимо учитывать возникающие в области контакта тангенциальные контактные усилия.

В настоящее время в научной литературе имеется небольшое число работ, посвященных расчету замкнутых цилиндрических оболочек при действии тангенциальной нагрузки. Решению указанной проблемы и посвящена данная работа.

Рассмотрим замкнутую цилиндрическую оболочку под действием тангенциальной нагрузки $Y = Y(\alpha, \beta)$, распределенной по поверхности оболочки по закону (рис. 1):

$$Y(\alpha, \beta) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq \alpha < \tau; \\ q_1 \sin n \beta, & \text{при } \tau \leq \alpha \leq \tau + \alpha_1; \\ 0, & \text{при } \tau + \alpha_1 < \alpha \leq \alpha_0, \end{cases} \quad (1)$$

где n – любой член натурального ряда.

Примем, что оболочка при $\alpha = 0$ и $\alpha = \alpha_0$ имеет шарнирные закрепления ($v = w = N_1 = M_1 = 0$).

Для определения напряженно деформированного состояния оболочки используем уравнения моментной технической теории оболочек Власова [1].

В случае, когда граничные условия заданы в перемещениях, удобнее использовать исходные уравнения в перемещениях:

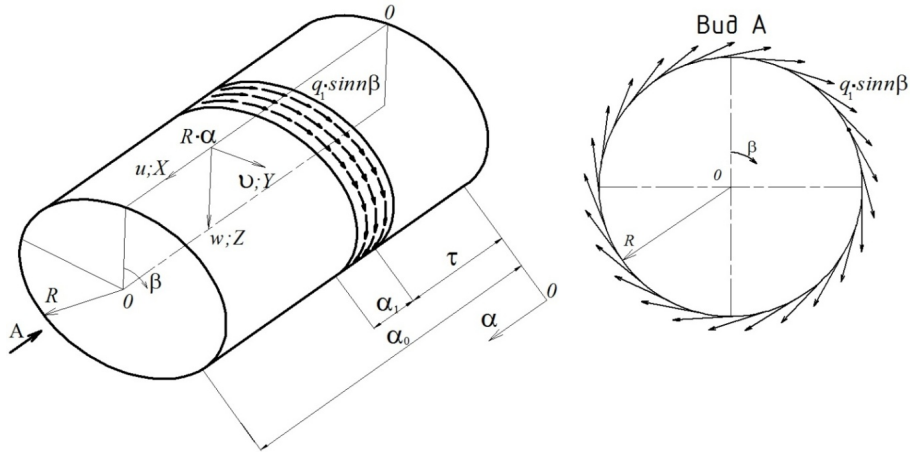


Рис. 1

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial \alpha^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \beta^2} + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial \alpha \partial \beta} - \nu \frac{\partial w}{\partial \alpha} &= 0; \\ \frac{\partial^2 v}{\partial \beta^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial \alpha^2} + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \alpha \partial \beta} - \frac{\partial w}{\partial \beta} &= -\frac{(1-\nu^2)R^2}{Eh} Y; \\ -\nu \frac{\partial u}{\partial \alpha} - \frac{\partial v}{\partial \beta} + c^2 \nabla^2 \nabla^2 w + w &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где $c^2 = \frac{h^2}{12R^2}$;

$$\nabla^2 \nabla^2 = \frac{\partial^4}{\partial \alpha^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \frac{\partial^4}{\partial \beta^4} .$$

Основные функции $u(\alpha, \beta)$, $v(\alpha, \beta)$, $w(\alpha, \beta)$ определяем в виде:

$$\begin{aligned} u(\alpha, \beta) &= U_n(\alpha) \cos n\beta; \\ v(\alpha, \beta) &= V_n(\alpha) \sin n\beta; \\ w(\alpha, \beta) &= W_n(\alpha) \cos n\beta . \end{aligned} \quad (3)$$

Подставляя (3.) в (2), получим систему из трех дифференциальных уравнений относительно $U_n(\alpha)$, $V_n(\alpha)$, $W_n(\alpha)$:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 U_n}{d\alpha^2} - \frac{1-\nu}{2} n^2 U_n + \frac{1+\nu}{2} n \frac{dV_n}{d\alpha} - \nu \frac{dW_n}{d\alpha} &= 0; \\ -\frac{1+\nu}{2} n \frac{dU_n}{d\alpha} - n^2 V_n + \frac{1-\nu}{2} \frac{d^2 V_n}{d\alpha^2} + n W_n &= \\ = -\frac{1-\nu^2}{Eh} R^2 \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq \alpha < \tau; \\ q_1, & \text{при } \tau \leq \alpha \leq \tau + \alpha_1; \\ 0, & \text{при } \tau + \alpha_1 < \alpha \leq \alpha_0; \end{cases} & (4) \\ -\nu \frac{dU_n}{d\alpha} - n V_n + c^2 \left[\frac{d^4 W_n}{d\alpha^4} - 2n^2 \frac{d^2 W_n}{d\alpha^2} + n^4 W_n \right] + W_n &= 0 . \end{aligned}$$

Для определения $U_n(\alpha)$, $V_n(\alpha)$, $W_n(\alpha)$ применим операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа [2].

Речь будет идти исключительно о вычислении n -го члена, поэтому для упрощения обозначений мы будем опускать значки n .

Полагая $U(\alpha) \Leftrightarrow U(p)$, $V(\alpha) \Leftrightarrow V(p)$, $W(\alpha) \Leftrightarrow W(p)$ и учитывая граничные условия при $\alpha = 0$ ($v = w = N_1 = M_1 = 0$), по теореме дифференцирования оригинала получим:

$$\begin{aligned}
 U'(\alpha) &\Leftrightarrow pU(p) - U(0); \\
 U''(\alpha) &\Leftrightarrow p^2U(p) - pU(0); \\
 V'(\alpha) &\Leftrightarrow pV(p); \\
 V''(\alpha) &\Leftrightarrow p^2V(p) - V'(0); \\
 W'(\alpha) &\Leftrightarrow pW(p); \\
 W''(\alpha) &\Leftrightarrow p^2W(p) - W'(0); \\
 W'''(\alpha) &\Leftrightarrow p^3W(p) - pW'(0); \\
 W^{IV}(\alpha) &\Leftrightarrow p^4W(p) - p^2W'(0) - W'''(0),
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где $U(0)$, $V'(0)$, $W'(0)$, $W'''(0)$ – произвольные постоянные.

Изображение правой части второго уравнения (4) имеет вид:

$$\frac{1-v^2}{Eh} q_1 R^2 \frac{1-e^{-p\alpha_1}}{p} e^{-\tau p}.
 \tag{6}$$

Переходя в уравнениях (4) от оригиналов к изображениям (5), (6), получим систему операторных уравнений:

$$\begin{aligned}
 &\left(p^2 - \frac{1-v}{2} n^2 \right) U(p) + \frac{1+v}{2} n p V(p) - v p W(p) = p U(0); \\
 &- \frac{1+v}{2} n p U(p) + \left(\frac{1-v}{2} p^2 - n^2 \right) V(p) + n W(p) = \\
 &= - \frac{(1-v)^2 q_1 R^2}{Eh} \cdot \frac{1-e^{-p\alpha_1}}{p} e^{-\tau p} - \frac{1+v}{2} n U(0) + \frac{1-v}{2} V'(0); \\
 &- v p U(p) - n V(p) + \left[c^2 (p^2 - n^2)^2 + 1 \right] W(p) = \\
 &= -v U(0) + c^2 (p^2 - 2n^2) W'(0) + c^2 W'''(0).
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Решая эту систему, находим:

$$\begin{aligned}
 W(p) &= \left\{ - \frac{(1-v)^2 q_1 R^2}{E h c^2} n \left[(2+v)p^2 - n^2 \right] \frac{1-e^{-p\alpha_1}}{p} e^{-\tau p} + \right. \\
 &+ \frac{1-v}{2} \frac{n^2}{c^2} (v p^2 + n^2) U(0) + \frac{1-v}{2} \frac{n}{c^2} \left[(2+v)p^2 - n^2 \right] V'(0) + \\
 &\left. + (p^6 - 4n^2 p^4 + 5n^4 p^2 - 2n^6) W'(0) + (p^2 - n^2)^2 W'''(0) \right\} \times \frac{1}{(p^2 - n^2)^4 + 4\omega}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 U(p) = & \left\{ \frac{(1+\nu)q_1 R^2}{Eh} n \left[(1+\nu)(p^2 - n^2)^2 + \frac{1-\nu}{c^2} \right] (1 - e^{-p\alpha_1}) e^{-\tau p} - \right. \\
 & - \left[\frac{3+\nu}{2} n^2 p (p^2 - n^2)^2 - p^3 (p^2 - n^2)^2 - \frac{1-\nu}{2c^2} n^2 p - \frac{1-\nu^2}{c^2} p^3 \right] U(0) - \\
 & - \frac{1}{2c^2} \left[(1+\nu)c^2 (p^2 - n^2)^2 + (1-\nu) \right] n p V'(0) + \\
 & + p \left[\nu p^4 + (1-2\nu)n^2 p^2 - 2n^4 \right] W'(0) + p(\nu p^2 + n^2) W''''(0) \left. \right\} \times \\
 & \times \frac{1}{(p^2 - n^2)^4 + 4\omega^4 p^4}; \\
 V(p) = & \left\{ -2(1+\nu) \frac{q_1 R^2}{Eh} \left[p^2 (p^2 - n^2)^2 - \frac{1-\nu}{2} n^2 (p^2 - n^2)^2 + 4\omega^4 p^2 - \frac{1-\nu}{2c^2} n^2 \right] \times \right. \\
 & \times \frac{1 - e^{-p\alpha_1}}{p} e^{-\tau p} + \frac{1}{2c^2} \left[(1+\nu)c^2 (p^2 - n^2)^2 + (1-\nu) \right] n^3 U(0) + \\
 & + \left[p^2 (p^2 - n^2)^2 + 4\omega^4 p^2 - \frac{1-\nu}{2} n^2 (p^2 - n^2)^2 - \frac{1-\nu}{2} n^2 \right] V'(0) - \\
 & - n \left[(2+\nu)p^4 - (5+2\nu)n^2 p^2 + 2n^4 \right] W'(0) - \\
 & \left. - \left[(2+\nu)p^2 - n^2 \right] \right\} \frac{1}{(p^2 - n^2)^4 + 4\omega^4 p^4}.
 \end{aligned}$$

где $4\omega^4 = \frac{1-\nu^2}{c^2}$.

Переходим в выражениях (8) от изображений к оригиналам. Формулы перехода приведены в [3, 4]. Подставляя найденные выражения для $U(\alpha)$, $V(\alpha)$, $W(\alpha)$ в (3), получим искомое решение:

$$\begin{aligned}
 u(\alpha, \beta) = & \frac{\cos n\beta}{8(1+\nu)\omega^3 n^3 (a^2 + b^2)} \left\{ \left\{ 2(1+\nu)\omega^2 \frac{q_1 R^2}{Eh n^2} \times \right. \right. \\
 & \times \left[(g_1 \bar{Z}_2 + g_2 \bar{Z}_3 + g_3 \bar{\theta}_2 + g_4 \bar{\theta}_3) \eta(\alpha - \tau) - \right. \\
 & \left. \left. - (g_1 \bar{\bar{Z}}_2 + g_2 \bar{\bar{Z}}_3 + g_3 \bar{\bar{\theta}}_2 + g_4 \bar{\bar{\theta}}_3) \eta(\alpha - \tau - \alpha_1) \right] \right\} + \\
 & + \omega^2 n (g_{21} Z_4 + g_{22} Z_1 - g_{23} \theta_4 - g_{24} \theta_1) U(0) + \\
 & + \omega^2 (g_9 Z_4 + g_{10} Z_1 + g_{11} \theta_4 + g_{12} \theta_1) V'(0) - \\
 & - (1+\nu) n^3 (g_{25} Z_4 - g_{26} Z_1 - g_{27} \theta_4 + g_{28} \theta_1) W'(0) - \\
 & - (1+\nu) n (\zeta_{17} Z_4 + \zeta_{18} Z_1 + \zeta_{19} \theta_4 + \zeta_{20} \theta_1) W''''(0) \left. \right\}; \\
 v(\alpha, \beta) = & \frac{\sin n\beta}{8(1+\nu)\omega^3 n^4 (a^2 + b^2)} \left\{ -2(1+\nu)\omega^2 \frac{q_1 R^2}{Eh n^2} \times \right.
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 & \times \left\{ \left[-4(1-\nu^2)\omega n^4(a^2+b^2) - 16\omega^5(a^2+b^2) + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + (g_{13}\bar{Z}_4 + g_{14}\bar{Z}_1 - g_{15}\bar{\theta}_4 - g_{16}\bar{\theta}_1) \right] \eta(\alpha-\tau) - \right. \\
 & \quad \left. - \left[-4(1-\nu^2)\omega n^4(a^2+b^2) - 16\omega^5(a^2+b^2) + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + g_{13}\bar{\bar{Z}}_4 + g_{14}\bar{\bar{Z}}_1 - g_{15}\bar{\bar{\theta}}_4 - g_{16}\bar{\bar{\theta}}_1 \right] \eta(\alpha-\tau-\alpha_1) \right\} + \\
 & \quad + \omega^2 n (g_1 Z_2 + g_2 Z_3 + g_3 \theta_2 + g_4 \theta_3) U(0) + \\
 & \quad + \omega^2 (g_{17} Z_2 + g_{18} Z_3 + g_{19} \theta_2 + g_{20} \theta_3) V'(0) - \\
 & \quad - (1+\nu) n^3 (g_{29} Z_2 + g_{30} Z_3 + g_{31} \theta_2 + g_{32} \theta_3) W'(0) - \\
 & \quad - (1+\nu) n (\zeta_{22} Z_2 + \zeta_{21} Z_3 + \zeta_{24} \theta_2 + \zeta_{23} \theta_3) W''''(0); \\
 & \quad w(\alpha, \beta) = \frac{\cos n\beta}{4(1+\nu)\omega n^3(a^2+b^2)} \left\langle 2(1+\nu)\omega^2 \frac{q_1 R^2}{E h n^2} \times \right. \\
 & \quad \times \left\{ \left[8\omega^3(a^2+b^2) - \zeta_5 \bar{Z}_4 - \zeta_6 \bar{Z}_1 - \zeta_7 \bar{\theta}_4 - \zeta_8 \bar{\theta}_1 \right] \eta(\alpha-\tau) - \right. \\
 & \quad \left. - \left[8\omega^3(a^2+b^2) - \zeta_5 \bar{\bar{Z}}_4 - \zeta_6 \bar{\bar{Z}}_1 - \zeta_7 \bar{\bar{\theta}}_4 - \zeta_8 \bar{\bar{\theta}}_1 \right] \eta(\alpha-\tau-\alpha_1) \right\} + \\
 & \quad + \omega^2 n (g_{33} Z_2 + g_{34} Z_3 + g_{35} \theta_2 + g_{36} \theta_3) U(0) + \\
 & \quad + \omega^2 (\zeta_{22} Z_2 + \zeta_{21} Z_3 + \zeta_{24} \theta_2 + \zeta_{23} \theta_3) V'(0) + \\
 & \quad + (1+\nu) n^3 \left[(3\omega b - a^2 - b^2) Z_2 + (3\omega a - a^2 - b^2) Z_3 - \right. \\
 & \quad \left. - (3\omega b + a^2 + b^2) \theta_2 - (3\omega a + a^2 + b^2) \theta_3 \right] W'(0) + \\
 & \quad \left. + (1+\nu) n (-\zeta_{13} Z_2 + \zeta_{14} Z_3 - \zeta_{15} \theta_2 + \zeta_{16} \theta_3) W''''(0) \right\rangle,
 \end{aligned}$$

где $\eta(\alpha-\tau)$ – единичная функция, которая при $\alpha \geq \tau$ равна 1 и при $\alpha < \tau$ равна 0; $\eta(\alpha-\tau-\alpha_1)$ – единичная функция, которая при $\alpha \geq \tau + \alpha_1$ равна 1 и при $\alpha < \tau + \alpha_1$ равна 0;

$$a = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{n^4 + \frac{1}{4}\omega^4 + n^2} \right)}; \quad b = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{n^4 + \frac{1}{4}\omega^4 - n^2} \right)};$$

$$\chi_1 = \frac{1}{2}\omega + b; \quad \chi_2 = \frac{1}{2}\omega + a; \quad \chi_3 = \frac{1}{2}\omega - b; \quad \chi_4 = \frac{1}{2}\omega - a;$$

$$Z_1 = \cos \chi_1 \alpha \operatorname{ch} \chi_2 \alpha; \quad \theta_1 = \cos \chi_3 \alpha \operatorname{ch} \chi_4 \alpha;$$

$$Z_2 = \sin \chi_1 \alpha \operatorname{ch} \chi_2 \alpha; \quad \theta_2 = \sin \chi_3 \alpha \operatorname{ch} \chi_4 \alpha;$$

$$Z_3 = \cos \chi_1 \alpha \operatorname{sh} \chi_2 \alpha; \quad \theta_3 = \cos \chi_3 \alpha \operatorname{sh} \chi_4 \alpha;$$

$$Z_4 = \sin \chi_1 \alpha \operatorname{sh} \chi_2 \alpha; \quad \theta_4 = \sin \chi_3 \alpha \operatorname{sh} \chi_4 \alpha;$$

$$\bar{Z}_1 = \cos \chi_1 (\alpha - \tau) \operatorname{ch} \chi_2 (\alpha - \tau); \quad \bar{\theta}_1 = \cos \chi_3 (\alpha - \tau) \operatorname{ch} \chi_4 (\alpha - \tau);$$

$$\begin{aligned}
 \bar{Z}_2 &= \sin \chi_1(\alpha - \tau)ch \chi_2(\alpha - \tau); & \bar{\theta}_2 &= \sin \chi_3(\alpha - \tau)ch \chi_4(\alpha - \tau); \\
 \bar{Z}_3 &= \cos \chi_1(\alpha - \tau)sh \chi_2(\alpha - \tau); & \bar{\theta}_3 &= \cos \chi_3(\alpha - \tau)sh \chi_4(\alpha - \tau); \\
 \bar{Z}_4 &= \sin \chi_1(\alpha - \tau)sh \chi_2(\alpha - \tau); & \bar{\theta}_4 &= \sin \chi_3(\alpha - \tau)sh \chi_4(\alpha - \tau); \\
 \bar{\bar{Z}}_1 &= \cos \chi_1(\alpha - \tau - \alpha_1)ch \chi_2(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{Z}}_2 &= \sin \chi_1(\alpha - \tau - \alpha_1)ch \chi_2(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{Z}}_3 &= \cos \chi_1(\alpha - \tau - \alpha_1)sh \chi_2(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{Z}}_4 &= \sin \chi_1(\alpha - \tau - \alpha_1)sh \chi_2(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{\theta}}_1 &= \cos \chi_3(\alpha - \tau - \alpha_1)ch \chi_4(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{\theta}}_2 &= \sin \chi_3(\alpha - \tau - \alpha_1)ch \chi_4(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{\theta}}_3 &= \cos \chi_3(\alpha - \tau - \alpha_1)sh \chi_4(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \bar{\bar{\theta}}_4 &= \sin \chi_3(\alpha - \tau - \alpha_1)sh \chi_4(\alpha - \tau - \alpha_1); \\
 \zeta_5 &= (1 + \nu)n^4(a - b) - 2\nu\omega n^2(a^2 + b^2) - (2 - \nu)\omega^2 n^2(a + b) + 2\omega^4(a - b); \\
 \zeta_6 &= -(1 + \nu)n^4(a + b) + 4\omega^3(a^2 + b^2) - (2 - \nu)\omega^2 n^2(a - b) - 2\omega^4(a + b); \\
 \zeta_7 &= -(1 + \nu)n^4(a - b) - 2\nu\omega n^2(a^2 + b^2) + (2 - \nu)\omega^2 n^2(a + b) - 2\omega^4(a - b); \\
 \zeta_8 &= (1 + \nu)n^4(a + b) + 4\omega^3(a^2 + b^2) + (2 - \nu)\omega^2 n^2(a - b) + 2\omega^4(a + b); \\
 \zeta_9 &= -\zeta_{11} = -2\omega^2[n^2(a + b) - \omega^2(a - b)]; \\
 \zeta_{10} &= 2\omega^2[2\omega(a^2 + b^2) - n^2(a - b) - \omega^2(a + b)]; \\
 \zeta_{12} &= 2\omega^2[2\omega(a^2 + b^2) + n^2(a - b) + \omega^2(a + b)]; \\
 \zeta_{13} &= \omega b - (a^2 + b^2); \\
 \zeta_{14} &= -\omega a + (a^2 + b^2); \\
 \zeta_{15} &= -\omega b - (a^2 + b^2); \\
 \zeta_{16} &= \omega a + (a^2 + b^2); \\
 \zeta_{17} &= -\omega^2(a + b) + 2\omega(a^2 + b^2) - (1 + \nu)n^2(a - b); \\
 \zeta_{18} &= -\zeta_{20} = -\omega^2(a - b) + (1 + \nu)n^2(a + b); \\
 \zeta_{19} &= \omega^2(a + b) + 2\omega(a^2 + b^2) + (1 + \nu)n^2(a - b); \\
 \zeta_{21} &= -2\omega^2(a^2 + b^2) - (1 - \nu)\omega n^2 b + 2\omega^3 a - (1 + \nu)n^2(a^2 + b^2);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\zeta_{22} &= -2\omega^2(a^2 + b^2) + (1 - \nu)\omega n^2 a + 2\omega^3 b + (1 + \nu)n^2(a^2 + b^2); \\
\zeta_{23} &= -2\omega^2(a^2 + b^2) + (1 - \nu)\omega n^2 b - 2\omega^3 a - (1 + \nu)n^2(a^2 + b^2); \\
\zeta_{24} &= -2\omega^2(a^2 + b^2) - (1 - \nu)\omega n^2 a - 2\omega^3 b + (1 + \nu)n^2(a^2 + b^2); \\
\zeta_{25} &= (1 - \nu)\omega a - (1 + \nu)(a^2 + b^2); \\
\zeta_{26} &= -(1 - \nu)\omega b + (1 + \nu)(a^2 + b^2); \\
\zeta_{27} &= -(1 - \nu)\omega a - (1 + \nu)(a^2 + b^2); \\
\zeta_{28} &= (1 - \nu)\omega b + (1 + \nu)(a^2 + b^2); \\
\zeta_{29} &= -\zeta_{31} = -\omega^2(a - b) - (1 + \nu)n^2(a + b); \\
\zeta_{30} &= -\omega^2(a + b) + 2\omega(a^2 + b^2) + (1 + \nu)n^2(a - b); \\
\zeta_{32} &= \omega^2(a + b) + 2\omega(a^2 + b^2) - (1 + \nu)n^2(a - b); \\
g_1 &= (1 + \nu)^2 n^4(a^2 + b^2) - (1 + \nu)^2 \omega n^4 b + 2\omega^2 n^2(a^2 + b^2) - \\
&\quad - 6\omega^3 n^2 a - 4\omega^5 b + 4\omega^4(a^2 + b^2); \\
g_2 &= (1 + \nu)^2 n^4(a^2 + b^2) - (1 + \nu)^2 \omega n^4 a - 2\omega^2 n^2(a^2 + b^2) + \\
&\quad + 6\omega^3 n^2 b - 4\omega^5 a + 4\omega^4(a^2 + b^2); \\
g_3 &= (1 + \nu)^2 n^4(a^2 + b^2) + (1 + \nu)^2 \omega n^4 b + 2\omega^2 n^2(a^2 + b^2) + \\
&\quad + 6\omega^3 n^2 a + 4\omega^5 b + 4\omega^4(a^2 + b^2); \\
g_4 &= (1 + \nu)^2 n^4(a^2 + b^2) + (1 + \nu)^2 \omega n^4 a - 2\omega^2 n^2(a^2 + b^2) - \\
&\quad - 6\omega^3 n^2 b + 4\omega^5 a + 4\omega^4(a^2 + b^2); \\
g_5 &= (1 + \nu)(3 - \nu)\omega n^2 b + 2\omega^2(a^2 + b^2) - 2\omega^3 a - (1 + \nu)^2 n^2(a^2 + b^2); \\
g_6 &= (1 + \nu)(3 - \nu)\omega n^2 a - 2\omega^2(a^2 + b^2) + 2\omega^3 b - (1 + \nu)^2 n^2(a^2 + b^2); \\
g_7 &= -(1 + \nu)(3 - \nu)\omega n^2 b + 2\omega^2(a^2 + b^2) + 2\omega^3 a - (1 + \nu)^2 n^2(a^2 + b^2); \\
g_8 &= (1 + \nu)(3 - \nu)\omega n^2 a + 2\omega^2(a^2 + b^2) + 2\omega^3 b + (1 + \nu)^2 n^2(a^2 + b^2); \\
g_9 &= -(1 + \nu)^2 n^4(a + b) - 2\omega^2 n^2(a - b) + 4\omega^3(a^2 + b^2) - 2\omega^4(a + b); \\
g_{10} &= (a - b)[-(1 + \nu)^2 n^4 + 2\omega^2(a^2 + b^2) - \omega^4]; \\
g_{11} &= (1 + \nu)^2 n^4(a + b) + 2\omega^2 n^2(a - b) + 4\omega^3(a^2 + b^2) + 2\omega^4(a + b); \\
g_{12} &= (a - b)[(1 + \nu)^2 n^4 - 2\omega^2(a^2 + b^2) + \omega^4]; \\
g_{13} &= (1 + \nu)^2 n^6(a + b) + (3 + 4\nu - \nu^2)\omega^2 n^4(a - b) - 8\nu\omega^3 n^2(a^2 + b^2) -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -4(1-\nu)\omega^4 n^2(a+b)+4\omega^6(a-b); \\
 g_{14} &= (1+\nu)^2 n^6(a-b)-(3+4\nu-\nu^2)\omega^2 n^4(a+b)+ \\
 & +2(1-\nu^2)\omega n^4(a^2+b^2)-4(1-\nu)\omega^4 n^2(a-b)-4\omega^6(a+b)+8\omega^5(a^2+b^2); \\
 g_{15} &= (1+\nu)^2 n^6(a+b)+(3+4\nu-\nu^2)\omega^2 n^4(a-b)+8\nu\omega^3 n^2(a^2+b^2)- \\
 & -4(1-\nu)\omega^4 n^2(a+b)+4\omega^6(a-b); \\
 g_{16} &= (1+\nu)^2 n^6(a-b)-(3+4\nu-\nu^2)\omega^2 n^4(a+b)- \\
 & -2(1-\nu^2)\omega n^4(a^2+b^2)-4(1-\nu)\omega^4 n^2(a-b)-4\omega^6(a+b)-8\omega^5(a^2+b^2); \\
 g_{17} &= (1+\nu)(3-\nu)\omega n^4 b+(1+\nu)^2 n^4(a^2+b^2)+4\omega^5 b+ \\
 & +2(1+2\nu)\omega^2 n^2(a^2+b^2)+2(1-2\nu)\omega^3 n^2 a-4\omega^4(a^2+b^2); \\
 g_{18} &= (1+\nu)(3-\nu)\omega n^4 a+(1+\nu)^2 n^4(a^2+b^2)+4\omega^5 a- \\
 & -2(1+2\nu)\omega^2 n^2(a^2+b^2)-2(1-2\nu)\omega^3 n^2 b-4\omega^4(a^2+b^2); \\
 g_{19} &= -(1+\nu)(3-\nu)\omega n^4 b+(1+\nu)^2 n^4(a^2+b^2)-4\omega^5 b+ \\
 & +2(1+2\nu)\omega^2 n^2(a^2+b^2)-2(1-2\nu)\omega^3 n^2 a-4\omega^4(a^2+b^2); \\
 g_{20} &= -(1+\nu)(3-\nu)\omega n^4 a+(1+\nu)^2 n^4(a^2+b^2)-4\omega^5 a- \\
 & -2(1+2\nu)\omega^2 n^2(a^2+b^2)+2(1-2\nu)\omega^3 n^2 b-4\omega^4(a^2+b^2); \\
 g_{21} &= -(1+\nu)^2 n^4(a+b)+2(2+\nu)\omega^2 n^2(a-b)-4\omega^3(a^2+b^2)+2\omega^4(a+b); \\
 g_{22} &= -(1+\nu)^2 n^4(a-b)-2(2+\nu)\omega^2 n^2(a+b)+4(1+\nu)\omega n^2(a^2+b^2)+2\omega^4(a-b); \\
 g_{23} &= -(1+\nu)^2 n^4(a+b)+2(2+\nu)\omega^2 n^2(a-b)+4\omega^3(a^2+b^2)+2\omega^4(a+b); \\
 g_{24} &= -(1+\nu)^2 n^4(a-b)-2(2+\nu)\omega^2 n^2(a+b)-4(1+\nu)\omega n^2(a^2+b^2)+2\omega^4(a-b); \\
 g_{25} &= (1+\nu)n^2(a-b)+(2-\nu)\omega^2(a+b)-2(2+\nu)\omega(a^2+b^2); \\
 g_{26} &= (1+\nu)n^2(a+b)-(2-\nu)\omega^2(a-b); \\
 g_{27} &= (1+\nu)n^2(a-b)+(2-\nu)\omega^2(a+b)+2(2+\nu)\omega(a^2+b^2); \\
 g_{28} &= (1+\nu)n^2(a+b)-(2-\nu)\omega^2(a-b); \\
 g_{29} &= -(1+\nu)n^2(a^2+b^2)+(1+3\nu)\omega n^2 a-4\omega^3 b+4\omega^2(a^2+b^2); \\
 g_{30} &= (1+\nu)n^2(a^2+b^2)-(1+3\nu)\omega n^2 b-4\omega^3 a+4\omega^2(a^2+b^2); \\
 g_{31} &= -(1+\nu)n^2(a^2+b^2)-(1+3\nu)\omega n^2 a+4\omega^3 b+4\omega^2(a^2+b^2); \\
 g_{32} &= (1+\nu)n^2(a^2+b^2)+(1+3\nu)\omega n^2 b+4\omega^3 a+4\omega^2(a^2+b^2); \\
 g_{33} &= (1+\nu)n^2(a^2+b^2)-(3+\nu)\omega n^2 a-2\omega^3 b+2\omega^2(a^2+b^2); \\
 g_{34} &= -(1+\nu)n^2(a^2+b^2)+(3+\nu)\omega n^2 b-2\omega^3 a+2\omega^2(a^2+b^2);
 \end{aligned}$$

$$g_{35} = (1 + \nu)n^2(a^2 + b^2) + (3 + \nu)\omega n^2 a + 2\omega^3 b + 2\omega^2(a^2 + b^2);$$

$$g_{36} = -(1 + \nu)n^2(a^2 + b^2) - (3 + \nu)\omega n^2 b + 2\omega^3 a + 2\omega^2(a^2 + b^2).$$

Аналитические выражения (9) удовлетворяют условиям равновесия и граничным условиям при $\alpha = 0$. Другие четыре произвольные постоянные определяются в зависимости от граничных условий на другом конце оболочки. Имея u , v , w можно определить усилия и моменты [1].

Решения получены в общем виде. Они позволяют инженеру-проектировщику решать широкий класс практических задач как при расчете отдельной замкнутой цилиндрической оболочки при действии тангенциальной нагрузки, так и при рассмотрении различных контактных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В.З. Общая теория оболочек / В.З. Власов. М.; Л.: Гостехиздат, 1949. 784 с.
2. Араманович И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л. Э. Эльсгольд. М.: Наука, 1968. 416 с.
3. Шагивалеев К.Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К.Ф. Шагивалеев. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1991. 208 с.
4. Шагивалеев К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на радиальную нагрузку / К.Ф. Шагивалеев // Строительная механика и расчет сооружений. 1979. № 2. С. 16-20.

Шагивалеев Камилль Фатыхович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Camil F. Shagivaleev – Ph. D., Associate Professor
Department of Building Structures Theory,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Сурнина Елена Камилевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena K. Surnina – Ph. D., Associate Professor
Department of Building Structures Theory,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Васильцов Сергей Викторович – аспирант кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Sergei V. Vasiltsov – Postgraduate
Department of Building Structures Theory,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 19.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

ТРАНСПОРТ

УДК 6166:614:9:

Д.К. Кушалиев

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО ПРУЖИННОГО ВКЛАДЫША ВЗАМЕН ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ДЛЯ ПОДШИПНИКА ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В САЙЛЕНТБЛОКАХ АМОРТИЗАТОРОВ

Теоретически обосновывается изменение диаметра пружинного вкладыша подшипника скольжения под действием осевой нагрузки, влияющее на работоспособность подшипника.

Детали подшипников, пружинный вкладыш, эффект храповика, изменение диаметра вкладыша, упругий натяг вместо зазора

D.K. Kushaliev

THEORETICAL SUBSTANTIATION TO APPLICATION OF CONICAL SPRINGS INSTEAD OF CYLINDRICAL BUSHING FOR BEARING WITH RECIPROCATING ROTATIONAL MOTIONS

The paper theoretically substantiated the changes in the diameter of the spring bearing sliding under the influence of the axial load, which affects the efficiency of the bearing.

Details of bearings, spring inserts, ratchet effect, changing the diameter of the liner, instead of spring preload gap

Энергетической основой НОТ (нормального окислительного трения), как было показано Б.И. Костецким [1-3] и развито в наших работах [4-6, 10], является энергия пластической деформации (активация металла), которая частично реализуется скачкообразным возникновением пленки оксида металла. Энергетической основой ИП (избирательный перенос), как оказалось, также является микропластическая деформация, которая локализована при нормальном трении в поверхностном слое (1-2 мкм) и может реализоваться возникновением как защитной структуры в виде пленки оксида (при НОТ), так и мягкого металла (Cu, Ag, Au) при ИП.

В традиционных подшипниках, работающих с зазором, эти условия не выполняются. В связи с этим предложена конструкция подшипника скольжения для возвратно-вращательного движения, который состоит из вала 1, наружного кольца 2 и размещенного между ними спирального вкладыша 3 в виде винтовой пружины. Спиральный вкладыш выполнен подвижным, коническим с углом конуса от 1° до 5° при этом диаметр проволоки пружины d равен половине зазора между диаметром вала D и диаметром отверстия вкладыша $D+2d$. При этом он установлен с натягом по торцам, а также с натягом по внутренней и наружной поверхностям для обеспечения постоянства «эффекта храповика».

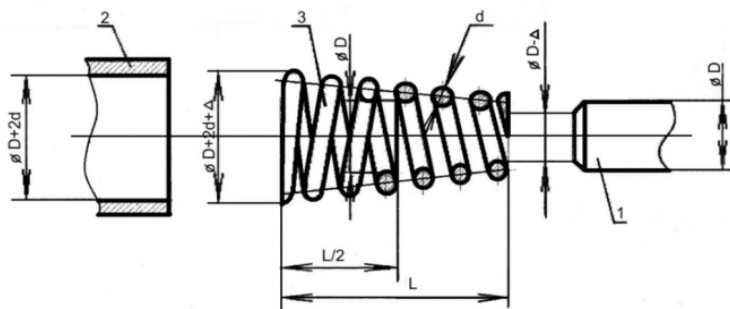


Рис. 1. Конический подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения

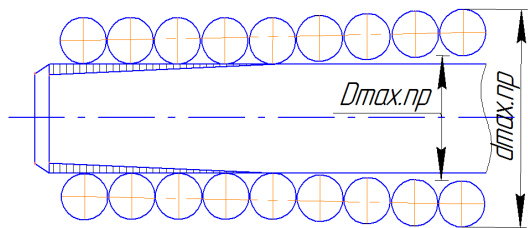


Рис. 2. Расположение пружины, надетой на вал с натягом на половине ее длины

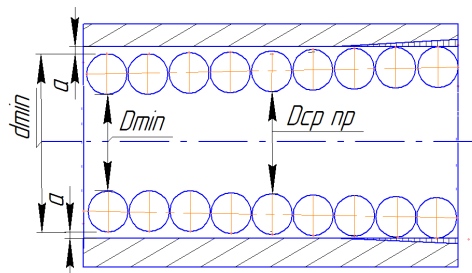


Рис. 3. Расположение пружины, вставленной во втулку с натягом на половине ее длины

Вкладыш находится между втулкой 1 и валом 2 (рис. 4). Изготавливаем коническую пружину, навивая проволоку на вал с образованием среднего диаметра $d_{ср.нр}$. Если коническая пружина надета на вал и находится во втулке, то обозначим ее диаметр на валу как $d_{ср.нр}$ на отверстие $D_{ср.нр}$.

$$a = (d_{вал} - d_{min.нр})/2 \quad a' = (d_{max.нр} - D_{ем})/2 \quad (1)$$

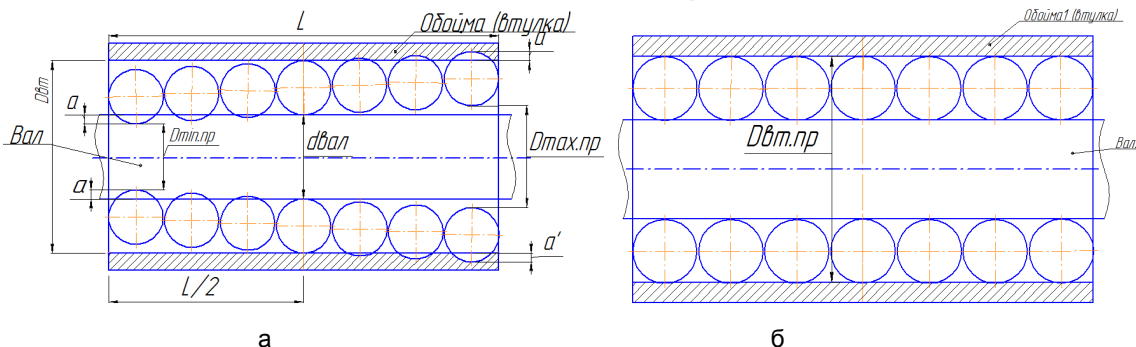


Рис. 4. Схемы расположения пружины:

- а – расположение пружины, если считать ее жесткой, а вал и втулку пластически деформируемыми;
- б – пружина жестко зажата между валом и втулкой (считаем детали недеформируемыми)

Изготовим коническую пружину и разместим ее между валом и втулкой, при этом будем считать, что материал вала и втулки не имеет возможности деформирования. При этом пружина займет на валу и втулке положение с неравномерным натягом по рабочим поверхностям. Диаметр проволоки равен половине зазора между диаметром вала и диаметром отверстия втулки, но поскольку пружина изготовлена конической, один из крайних диаметров пружины будет меньше, чем у вала, на 0,5 мм, а с другой стороны диаметр будет больше на 0,5 мм, чем у втулки (рис. 6). Тем самым создается упругий натяг, который распределяется не как обычно по всей поверхности, а убывает под углом 3° и к середине втулки и вала достигнет нулевого значения. С одной стороны – натяг на валу, а с другой стороны – натяг на втулке. Величина упругого натяга зависит от угла, с которым пружина изготовлена.

В данном случае натяг не постоянен по длине и поле допусков будет изображаться не прямоугольником, как обычно, а треугольником, и натяг будет переменным, как показано на рис. 5.

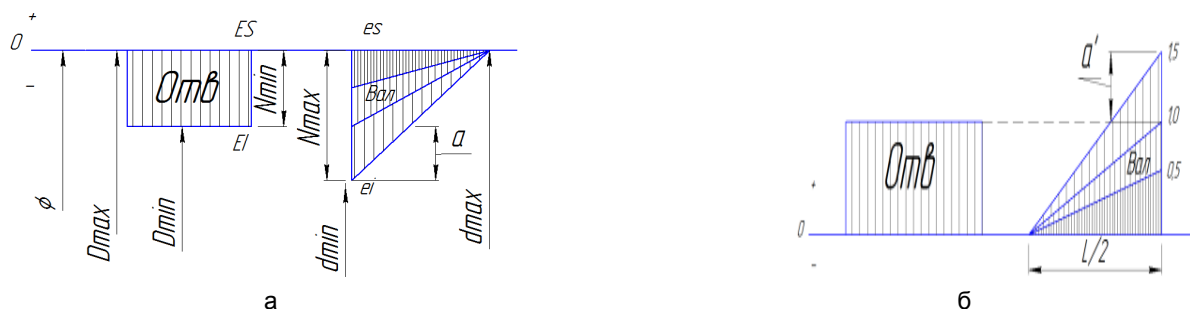


Рис. 5. Схема полей допусков для конической пружины: а – сопряжение пружины и отверстия; б – сопряжение пружины и вала

Цилиндрическая винтовая пружина, которой является пружинный вкладыш подшипника, представляет собой брус, ось которого располагается на поверхности образующего цилиндра по винтовой линии. Ось этого бруса, образующего винтовую пружину, определяется тремя независимыми параметрами, за которые удобно принять: D – диаметр образующего цилиндра (средний диаметр пружины); α – угол подъема оси винтового бруса; l – длина оси рабочей части винтового бруса (основной части, образующей рабочие витки). Эти величины называются основными параметрами пружины [7-9].

Уравнения оси бруса в цилиндрических координатах (рис. 6):

$$x = \frac{D}{2} \cos \varphi; y = \frac{D}{2} \sin \varphi; z = \frac{D \varphi}{2} \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

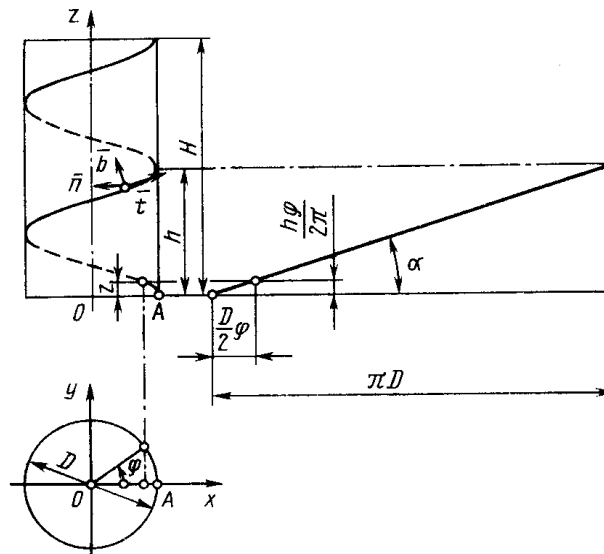


Рис. 6. Геометрические параметры цилиндрической винтовой пружины

Ось z направлена по оси пружины, ось x проходит через точку A , являющуюся началом отсчета длины l . Полярный угол φ отсчитываем от оси x .

Обозначим наибольший полярный угол как φ_i , тогда $\varphi_i = 2\pi i$, где i – число рабочих витков пружины.

Так как $\pi D i = \frac{D}{2} \varphi_i = l \cos \alpha$, то $\varphi_i = \frac{2l \cos \alpha}{D}$.

Отсюда можно выразить число рабочих витков пружины:

$$i = \frac{l \cos \alpha}{\pi D}. \quad (3)$$

Шаг оси винтового бруса

$$h = \pi D \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Длина рабочей части пружины

$$H = h i, \text{ или } H = l \sin \alpha. \quad (5)$$

Необходимая точность изготовления традиционной посадки требует применения высокоточного оборудования и дорогостоящего инструмента, что экономически невыгодно для изготовления пружинного вкладыша и сопрягаемых с ним деталей. Поэтому было предложено выполнить пружинный вкладыш коническим, а остальные сопрягаемые с ним поверхности деталей – цилиндрическими.

Фотографии изношенных деталей подшипникового узла крестовины со следами «ложного бринелирования» представлены на рис. 7. Модернизированная крестовина автомобиля ВАЗ «Нива» – на рис. 8.



Рис. 7. Внешний вид изношенных деталей («ложное бринелирование») подшипникового узла крестовины



Рис. 8. Модернизированные крестовины автомобиля ВАЗ «Нива»

Подавление окислительных процессов в предложенной конструкции легко достигается сальниковым уплотнением. Положительный эффект получается также за счет снижения адгезионной составляющей трения (трения покоя) и частичной реализации идей Н.Е. Жуковского «о движении без трения» (вращением промежуточной опоры) без использования для этого внешнего источника энергии. Подобный подшипник может найти широкое применение взамен игольчатых подшипников карданного вала, сайлентблоков подвески, шарниров рулевого управления и других шарнирных узлов, работающих в возвратно-вращательном режиме.

Пример применения конического пружинного вкладыша для сайлентблока амортизатора приведен на рис. 9.

В конструкцию поршня амортизатора внесены изменения, касающиеся поршневого кольца, выполненного по типу винтовой цилиндрической пружины с поджатыми витками (рис. 10). Материал такого кольца – проволока квадратного сечения из стали 65Г, омеднённая.

Стандартная конструкция уплотнительных колец амортизаторов представляет собой полимерное кольцо (разрезное или неразрезное). В двигателях внутреннего сгорания и компрессорах также применяют разрезные чугунные поршневые кольца [11, 12].



Рис. 9. Сайлентблок амортизатора новой конструкции с пружинным вкладышем



Рис. 10. Конструкция поршня с уплотнением из винтовой цилиндрической пружины квадратного сечения с поджатыми витками

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. Киев: Техніка, 1970. 296 с.
2. Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин / Б.И. Костецкий. Киев – М.: Mashgiz, 1950. 168 с.
3. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий. Киев: Техніка, 1976. 326 с.
4. Kuranov V. Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer / V. Kuranov, A. Vinogradov, A. Buzov // VII international symposium intertribo'99 proceedings tribological problems in exposed friction systems. Slovak Republic, Stara Lesna, 1999. P. 128-134.
5. Влияние среды и свойств материалов на упрочняющее действие и активацию процессов при пластической деформации и трении / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.В. Бузов, Ю.А. Петров, В.А. Каракозова // МЕТАЛЛДЕФОРМ'99: сб. материалов 1-й Междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1999. С. 122-126.
6. Kuranov V. Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer / V. Kuranov, A. Vinogradov, S. Mironov // POLISH ACADEMY OF SCIENCES EXPLOITATION PROBLEMS OF MACHINES A quarterly concerning problem of tribology, reliability, exploitation, diagnostics. VOL. XXXIII, ISSUE 2(114), Warsaw, 1998. P. 239-245.
7. Пономарев С.Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С.Д. Пономарев, Л.Е. Андреева. М.: Машиностроение? 1980. 326 с.
8. Виноградов А.Н. Эксплуатационные характеристики подшипников с пружинным вкладышем на основе новых принципов и эффектов / А.Н. Виноградов, Д.К. Кушалиев // Ғылым және білім: Научно-исследовательский журнал. 2010. № 1(18). С. 55-62.
9. Виноградов А.Н. Повышение качества подшипников на основе формирования рациональных физико-механических свойств контактных поверхностных слоев применением триботехнических методов при финишной обработке: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / А.Н. Виноградов. Саратов, 2008. С. 370.

10. Виноградов А.Н. Подшипники скольжения с пружинным вкладышем и область их применения / А.Н. Виноградов, Д.К. Кушалиев // Тяжелое машиностроение. 2012. № 10. С. 29-35.
11. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов и др. М.: Машиностроение, 1983.
12. Данилов И.К. Аналитические устройства для оценки износа цилиндропоршневой группы дизелей / И.К. Данилов, К.Л. Слитников, Ю.И. Данилов // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 1 (36). С. 15-19.

Кушалиев Даурен Кайсарович – магистр транспорта, транспортной техники и технологии, старший преподаватель кафедры «Строительство и строительные материалы» Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана

Dauren K. Kushaliev – Master in Transport and Transport Engineering, Senior Teacher Department of Building Materials, Zhangir han West Kazakhstan Agro-Technical University

Статья поступила в редакцию 14.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 629.113.004.67

А.С. Денисов, А.Р. Асоян, Н.В. Орлов, А.М. Сычев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Проведен системный анализ тепловых и гидродинамических процессов, протекающих в турбокомпрессоре ТКР-7С. На основе анализа проведено математическое моделирование тепловых процессов, протекающих при работе турбокомпрессора; представлены результаты моделирования.

Моделирование, турбокомпрессор, теплонапряженное состояние, подшипниковый узел, смазочная система

A.S. Denisov, A.R. Asoyan, N.V. Orlov, A.M. Sychev

SIMULATION OF THERMAL BEARING ASSEMBLY TURBOCHARGER

The article provides the system analysis of thermal and hydrodynamic processes occurring in the TCR-7C turbocharger. Mathematical modeling for the in-service turbocharger thermal processes is based on the given analysis. The results of the simulation are presented.

Modeling, turbocharger, heat-stressed condition, the bearing assembly, lubrication system

Работа турбокомпрессоров (ТКР) дизелей характеризуется высокой неравномерностью распределения температур в элементах ТКР. На переходных режимах работы дизеля, таких как остановка, температура подшипникового узла турбокомпрессора достигает 180 °С и выше [2], что приводит к выгоранию и коксованию масла.

Одной из основных причин отказа турбокомпрессоров дизелей является заклинивание вала ротора вследствие закоксовывания подшипников. Экспериментальные исследования работы подшипникового узла ТКР, проведенные ранее [1, 2] показывают, что проблема теплонапряженности элементов ТКР форсированных дизелей на сегодняшний день не решена и остается актуальной, что обуславливает изучение и моделирование протекающих в процессе работы ТКР газодинамических, гидродинамических, тепловых процессов, сопровождающихся сложной динамикой движения и колебаний ротора.

С целью снижения теплонапряженности элементов турбокомпрессора ТКР предложена установка автономной смазочной системы (АСС) турбокомпрессора, позволяющей подать масло в подшипниковый узел ТКР перед запуском, во время работы двигателя и после его остановки.

Кроме того, применение автономной смазочной системы позволяет использовать масла на синтетической основе, более устойчивые к высоким температурам и коксованию.

Для моделирования процессов, протекающих при работе турбокомпрессора, разработана совмещенная расчетная схема гидравлических и тепловых потоков турбокомпрессора (рис. 1).

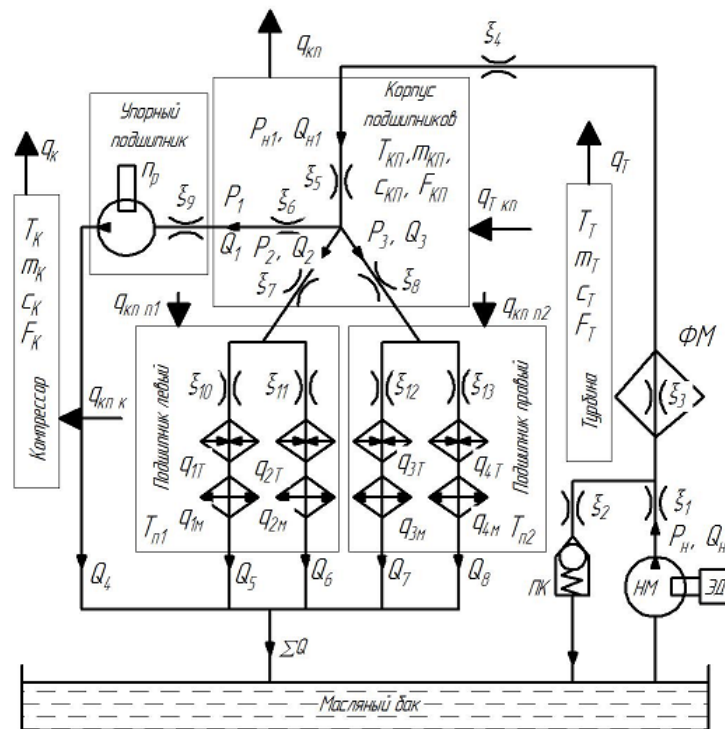


Рис. 1. Совмещенная расчетная схема гидравлических и тепловых потоков турбокомпрессора:

ЭД – электродвигатель; НМ – насос масляный; ПК – предохранительный клапан; ФМ – фильтр масляный; $\zeta_1 \dots \zeta_{13}$ – местные гидравлические сопротивления; $Q_n, Q_{n1}, Q_1 - Q_8$ – местный расход масла; ΣQ – суммарный расход; $P_n, P_{n1}, P_1 - P_3$ – давление масла; $q_{1T} - q_{4T}$ – подвод тепла к подшипнику от турбины; $q_{1M} - q_{4M}$ – отвод тепла от подшипника с маслом; q_k, q_{kp}, q_T – отвод тепла в окружающую среду от корпуса компрессора, корпуса подшипников, корпуса турбины соответственно; q_{Tkp} – подвод тепла от корпуса турбины к корпусу подшипников; Q_{kp1}, Q_{kp2} – подвод тепла от корпуса подшипников к подшипникам; $q_{kpк}$ – подвод тепла от корпуса подшипников к корпусу компрессора; T_k, T_{kp}, T_T – температура корпусов компрессора, подшипников и турбины соответственно; m_k, m_{kp}, m_T – массы корпусов компрессора, подшипников и турбины соответственно; c_k, c_{kp}, c_T – коэффициент теплопередачи корпусов компрессора, подшипников и турбины соответственно; F_k, F_{kp}, F_T – площади поверхностей корпусов компрессора, подшипников и турбины соответственно

По результатам системного анализа тепловых и гидродинамических процессов в ТКР-7С дизеля КамАЗ, для моделирования процессов в ТКР разработаны динамические математические модели механических, тепловых, гидродинамических и газодинамических процессов турбокомпрессора.

На основе уравнения нестационарной теплопередачи [3] составим дифференциальное уравнение теплового баланса для корпуса турбины ТКР:

$$c_T \cdot m_T \cdot dT_T / dt = - \alpha_1 \cdot A_1 \cdot (T_T - T_p) - \alpha_2 \cdot A_2 \cdot (T_T - T_o) + N_{\text{tгаз}} \cdot (\text{sign}(t) + 1) / 2, \quad (1)$$

где c_T – удельная теплоёмкость материала корпуса турбины; m_T – масса корпуса турбины; T_T, T_p, T_o – температуры, соответственно, турбины, подшипника, окружающей среды; α_1, α_2 – коэффициенты теплопередачи, соответственно от корпуса турбины к корпусу подшипника и от корпуса турбины в окружающую среду; A_1, A_2 – поверхность теплопередачи, соответственно от корпуса турбины к узлу подшипника у турбины, от турбины в окружающую среду; $N_{\text{tгаз}}$ – мощность потока тепла отработавших газов к корпусу турбины; t – время.

На основе уравнения нестационарной теплопередачи [3] составим дифференциальное уравнение теплового баланса для корпуса подшипника у турбины ТКР:

$$c_p \cdot m_p \cdot dT_p / dt = \alpha_1 \cdot A_1 \cdot (T_T - T_p) - \alpha_3 \cdot A_3 \cdot (T_{Tp} - T_o) + N_{\text{ct}}(t) + N_{\text{potv}} \cdot (\text{sign}(t - t_{\text{откл}}) + 1) / 2, \quad (2)$$

где c_p – удельная теплоёмкость материала корпуса подшипника; m_p – масса корпуса подшипника у турбины; T_p, T_o – температуры, соответственно, подшипника и окружающей среды; α_1, α_2 – коэффициенты теплопередачи, соответственно от корпуса турбины к корпусу подшипника и от корпуса подшипника в окружающую среду; A_1, A_3 – поверхность теплопередачи, соответственно от корпуса турбины к узлу подшипника у турбины, от корпуса подшипника в окружающую среду; $N_{\text{ct}}(t)$ – мощность потока тепла от работы сил вязкого трения в подшипнике, при вращении ротора турбокомпрессора.

сора после остановки дизеля; t – время; $t_{\text{откл}}$ – момент времени отключения автономной смазочной системы (АСС), отсчитываемый от момента времени остановки дизеля, N_{potv} – мощность потока тепла отводимая из подшипникового узла потоком масла автономной смазочной системой.

Линейное дифференциальное уравнение в обыкновенных производных динамики вращательного движения ротора электродвигателя имеет вид [4]:

$$J_{\text{эд}} \cdot d\omega_{\text{эд}}/dt = M_{\text{эд}} - k_{\text{тэд}} \cdot \omega_{\text{эд}} - M_{\text{с}}, \quad (3)$$

где $J_{\text{эд}}$ – приведенный центробежный момент инерции ротора электрического двигателя; $M_{\text{эд}}$ – движущий момент электродвигателя при наличии электрического питания; $k_{\text{тэд}}$ – коэффициент вязкого трения сил сопротивления вращательного движения в подшипниках ротора; $\omega_{\text{эд}}$ – угловая скорость вращения ротора; $M_{\text{с}} = k_{\text{с1}} \cdot P_{\text{нас}}$ – момент сил сопротивления на валу ротора, определяемый давлением $P_{\text{нас}}$ на выходе масляного насоса АСС, $k_{\text{с1}}$ – коэффициент пропорциональности; t – время.

Дифференциальное уравнение поступательного движения массы перепускного клапана от изменения давления масла под клапаном:

$$m_{\text{кл}} \cdot d^2x/dt^2 = A_{\text{кл}} \cdot P_{\text{нас}} - k_{\text{ткл}} \cdot dx/dt - c_{\text{пр}} \cdot (x - x_0), \quad (4)$$

где $m_{\text{кл}}$ – масса клапана; x – перемещение клапана; $A_{\text{кл}} = \pi \cdot d_{\text{кл}}^2/4$ – площадь клапана, $d_{\text{кл}}$ – диаметр клапана; $k_{\text{ткл}}$ – коэффициент вязкого трения сил сопротивления движению клапана; $c_{\text{пр}}$ – коэффициент жёсткости пружины клапана; x_0 – предварительная затяжка пружины клапана; t – время.

Линейное дифференциальное уравнение динамики вращательного движения ротора турбокомпрессора [5]:

$$J_{\text{т}} \cdot d\omega_{\text{т}}/dt = k_{\text{т1}} \cdot P_{\text{т}} - k_{\text{т2}} \cdot \omega_{\text{т}} + k_{\text{т3}} \cdot h_{\text{р}} - k_{\text{т4}} \cdot P_{\text{над}}, \quad (5)$$

где $J_{\text{т}}$ – приведенный центробежный момент инерции ротора ТКР; $\omega_{\text{т}}$ – угловая скорость вращения ротора ТКР; $P_{\text{т}}$ – давление перед турбиной; $h_{\text{р}}$ – перемещение органа управления подачей топлива; $P_{\text{над}}$ – давление наддувочного воздуха после компрессора во впускном коллекторе; $k_{\text{т1}}$, $k_{\text{т2}}$, $k_{\text{т3}}$, $k_{\text{т4}}$ – константы, определяемые при линеаризации известных экспериментальных характеристик ТКР. При остановке дизеля $h_{\text{р}} = 0$, и уравнение (5) упрощается.

Упрощенное уравнение впускного трубопровода [5]:

$$k_{\text{в1}} \cdot P_{\text{над}} = \omega_{\text{т}} - k_{\text{в2}} \cdot \omega_{\text{д}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{над}}$ – давление наддувочного воздуха после компрессора во впускном коллекторе; $\omega_{\text{т}}$ – угловая скорость вращения ротора ТКР; $\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость коленчатого вала дизеля; $k_{\text{в1}}$, $k_{\text{в2}}$ – константы, определяемые при линеаризации известных экспериментальных характеристик ТКР. При остановленном дизеле $\omega_{\text{д}} = 0$, поэтому уравнение (6) упрощается.

Упрощенное уравнение выпускного трубопровода [5]:

$$k_{\text{р1}} \cdot P_{\text{т}} = \omega_{\text{д}} + k_{\text{р2}} \cdot P_{\text{над}} - k_{\text{р3}} \cdot h_{\text{р}}, \quad (7)$$

где $\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость коленчатого вала дизеля; $P_{\text{т}}$ – давление перед турбиной; $h_{\text{р}}$ – перемещение органа управления подачей топлива; $P_{\text{над}}$ – давление наддувочного воздуха после компрессора во впускном коллекторе; $k_{\text{р1}}$, $k_{\text{р2}}$, $k_{\text{р3}}$ – константы, определяемые при линеаризации известных экспериментальных характеристик ТКР. При остановке дизеля $\omega_{\text{д}} = 0$ и $h_{\text{р}} = 0$, поэтому уравнение (7) существенно упрощается.

Полученную систему дифференциальных уравнений решили с применением программного обеспечения «Matlab 10» в среде Simulink.

Результаты моделирования изменения температуры корпуса турбины и подшипника во времени при остановке дизеля КамАЗ со штатной системой смазки ТКР приведены на рис. 2.

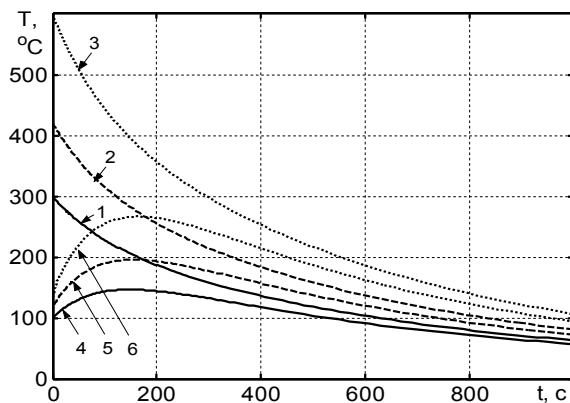


Рис. 2. Результаты моделирования изменения температуры корпуса турбины и подшипника во времени при остановке дизеля КамАЗ со штатной системой смазки ТКР: 1, 2, 3 – температура корпуса подшипника при начальной температуре подшипникового узла соответственно 98, 108 и 120 °C; 4, 5, 6 – температура подшипникового узла соответственно 98, 108 и 120 °C

Результаты моделирования изменения температуры корпуса турбины и подшипника во времени при остановке дизеля КамАЗ-740-360 с автономной смазочной системой ТКР приведены на рис. 3.

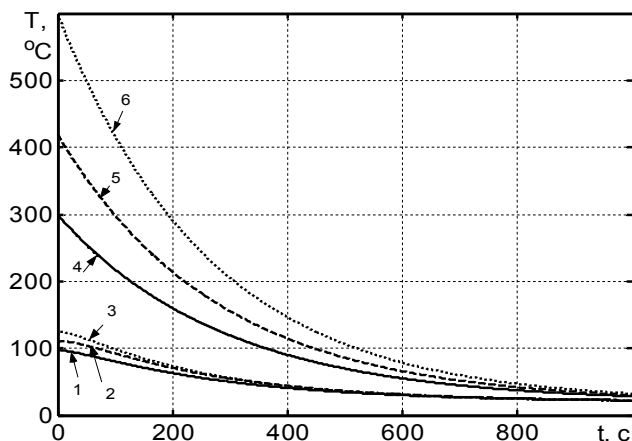


Рис. 3. Результаты моделирования изменения температуры корпуса турбины и подшипника во времени при остановке дизеля КамАЗ с автономной смазочной системой ТКР: 1, 2, 3 – температура подшипникового узла при начальной температуре соответственно 98, 108 и 120 °C; 4, 5, 6 – температура корпуса турбины при начальной температуре подшипникового узла соответственно 98, 108 и 120 °C

На графике (рис. 2.) видно, что подшипниковый узел турбокомпрессора при штатной смазочной системе испытывает тепловой удар. В самых неблагоприятных случаях температура подшипникового узла достигает 270°С.

При автономной смазочной системе температура подшипникового узла не превышает 120°С (рис. 3.), что способствует повышению долговечности ТКР и силового агрегата в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов А.С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. 422 с.
2. Обеспечение работоспособности турбокомпрессоров автотракторных двигателей: монография / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, А.Р. Асоян, А.А. Коркин. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2012. 156 с.
3. Крейт Ф. Основы теплопередачи: пер. с англ / Ф. Крейт, У. Блэк. М.: Мир, 1983. 512 с.
4. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. М.: Машиностроение, 1978. 737 с.
5. Крутов В.И. Регулирование турбонаддува ДВС / В.И. Крутов, А.Г. Рыбальченко. М.: Высш. шк., 1978. 212 с.

Денисов Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander S. Denisov – Dr. Sc., Professor
Department of Automobiles and Automobile Fleet,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Асоян Артур Рафикович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Artur R. Asoyan – Ph.D., Associate Professor
Department of Automobiles and Automobile Fleet,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Орлов Никита Васильевич – аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Nikita V. Orlov – Postgraduate
Department of Automobiles and Automobile Fleet,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Сычев Александр Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и двигатели» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander M. Sychev – Ph.D., Associate Professor
Department of Automobiles and Automobile Fleet,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064.2

О.В. Абросимова, М.А. Быкова, М.Ю. Меркулова, Е.И. Тихомирова

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НЕБЛАГОПОЛУЧИЯ УРБОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВОВ (НА ПРИМЕРЕ г. САРАТОВА)

*Исследованы изменения в составе микробных комплексов проб снега и почвы на территории промышленного города по состоянию некоторых групп микроорганизмов. Рассмотрено использование комплексного биотестирования для оценки состояния почвенного и снежного покровов городских территорий. Проведена оценка токсичности проб почв и снега с использованием следующих тест-объектов: *Daphnia magna* Straus, *Lemna minor* L., *Raphanus sativus* L. (сорт Красный с белым кончиком), *Triticum durum* Desf. (сорт Фаворит). Предложено построение карт-схем экологического состояния городских территорий на основе интегральных показателей.*

Урбосистемы, микробиота, биотестирование, токсичность, интегральные показатели

O.V. Abrosimova, M.A. Bikova, M.Yu. Merkulova, E.I. Tihomirova

EVALUATION OF ECOLOGICAL PROBLEMS WITH URBAN SYSTEMS BASED ON THE SNOW AND SOIL DATA MONITORING IN SARATOV CITY

*We researched the changes in the composition of snow and soil microbial complexes in the industrial city as some groups of microorganisms. We considered using complex bioassays to assess the state of the soil and snow cover in urban areas. We evaluated the toxicity of soils and snow using the following test objects: *Daphnia magna* Straus, *Lemna minor* L., *Raphanus sativus* L., and *Triticum durum* Desf. We propose to build maps of the ecological health of urban areas on the basis of integrated indicators.*

Urbosystems, microbiota, bioassay, toxicity, integral indicators

Введение

Урбосистемы в настоящее время являются основной средой обитания подавляющей части человечества и представляют собой территории, где уровень антропогенной нагрузки максимален, и где крайне важно создание благоприятных условий для жизни человека. Разрешить эту проблему можно только путем контроля и эффективного управления качеством городской среды.

На урбанизированных территориях происходят коренные изменения состояния окружающей среды. Важнейшие из них связаны с уничтожением или кардинальной трансформацией естественных экосистем.

Мониторинг является важным средством контроля за состоянием окружающей среды, он позволяет проводить слежение за происходящими в ней изменениями. Биологический мониторинг включает методы биотестирования и биоиндикации. Биотестирование дает интегральную адекватную оценку качества среды обитания любой биологической популяции, включая человека. Биотесты могут быть рекомендованы для непрерывного экспресс-контроля состояния окружающей среды промышленных районов и природно-хозяйственных комплексов.

Под биотестированием понимают процесс определения токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов. Для биотестирования используются различные организмы – водоросли, микроорганизмы, беспозвоночные, рыбы, растения. Исследо-

вание проб проводят, как правило, на нескольких тест-объектах, относящихся к разным систематическим группам живых организмов. Использование многокомпонентной тест-системы существенно повышает качество проводимых исследований воды и почвы [12].

Почва является индикатором многолетних природных процессов. Ее состояние – это результат длительного воздействия разнообразных источников загрязнения. Выбросы в атмосферу от промышленных предприятий и автотранспорта, нарушение технологических требований при добыче, переработке и использовании полезных ископаемых, несбалансированное применение минеральных удобрений приводят к загрязнению почв, ухудшению их физического и химического состояния и в результате – к снижению плодородия. Загрязнение почвы оказывает неблагоприятное воздействие и на здоровье населения, так как вредные вещества по трофическим цепям могут попадать в организм человека.

Снежный покров накапливает в своем составе практически все вещества, попадающие в атмосферу. По этой причине он обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором загрязнения не только самих атмосферных осадков, но и атмосферного воздуха, а также последующего загрязнения почвы и воды. При образовании снежного покрова, из-за процессов сухого и влажного выпадения примесей, концентрация загрязняющих веществ в снегу оказывается на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе. Именно поэтому анализ снеговых талых вод наиболее ярко показывает характер и процесс загрязнения [4].

Город Саратов – крупный центр химической, нефтеперерабатывающей, оборонной промышленности и стройиндустрии. Рост производства, большая индустриальная нагрузка на окружающую среду, высокая плотность населения – все это предопределяет возрастающую экологическую напряженность в городе [9].

Архитектурно-планировочная композиция города представляет собой конгломерат разных функциональных зон, перемежающихся друг с другом. Застройка склоновых территорий и прибрежной полосы перпендикулярно стоковым и бризовым ветрам, плотная застройка центральной части и естественных коридоров проветривания, отсутствие широких проспектов в сочетании с низким природным потенциалом самоочищения усиливают и без того высокий потенциал накопления примесей. Значительная площадь города способствует формированию «острова тепла» и стимулирует формирование местных воздушных потоков, движущихся с окраинной части города в центр, формируя более сложный рисунок загрязнения атмосферы города.

Целью данной работы была оценка экологического состояния урбосистем г. Саратова на основе данных мониторинга снежного и почвенного покровов.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись территории г. Саратова с различной степенью функционального нагружения. Детальная привязка точек опробирования представлена на карте-схеме. В качестве фоновой территории выбрана условно чистая зона в районе с. Докторовка Саратовской области.

Отбор проб снега производили в феврале-марте, проб почвы – в июне-июле в 2007-2012 гг. в соответствии со стандартными методиками [5-7, 15].

В снеговых и почвенных пробах определяли содержание гетеротрофных бактерий и грибов путем посева на плотные питательные среды ГРМ-агар и среду Чапека по общепринятым методикам [16]. Содержание микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах в 1 мл талой воды и в 1 г почвы.

Определение интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) микробиоты проводили в соответствии с общепринятой методикой [14]. ИПБС является одним из информативных показателей экологического состояния техногенно-загрязненных сред.

Комплексную оценку токсичности снеговых и почвенных проб проводили с помощью тест-системы, включающей биологические тест-объекты, принадлежащие к различным систематическим группам: *Daphnia magna* Straus [18], *Lemna minor* L. [19], *Raphanus sativus* L. сорт Красный с белым кончиком, *Triticum durum* L. сорт Фаворит [8].

Для получения сопоставимых результатов по итогам биотестирования рассчитывали индекс токсичности оцениваемого фактора или интегральный показатель токсичности среды (ИТФ). Для анализа использовали шкалу токсичности, состоящую из 6 классов [13].

На основе полученных результатов расчета комплекса интегральных показателей: интегрального показателя биологического загрязнения (ИПБС) и индекса токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) производили построение карт-схем экологического состояния территорий исследования с помощью специализированных компьютерных программ Surfer 8.0, MapInfo Professional 9.5.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по общепринятым методикам с использованием t-критерия Стьюдента [1, 10, 17]. Расчёт результатов осуществляли с применением пакета прикладных программ Statistica 6.0 (for Windows; «Stat Soft Inc.», США), Statgraph (Version 2.6; Coulter), Microsoft Excel 2003 (for Windows XP).

Полученные результаты и их обсуждение

На первом этапе оценивалось количественное содержание главных групп микроорганизмов в пробах (гетеротрофных микроорганизмов и микромицетов).

Оценку численности гетеротрофных микроорганизмов и микромицетов осуществляли по всей глубине снежного покрова на модельных полигонах на территории г. Саратова. Максимальное количество гетеротрофных микроорганизмов в снежном покрове фоновой территории составило 1210 КОЕ/мл, микромицетов – 125 КОЕ /мл. При сравнительном количественном анализе численности гетеротрофных микроорганизмов наибольшее число КОЕ зафиксировано в пробах, собранных вблизи промышленных зон предприятий в Заводском районе, на территории Детского парка. Анализ содержания микромицетов выявил сходное с гетеротрофными микроорганизмами распределение обилия по глубине снежного покрова, однако их количество варьировало в интервале от 10 до 7050 КОЕ/мл, что было ниже показателей, полученных для бактерий. Наибольшая степень микологического загрязнения – превышение в 55 раз – установлена на тех же территориях, что и для гетеротрофных микроорганизмов.

Для оценки состояния снежного покрова в г. Саратове в сравнении с фоновой территорией использовали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС).

При анализе ИПБС территории г. Саратова на основе количественного содержания гетеротрофных микроорганизмов и микромицетов выявлено, что содержание микроорганизмов намного меньше фоновых значений в центре города – в Городском парке, в Заводском районе – в жилых секторах и на территориях низкой антропогенной загруженности, пустырях. Значение ИПБС колеблется в интервале от 0,23 до 0,76.

Оценку численности гетеротрофных микроорганизмов и микромицетов в почве осуществляли на тех же территориях г. Саратова. Максимальное количество гетеротрофных микроорганизмов в почвенном покрове фоновой территории составило $131 \cdot 10^7$ КОЕ/г, микромицетов – $105 \cdot 10^7$ КОЕ /г.

На основе полученных данных по анализу биологического состояния почвенного покрова г. Саратова была произведена оценка интегрального показателя биологического состояния почв по микробиологическим показателям в зависимости от функциональных зон города, на основе которой выявлено, что из 30 исследуемых проб в 22 (71%) пробах содержание микроорганизмов в несколько раз меньше фоновых значений. Данные пробы были отобраны в центре города – на территории промышленных предприятий и на главных автомагистралях города.

Во всех городских пробах содержание микроорганизмов во много раз превышало контрольные значения. Для получения более наглядной картины распределения микроорганизмов и для оценки экологического состояния данные полученные при расчете ИПБС наносили на карту-схему г. Саратова с помощью программ Surfer 8.0, MapInfo Professional 9.5. (рис. 1)

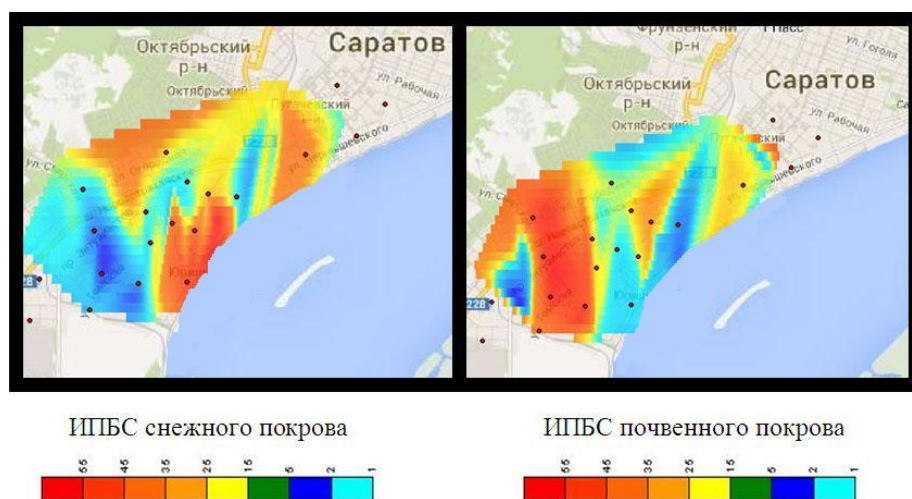


Рис. 1. Карта-схема пространственного распределения ИПБС (для микроорганизмов) снежного и почвенного покровов на территории г. Саратова

Во всех городских пробах содержание микроорганизмов как превышало контрольные значения, так и было во много раз ниже фоновых показателей. При оценке экологического состояния учитывают как снижение, так и увеличение показателя, что свидетельствует о негативном воздействии

антропогенной нагрузки на территорию. Важно отметить, что выявленные микроорганизмы существуют в данном субстрате в виде ассоциаций и их разделение действует на них не благоприятно.

Следующим этапом исследования являлась оценка состояния отобранных образцов проб почвы и снега с помощью комплекса тест-объектов: (*Daphnia magna* Straus, *Lemna minor* L., *Raphanus sativus* L. сорт Красный с белым кончиком, *Triticum durum* L. сорт Фаворит)

Токсичность проб на тест-объекте *D. Magna*, низших ракообразных дафний оценивали по смертности тест-объекта [3,11]. Методика основана на определении смертности дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль).

Исследования с помощью *L. minor* проводили на органном и организменном уровне. На органном уровне оценивали морфологические отклонения растений ряски от нормы: хлорозы, увядание листочков и изменения их окраски: пожелтение, побурение, потеря интенсивности цвета [17]. На организменном уровне оценивали реализацию репродуктивного потенциала растений. По истечению времени культивации в контроле и в каждой пробе просчитывали общее количество листочков, включая материнские особи и листочки, отделившиеся от материнской особи.

Токсичность проб снега г. Саратова для тест-объекта *R. sativus* оценивали по способности подавлять или стимулировать всхожесть семян, а для тест-объекта *T. durum* (Desf.) Thell оценивали по всхожести семян и морфометрическим признакам.

На основе полученных данных был рассчитан индекс токсичности оцениваемого фактора, по результатам которого было выявлено, что сверхтоксичными по отношению к изучаемым тест-объектам оказались пробы талой воды города с улиц Пономарева, Кавказской, Орджоникидзе, Чернышевского и проспекта Энтузиастов, т.е. с главных автомагистралей изучаемых районов города. Высокотоксичными оказались пробы талой воды с улиц Томской, Пензенской, проспекта Энтузиастов – среднетоксичными оказались некоторые пробы с улиц Томской, Миллеровской Заводского района. Низкотоксичными – пробы с улиц Огородной, пробы которой отбирались в селитебных зонах, с низкой степенью автомобильной нагрузки и полным отсутствием промышленных предприятий в рассматриваемой зоне, в которой также находились пробы талой воды, которые показывали норму реакции организма на уровне контроля по отношению к тест-объекту.

При анализе ИТФ проб почв по отношению к исследуемым тест-объектам среди проб из почвенных вытяжек сверхтоксичными были пробы, отобранные с улиц Орджоникидзе, проспекта Энтузиастов, улицы Чернышевского, в районе завода САЗ, САКОЗА, «Биокон», т.е. также как и по показателям снега – промышленных зон города и главных сильнозагруженных автомагистралей. Высокотоксичная была проба на перекрестке улиц Пономарева и Кавказской, отличающаяся средней степенью автомобильной загруженности. Среднетоксичными были пробы почвенных вытяжек вблизи бывшего авиационного, метизного заводов, вблизи железнодорожного переезда, а также в скверах Заводского района. Низкой токсичностью отличались пробы селитебных территорий районов города, а также в Городском парке. Норму, реакции организма на уровне контроля по отношению к тест-объектам показали пробы с улиц Томской, Новой 9-линии и участков Новоастраханского шоссе, далеко расположенных от автотранспортных зон.

На основе полученных результатов расчета индекса токсичности оцениваемого фактора производили построение карт-схем токсикологического состояния исследуемых проб почвы и снега территории города (рис. 2).

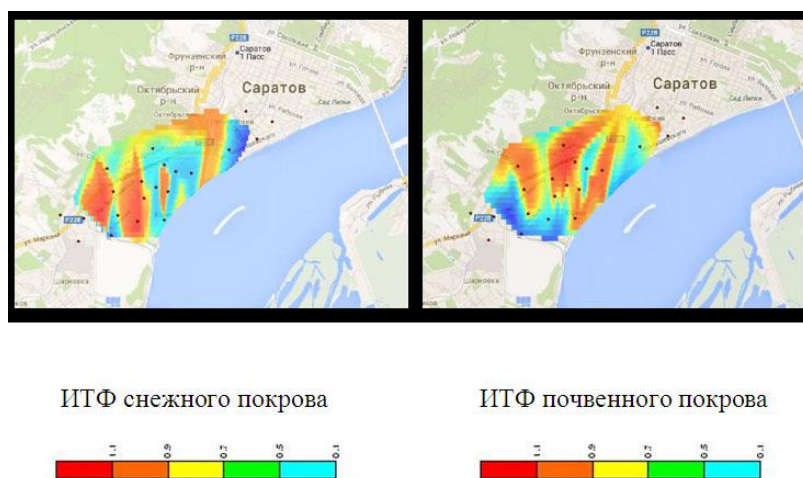


Рис. 2. Карта-схема пространственного распределения индекса токсичности снежного и почвенного покровов на территории г. Саратова

Сопоставление полученных данных химико-аналитического, экотоксикологического и микробиологического анализа за период 2007-2012 гг. позволило оценить экологическое состояние и степень антропогенной нагрузки на урбосистемы г. Саратова. Разработанная тест-система для анализа и мониторинга снежного и почвенного покровов города Саратова может быть рекомендована для мониторинга урбосистем других городов с овражно-балочным типом ландшафта и выраженной антропогенной нагрузкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашмарин И.П. Статистические методы в микробиологических исследованиях / И.П. Ашмарин, А.А. Воробьев. Л.: Медгиз, 1962. 180 с.
2. Боев В.М. Содержание микроэлементов в донных отложениях открытых водоёмов западной части Оренбургской области / В.М. Боев, С.И. Красиков, С.В. Перепелкин и др. // Гигиена и санитария. 2003. № 5. С. 19-22.
3. Брагинский Л.П. Методологические аспекты токсикологического биотестирования на *Daphnia magna* Str. и других ветвистоусых ракообразных (критический обзор) / Л.П. Брагинский // Гидробиологический журнал. 2000. Т. 36. № 5. С. 50-70.
4. Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
5. ГОСТ 12071-84. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Введ. 1984 – 09 – 20. М.: Изд-во стандартов, 1985. 3 с.
6. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введ. 1983 –12 – 21. М.: Изд-во стандартов, 2004. 2-4 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 1984–12–19. М.: Изд-во стандартов, 1986. 5 с.
8. ГОСТ Р ИСО 22030 – 2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. ISO 22030:2005 Soil quality – Biological methods – Chronic toxicity in higher plants (IDT). Введ. 2009 – 12 – 15. М.: Стандартиформ, 2010.
9. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2008 году. Саратов, 2009. 320 с.
10. Зайцев Т.Н. Математический анализ биологических данных / Т.Н. Зайцев. М.: Наука, 1991. 268 с.
11. Исакова Е.Ф. Метод биотестирования с использованием дафний / Е.Ф. Исакова, Л.В. Колоцова // Методы биотестирования вод: сб. ст. АН СССР. Черноголовка, 1988. С. 50-57.
12. Кабиров Р.Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р.Р. Кабиров, А.Р. Сагитова // Экология. 1997. № 6. С 32-36.
13. Кабиров Р.Р. Оценка токсичности атмосферного воздуха с помощью микроскопических водорослей / Р.Р. Кабиров, Н.В. Суханова, Л.С. Хайбуллина // Экология. 2000. №3. С. 231-232.
14. Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
15. Методические рекомендации по оценке аэротехногенного загрязнения природных сред химическими элементами по результатам мониторинга снежного покрова: утв. приказом Министра экологии и природных ресурсов Республики Татарстан от 26.02.2010 г., № 131.
16. Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук и др. М.: Академия, 2005. 608 с.
17. Плохинский Н.А. Математические методы в биологии: учеб.-метод. пособие / Н.А. Плохинский. М.: Изд-во МГУ, 1978. 340 с.
18. ПНД Ф 14.1:2.4.12-06 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.9-06).
19. Цаценко Л.В. Методика биотестирования почвы на основе ряскового теста в агроэкологическом мониторинге / Л.В. Цаценко, Н.Г. Малюга. Краснодар: КубГАУ, 2003. С. 1-56.

Абросимова Ольга Владимировна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология», Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Olga V. Abrosimova – Ph. D., Associate Professor Department of Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Быкова Марина Алексеевна – аспирант кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Marina A. Bikova – Postgraduate Department of Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Меркулова Мария Юрьевна – аспирант кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mariya Yu. Merkulova – Postgraduate Department of Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Тихомирова Елена Ивановна – доктор биологических наук, профессор кафедры «Экология», Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena I. Tihomirova – Dr. Sc., Professor Department of Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 15.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 574.5

О.Н. Давиденко, Л.А. Серова, А.А. Беляченко

БИОЦЕНОТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «УРОЧИЩЕ «ИВАНОВО ПОЛЕ»

Приведены результаты детального изучения растительности памятника природы «Иваново поле». Оценена структура фитоценозов, природоохранный статус территории и биоценотический потенциал ее растительности. Дана характеристика ценопопуляций редких видов растений.

Памятник природы, степная растительность, Саратовская область

O.N. Davidenko, L.A. Serova, A.A. Belyachenko

BIOCENOTIC POTENTIAL OF PLANT COMMUNITIES IN THE NATURAL SANCTUARY «IVANOVO POLE»

The article is devoted to a thorough investigation of the vegetation in the natural sanctuary «Ivanovo Pole». The community structure, conservation status and vegetation biocenotic potential are estimated. The characteristics of the rare plant species is provided.

Natural monument, steppe vegetation, Saratov region

Растительность особо охраняемых природных территорий области остается малоизученной. Отдельными геоботаническими исследованиями охвачены лишь некоторые из них. В книге «Особо охраняемые природные территории Саратовской области» [1], являющейся наиболее полной сводкой по ООПТ, даже для ботанических памятников природы отсутствует информация, отражающая современное состояние и динамику растительности, в том числе, ценопопуляций редких и охраняемых видов растений. В связи с этим возникает вопрос о необходимости комплексных геоботанических, экологических и популяционных исследованиях с использованием современных способов обработки и представления данных. Изучение растительности и оценка биоценотического потенциала ООПТ Саратовской области ведутся с целью формирования базы для мониторинга фиторазнообразия в пределах охраняемых территорий и оптимизации их сети с учетом данных современных методов индексированной оценки компонентов.

Целью данной работы было комплексное изучение растительности памятника природы «Урочище «Иваново поле» с последующей оценкой его биоценотического потенциала. Исследования проводились в 2012-2013 гг. Растительность изучалась на маршрутах и на постоянных пробных площадях по стандартной методике [2, 3].

Показатель биоценотического потенциала рассчитывался с учетом трех составляющих: состояния фитоценоза, структурного разнообразия растительности, природоохранного статуса территории [5-7]. Первая составляющая характеризует степень сохранности среды, вторая – структуру ме-

стообитаний, третья показывает целесообразность введения специальных мер охраны. За основу была взята Методика оценки биоценотического потенциала лесного биогеоценоза [5] с изменениями [8], с учетом специфики степной растительности. Индекс состояния растительности оценивался исходя из доли площадей с фитоценозами разной степени сформированности в пределах изученного участка.

Индекс структурного разнообразия рассчитывали по формуле Бриллюэна [9], в которую вместо численных оценок видов и особей подставляли результаты балльной оценки выраженности отдельных структурных параметров степной растительности.

Общий коэффициент природоохранной значимости вычислялся по формуле

$$R = r_1^i + r_2^i + r_3^i + r_4^i,$$

где r_1, r_2, r_3, r_4 – соответствующие коэффициенты значимости по категориям охранного статуса видов в соответствии с Красной книгой Саратовской области [10];

i – число обнаруженных в пределах территории редких видов растений, имеющих определенный охранный статус [5].

Показатель обобщенного биоценотического потенциала вычислялся по формуле

$$I_p = I_S * I_{str} * R,$$

где R – коэффициент природоохранной значимости; I_S – индекс состояния фитоценоза; I_{str} – индекс структурного разнообразия сообщества.

Урочище «Иваново поле» расположено в Федоровском районе Саратовской области на Низкой Сыртовой равнине в верховьях крупной балки Таловка на пологом прибалочном склоне. На территории данного памятника природы отмечена одна из наиболее крупных популяций тюльпана Геснера (*Tulipa gesneriana* L.) – вида, занесенного в Красную книгу Саратовской области с категорией и статусом 1 (Е) – вид, находящийся под угрозой исчезновения.

На основании количественной оценки параметров сообществ (табл. 1) проведены расчеты состояния растительности, структурной сложности сообществ и их природоохранного статуса. Первые два показателя оценивались для каждой группы фитоценозов с последующим усреднением, а последний – для всего урочища в целом.

Таблица 1

Количественные значения параметров оценки биоценотического потенциала

Параметр	Значение параметра на изученном участке	Балльная оценка/коэффициент пересчета
Состояние сообщества		
Участки, лишенные растительности, % от общей площади	0,5	0,2
Участки средней фитоценотической сформированности, % от общей площади	5,0	0,7
Участки высокой фитоценотической сформированности, % от общей площади	94,5	1,0
Структурные параметры		
Число видов сосудистых растений, шт.	до 10	0,0
	10-20	1,0
	более 20	2,0
Наличие степного войлока	нет	0,0
	местами есть	1,0
Общее проективное покрытие, %	есть	2,0
	10-30	1,0
	30-60	2,0
	60-80	3,0
Количество вертикальных ярусов, шт.	более 80	4,0
	1	1,0
	2	2,0
	3	3,0
	Природоохранная значимость	
Число видов, находящихся под угрозой исчезновения, шт.	1	2,0
Число уязвимых видов, шт.	3	1,8
Число редких видов, шт.	2	1,6
Число видов с неопределенным статусом, шт.	0	1,4

Естественная степная растительность Урочища «Иваново поле» представляет собой вариант сочетания нескольких растительных сообществ, преимущественно на каштановых типичных, светло-каштановых солонцеватых почвах и черноземах южных.

Растительность представлена шестью основными ассоциациями: ковыльной, типчаково-полынкковой, разнотравно-типчаковой, гребенчатожитняковой, типчаковой-гребенчатожитняковой и белополынно-типчаковой. Наибольшими значениями проективного покрытия и высоты травостоя характеризуются сообщества формации ковыля перистого (*Stipa pennata* L.) и житняка гребенчатого (*Agropyron pectinatus* (Bieb.) Beauv.). В составе фитоценозов насчитывается до 35 видов растений, среди которых во всех ассоциациях обычно резак обыкновенный (*Falcaria vulgaris* Bernh.), типчак (*Festuca valesiaca* Gaud.), келерия тонкая (*Koeleria cristata* L.), шалфей остепненный (*Salvia nemorosa* L.), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.).

Структура изученных сообществ представлена в табл. 2.

Таблица 2

Структура изученных сообществ

Ассоциации	Элементы структурного разнообразия				Индекс структурного разнообразия
	Число видов сосудистых растений, шт.	Общее проективное покрытие, %	Наличие степного войлока	Число ярусов	
Ковыльная	35	80	+	3	1,00
Типчаково-полынкковая	25	70	+	2	0,99
Разнотравно-типчаковая	27	75	+	2	0,99
Гребенчатожитняковая	33	75	+	2	0,99
Типчаково-житняковая	30	90	+	2	0,98
Белополынно-типчаковая	18	60	±	1	0,82

Видовое богатство изученных сообществ составило 18-35 видов. Общее проективное покрытие колеблется от 70 до 90%, а в фитоценозах с содоминированием полыни белой не превышает 60%. Индекс структурного разнообразия достигает максимальных значений в ковыльном фитоценозе – 1,0; наименьшие значения параметра характерны для сообществ белополынно-типчаковой ассоциации.

Помимо степных участков, на территории памятника природы отмечены небольшие по площади локальные участки с луговой растительностью, сформированной преимущественно сообществами формаций *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *Bromopsis riparia* (Rehm.) Holub, реже – видами разнотравья. Индекс структурного разнообразия для всех луговых сообществ соответствует высокому уровню и составляет 0,89-0,99.

Обобщенный индекс структурного разнообразия растительности изученного участка в целом составил 0,95, что соответствует очень высокому уровню (исходя из теоретически возможных значений индекса от 0 до 1). Это связано с тем, что, несмотря на наличие локальных участков относительно простой структурной организации, большая часть территории занята сформированными степными сообществами с четкой горизонтальной и вертикальной структурированностью и богатым видовым составом.

Оценка растительного покрова Урочища «Иваново поле» с определением степени фитоценотической сформированности показала, что индекс состояния территории оценивается в 98,1%, что связано с преобладанием естественной степной растительности.

В пределах исследованной территории было отмечено шесть видов растений, занесенных в Красную книгу Саратовской области [10]; четыре из них охраняются также на федеральном уровне. Характеристика ценопопуляций отмеченных редких видов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Состояние ценопопуляций редких видов растений, отмеченных на участке

Вид	Категория и статус вида	Численность ценопопуляции, особей	Состояние ценопопуляции
<i>Adonis vernalis</i> L.	2 (V) – уязвимый вид	единичные особи	прогрессирующее
<i>Iris pumilla</i> L.*	2 (V) – уязвимый вид	сотни особей	прогрессирующее
<i>Stipa pennata</i> L.*	2 (V) – уязвимый вид	сотни особей	прогрессирующее
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	3 (R) – редкий вид	единичные особи	прогрессирующее
<i>Centaurea taliewii</i> Kleop.*	1 (E) – вид, находящийся под угрозой исчезновения	десятки особей	стабильное
<i>Tulipa gesneriana</i> L.*	1 (E) – вид, находящийся под угрозой исчезновения	сотни особей	стабильное

* виды, занесенные в Красную книгу России [11]

Индекс природоохранной значимости местообитания составил 11,79, что соответствует среднему уровню. Поскольку теоретически возможные значения коэффициента природоохранной значимости не имеют верхнего предела, то в конечном расчете биоценотического потенциала территории удобно в целях сравнения его с другими охраняемыми территориями представлять этот показатель в виде коэффициента R.

Обобщенный индекс биоценотического потенциала для изученного участка составил 93,16R (при максимально возможном значении, исходя из принятой нами шкалы оценок, в 100R). Значения индекса биоценотического потенциала, полученные для территории Урочища «Иваново поле», оказались выше таковых, рассчитанных для некоторых других охраняемых территорий Саратовской области: памятника природы «Участок степи у с. Лопуховка» [11], урочища «Синяя гора» [12] и урочища «Дальнее» [7], где интенсивность антропогенного воздействия на растительность несколько выше. Такое значение биоценотического потенциала является показателем низкой антропогенной нарушенности растительных сообществ в пределах изученного участка. В целом полученные значения биоценотического потенциала и наличие на территории урочища стабильных и прогрессирующих ценопопуляций редких охраняемых видов растений, экологически связанных с малонарушенными степными местообитаниями, свидетельствуют о высоком природоохранном потенциале данной территории, в том числе с точки зрения сохранения фиторазнообразия.

Работа по изучению растительности и оценке биоценотического потенциала ООПТ Саратовской области продолжается с целью формирования базы для мониторинга фиторазнообразия в пределах охраняемых территорий и оптимизации их сети с учетом данных современных методов индексированной оценки компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особо охраняемые природные территории Саратовской области. Саратов: Изд-во СГУ, 2008. 300 с.
2. Юнатов А.А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей / А.А. Юнатов // Полевая геоботаника. М.-Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 9-36.
3. Ботанико-экологический практикум: методы сбора и анализа данных / Т.Н. Давиденко, С.А. Невский, О.Н. Торгашкова, О.Н. Давиденко. Саратов: ООО Изд. центр «Наука», 2011. 67 с.
4. Болдырев В.А. Полевые исследования морфологических признаков почв / В.А. Болдырев, В.В. Пискунов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 60 с.
5. Беднова О.В. Мониторинг биоразнообразия лесных и урбозкосистем / О.В. Беднова // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем / под ред. В.С. Шалаева, Е.Г. Мозолевской. М.: МГУЛ, 2004. С. 39–51.
6. Василевич В.И. Альфа-разнообразие растительных сообществ и факторы его определяющие // Биологическое разнообразие: подходы к изучению и сохранению / В.И. Василевич. СПб.: ЗИН РАН, 1992. С. 162-170.
7. Критерии и индикаторы биоразнообразия лесов как инструменты устойчивого природопользования / Т.В. Черненко, С.В. Князева, М.Ю. Пузаченко и др. // Лесоведение. 2009. № 6. С. 1-15.
8. Давиденко О.Н. Биоценотический потенциал урочища «Дальнее» / О.Н. Давиденко, С.А. Невский, Т.Н. Давиденко // Научные труды национального парка «Хвалынский». Вып. 1. Саратов-Хвалынский: Научная книга, 2009. С. 118-122.
9. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. М.: Мир, 1992. 184 с.
10. Красная книга Саратовской области. Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов: Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.
11. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Министерство природных ресурсов и экологии РФ; Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; РАН; Российское ботаническое общество; МГУ им. М.В. Ломоносова; Гл. редкол.: Ю.П. Трутнев и др.; сост. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
12. Давиденко О. Н. Биоценотический потенциал растительности памятника природы «Участок степи у с. Лопуховка» Саратовской области / О. Н. Давиденко, С. А. Невский, Т. Н. Давиденко // Вестник КрасГАУ. 2011. Т. № 12. С. 93-96.
13. Давиденко О. Н. Биоценотический потенциал растительности памятника природы «Урочище Синяя гора» Саратовской области / О. Н. Давиденко, С. А. Невский, Т. Н. Давиденко // Научные труды национального парка «Хвалынский». Вып. 4. Саратов-Хвалынский: Научная книга, 2012. С. 26-29.

Давиденко Ольга Николаевна – магистрант кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Olga N. Davidenko – Undergraduate Department of Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Серова Людмила Александровна – магистрант кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ludmila A. Serova – Undergraduate Department of Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Беляченко Андрей Александрович –
кандидат биологических наук, доцент кафедры
«Экология» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Andrey A. Belyachenko –
Ph. D., Associate Professor
Department of Ecology,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 05.09.13, принята к опубликованию

УДК 551.438.5:550.75 (470.44)

А.С. Шешнёв, М.В. Решетников, П.С. Жучков, В.В. Кузнецов

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АНТРОПОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ САРАТОВА

Представлены результаты классификации антропогенных отложений на территории Саратова по генетическим признакам.

Урбанизированные территории, трансформация рельефа, антропогенные отложения, территория Саратова

A.S. Sheshnev, M.V. Reshetnikov, P.S. Zhuchkov, V.V. Kuznetsov

GENETIC COMPLEXES OF ANTHROPOGENIC SEDIMENTS ON THE TERRITORY OF SARATOV CITY

The article presents the results of the classification of anthropogenic sediments on the territory of Saratov according to their genetic traits.

Urban areas, changes of the landscape, anthropogenic deposit, the city of Saratov

На современных городских территориях существенно изменяется верхняя часть геологического разреза. Возникает новый генетический тип современных отложений – антропогенные, которые своим происхождением обязаны хозяйственной деятельности человека. Антропогенные отложения влияют на инженерно-геологические и геоэкологические условия, служат почвообразующей породой. Ф.В. Котлов отмечает, что «антропогенные процессы и явления количественно и качественно отличаются от природных», протекающих в земной коре и на ее поверхности [1].

Терминологический аппарат, употребляемый при изучении антропогенных отложений, не унифицирован: одним термином обозначают различные понятия, и, наоборот, одно явление определяется массой дефиниций. Так, в литературе трудно различить термины: антропогенные – культурные – техногенные – искусственные отложения. Употребление указанных терминов широко распространено в науках о Земле, археологии и экологических науках.

В общей классификации грунтов [2], наряду с царством природных, выделяются искусственные грунты. К искусственным грунтам отнесено большое количество геологических антропогенных образований: техногенно измененные грунты, техногенно переотложенные грунты и техногенно образованные грунты. Приведем их определения по указанной работе. Техногенно измененные грунты – бывшие природные образования, измененные в условиях естественного залегания (природные грунты, для которых средние значения показателей химического состава изменены не менее чем на 15%). Техногенно переотложенные грунты представляют собой природные перемещенные образования (природные грунты, перемещенные с мест их естественного залегания, подвергнутые частично производственной переработке в процессе их перемещения). Техногенно образованные грунты – сугубо антропогенные образования (твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального или органического сырья).

В грунтоведении под техногенными грунтами понимают «техногенно-созданные образования или измененные горные породы, сформировавшиеся в результате производственной и хозяйственной деятельности человека» [3], включающие техногенно-созданные образования и техногенно-измененные горные породы. При классификации техногенных грунтов выделяют семь таксономических единиц по группам признаков: класс – по происхождению (генетическое подразделение первого порядка); группа – по виду деятельности – источнику формирования (генетическое подразделение

второго порядка); подгруппа – по способу образования (генетическое подразделение третьего порядка); тип – по петрографическому составу и структурно-текстурным признакам; подтип – по дисперсности; вид – по степени самоуплотнения, уплотнения и упрочения, характеру техногенного литогенеза; разновидность – по показателям вещественного состава и физико-механических свойств.

Все современные отложения, представляющие собой антропогенные образования, являются грунтами, т.к. являются продуктом инженерно-хозяйственной деятельности человека [4].

Ф.В. Котловым [1] разработана инженерно-геологическая классификация антропогенных отложений, имеющая в основе генетические признаки. Выделено четыре таксона – группы, генетические комплексы, классы и виды. Групп по условиям образования отложений три: субаэральные (наземные), субаквальные (подводные) и субтерральные (подземные); семь генетических комплексов: 1) насыпные, 2) намывные, 3) отложения искусственных водоемов, 4) искусственные подводные грунты, 5) измененные водные осадки естественных водоемов, 6) породы, искусственно преобразованные в естественном залегании, 7) привнесенные в породы материалы и конструкции и стихийное накопление подземного культурного слоя. Классы, выделяемые по более детальным генетическим признакам в составе семи комплексов, включают 21 наименование. В составе отдельных классов выделены виды антропогенных отложений. Каждое таксономическое подразделение охарактеризовано по способам образования, составу, интегральному баллу однородности, инженерно-геологическим особенностям и интегральному баллу прочности антропогенных отложений.

Культурный слой в археологии определяется Д.А. Авдусиным как «исторически сложившаяся система напластований, состоящая в основном из органических и строительных остатков, образовавшихся в результате деятельности человека» [5]. В «Археологическом словаре» [6] культурный слой определяется как «слой со следами деятельности человека». Д.Ю. Здобин рассматривает культурный слой как геологическое образование верхней части литосферы и предлагает следующее определение: «полигенетическое, исторически сложившееся образование (искусственное геологическое тело), включающее в себя антропогенные образования (археологические артефакты), техногенный грунт и палеопочвы» [7].

При длительном процессе накопления культурного слоя системы напластований все время изменяются, но в целом сохраняют между собой определенные соотношения. Каждый слой отражает общее направление хозяйственной жизни поселения. Внутрислойные включения и прослойки отражают хозяйственный эпизод, как правило, кратковременный. Состав, структура, сложение и включения в культурном слое отражают исторический процесс бытования населения. Главной целью изучения культурного слоя являются исторические выводы, которые можно сделать на основании его изучения [5]. Таким образом, культурный слой – понятие весьма близкое к антропогенным отложениям, но несущее, прежде всего, историко-археологическую нагрузку.

Признаками культурного слоя, согласно Д.Ю. Здобину [7], являются: 1) наличие археологических артефактов; 2) локальность (изолированность как по латерали, так и по разрезу); 3) повышенное содержание фосфора и органического углерода; 4) геохимические и механические барьеры; 5) выдержанные по всему горизонту значения pH и Eh; 6) особый режим влажности-плотности. В настоящее время систематика отложений культурного слоя слабо разработана. Д.Ю. Здобиным представлена одна из первых классификаций антропогенных образований (археологических артефактов – объектов, предметов, отходов и следов производственной, хозяйственной, военной, культовой, бытовой и иной деятельности человека).

В почвоведении также отмечается роль техногенеза, который воздействует на почвы в глобальном масштабе. Почвообразовательный процесс в условиях влияния антропогенной деятельности предложено обозначать технопедогенезом, который в настоящее время преобладает над «чисто» природным почвообразованием [8]. Воздействие со стороны человека приводит к образованию специфических естественно-антропогенных почвенных и почвоподобных тел, именуемых соответственно антропогенно-преобразованными почвами и техногенными поверхностными образованиями (техноземами) [9]. Рассматриваются и вопросы развития почв на техногенных субстратах [10, 11].

Вместо широко употребляемого термина «антропогенные почвы» предложено обозначение ««техногенные» или «техногенно-измененные» почвы, поскольку «во-первых, как известно, термин «антропогенный» (антропогеновый) занят в геологии и литологии для обозначения определенного исторического периода, который существенно не совпадает по длительности с этапом заметного преобразования почв человеком. Кроме того, данный термин может ассоциироваться с человеком вообще и поэтому имеет некоторый биологический оттенок. Между тем основные трансформации почв и почвенного покрова, так или иначе связанные с человеком, вызваны, строго говоря, его производственной деятельностью – теми или иными орудиями труда (примитивными или современными), т.е. техникой в ее широком понимании» [12].

Под антропогенными отложениями понимаются «все типы литологических разностей, образовавшихся под воздействием человека, при его участии или созданных человеком с использованием технических средств» [13]. Техногенные отложения представляют собой «слои толщи наносов, возникшие при участии людей, созданные при участии техники, по определенной технологии, отвечающие определенным технологическим требованиям» [13]. Таким образом, техногенные отложения, являясь частью антропогенных, представляют собой целенаправленно, технологически определенные, созданные человеком образования. Процесс накопления техногенных осадков (техногенный литогенез, включающий техногенный седиментогенез и техногенный диагенез) отличен от природных процессов как качественно, так и количественно. Качественная разница заключается в специфике вещественного состава и генезиса отложений, количественная – в темпах осадконакопления, которые сравнимы со скоростью развития природных катастроф. В настоящее время формируется понятийный аппарат геологии антропогенных (в том числе техногенных) отложений, разрабатывается классификация техногенных формаций и фаций [14]. Следует отметить, что в понятие «антропогенные» отложения вкладывается генетическое содержание, в отличие от «антропогенных» (четвертичных) с их возрастным понятием.

Для современного уровня исследований, согласно С.А. Несмеянову [15], допустим наиболее общий термин «антропогенные или культуросодержащие отложения», которые делятся на три разновидности – отложения культурных слоев, техногенные отложения и естественно перемещенные культуросодержащие отложения и образования.

Специфичность отложений позволяет выделять их в качестве самостоятельного антропогенно-техногенного генетического комплекса. Процесс образования антропогенных отложений, или геологическая породообразующая деятельность человека – антропогенный литогенез (антрополитогенез). При стратификации отложений геолого-палеонтологические признаки малоинформативны, ведущее значение приобретают историко-археологические и техногенные. В образованных в древности разрезах техногенных накоплений выделяются, как правило, две пачки грунтов, существенно различающиеся составом, строением и свойствами [16]. Верхняя пачка – песчано-глинистые грунты с большим количеством строительного мусора, нижняя пачка – толща черных и бурых обильно гумусированных, часто органоминеральных грунтов.

Преобразование отложений под воздействием человека или окружающей среды – антропогенный диагенез. Для характеристики формы и условий залегания применимы традиционные геологические приемы. Скорость формирования материала и его преобразования в условиях техногенеза многократно ускоряется.

Согласно классификации А.А. Каздыма [14], выделяются линейные и площадные фации. Техногенная фация определяется как группа техногенных отложений, сформировавшихся в определенной геологической, физико-химической и биоклиматической обстановке, отличной по определенным показателям от естественных горных пород.

Ф.В. Котлов [1] выделяет укрупненно в составе антропогенных отложений три группы фаций: 1) грунтовые, 2) искусственно созданные, 3) отходы жизнедеятельности человека; отмечая, что наиболее однородными являются первые две группы фаций.

Проблему фациального анализа антропогенных отложений по ряду параметров обозначает С.А. Несмеянов [15]. Первый – вопрос иерархии фациальных образований. Если традиционно фациальные соотношения выделяются на уровне свит, толщ и пачек, то при палеогеоэкологических исследованиях необходим микрофациальный анализ с соотношениями на уровне отдельных пластов, слоев и прослоев. Второй – о фациальной интерпретации некоторых видов отложений (например, палеопочв). Третий – о стадиях формирования и преобразования антропогенных отложений, который тесно связан с минеральными новообразованиями, влияющими на современное экологическое состояние.

Комплекс микростратиграфических, микролитологических и микрофациальных исследований позволяет выявлять неоднородность даже наиболее дробных стратиграфических подразделений и обнаружить: 1) скрытые размывы и несогласия (например, горизонты повышенной концентрации культурных остатков и, наоборот, «немые» горизонты в культурных слоях), 2) зоны вторичного и первичного вертикального и горизонтального перемещения культурных остатков (зоны различных вторичных – диагенетических – преобразований), 3) зоны иллювиального вымыва палинологических материалов (величину стратиграфического несоответствия геохронологических (литологических) и палинологических (биостратиграфических) границ) и т.д.

К этапности формирования и преобразования антропогенных отложений существует два основных подхода. Почвоведы и археологи предлагают выделение следующих этапов [17]: 1) *предшествующий этап* (предыстория) – природное состояние ландшафта, 2) *подготовительный этап* (начало преобразования территории), в профиле культурного слоя часто выражающийся строительным слоем в городах, 3) *функциональный или основной этап* – время бытования, за которое накапливается основная часть отложений; 4) *заключительный этап* включает преобразование отложений после ухода населения вплоть до погребения в геологическом разрезе, 5) *метаморфический этап*, на котором происходят диагенетические и почвообразовательные процессы и погребенном культурном слое.

С.А. Несмеянов [15], выделяет три этапа: 1) *этап формирования* (часто включающий ряд подэтапов), 2) *этап погребения* (во многих случаях практически не обособляется), 3) *этап диагенетического преобразования погребенных отложений* (может иметь подэтапы), на котором происходят значительные диагенетические изменения минерального и химического состава отложений. В технолитогенезе, на примере намывных отложений, Ю.И. Кутепов и Н.А. Кутепова [18] выделяют три этапа: разрушение материнских пород → перемещение разрушенного материала → новое породообразование. Все стадии осадочного породообразования (от суспензий в плотные литифицированные отложения) протекают очень быстро, в течение нескольких десятков лет.

Распространение антропогенных отложений имеет связь с элементами рельефа, геологическим строением коренных отложений и функциональными зонами территории. Ф.В. Котлов [19] различает формы накопления антропогенных отложений: повсеместное (широко площадное) на староосвоенных землях; линейное – связанное с авто- и железными дорогами, валами, овражно-балочной сетью; очаговое (локальное) – засыпанные болота, пруды, отдельные стройплощадки.

Для территории Москвы корреляционный анализ показал, что мощности техногенных отложений практически не зависят от морфометрических характеристик рельефа и литологического состава четвертичных отложений [20, 21]. Отмечается слабая тенденция увеличения мощностей техногенных отложений с ростом глубины расчленения и мощностей четвертичных отложений, т.е. наибольшие мощности тяготеют к долинам, где рельеф максимально изменен [22]. При этом «различают «сознательное преобразование» природного рельефа, стихийное преобразование рельефа в результате нерационального ведения хозяйства, нежелательные формы рельефа – неизбежный результат некоторых видов горных и строительных работ» [23].

С.Н. Ковалев [24] считает «свалкоопасными» около 2/3 длины балок. Как правило, наиболее трансформированными оказываются верхние звенья эрозионной сети, формы более высоких порядков уничтожаются позже. Подземные воды способствуют как цементации техногенных отложений, так и развитию суффозии и карста, оседаний поверхности. Засыпанные кладбища и свалки могут быть отнесены к геопатогенным зонам [22].

Антропогенные отложения на городских территориях, представляя собой новейший покровный и, как правило, рыхлый материал, в подавляющем большинстве случаев никак не связаны с областями своего образования. Таким образом, данный тип отложений никак не сопряжен с зонами разрушения (денудации), и не коррелирует каким-либо геоморфологическим формам. Э.А. Лихачева и др. приходят к выводу, что «мощность антропогенных отложений скорее можно рассматривать как показатель глубины поверхностного воздействия градостроительства на геосреду» [21, с. 74].

Таким образом, в настоящее время вопросы изучения антропогенных отложений находятся в стадии формирования, объект и предмет изучения требуют детального научно-практического осмысления.

Историю накопления антропогенных отложений на территории Саратова можно вести со времени его основания в 1590 году. За более чем 420-летний период практически на всей площади города сформированы многометровые толщи, разнородные по своему составу и свойствам [25].

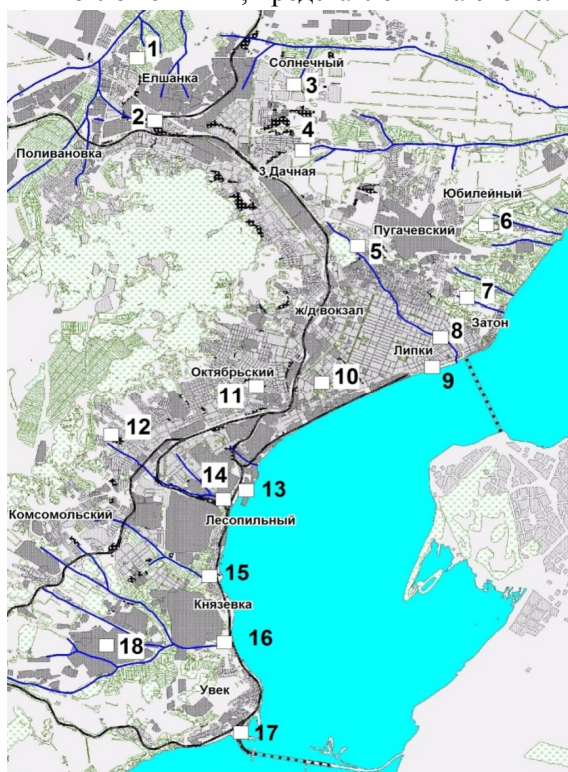
На территории Саратова распространены все семь генетических комплексов антропогенных отложений, выделенных в классификации Ф.В. Котлова [1] (таблица).

Формирование антропогенных отложений и изменение рельефа приводит к негативным геоэкологическим последствиям, основные из которых следующие: 1) перестройка водосборных бассейнов, оформление бессточных районов; 2) химическое загрязнение почвогрунтов; 3) изменение инженерно-геологических свойств грунтов; 4) активизация опасных экзогенных процессов; 5) заиление водоемов (в районе Саратова – Волгоградского водохранилища).

Генетические комплексы антропогенных отложений на территории Саратова

Генетический тип	Особенности формирования	Распространение	Показательные примеры
Насыпные	Ликвидация отрицательных форм рельефа, инженерная подготовка территории	Повсеместно в зонах застройки	Долины Белоглинского и др. оврагов, полигон в пос. Октябрьском, железнодорожные насыпи
Намывные	Дренажные, транспортные и берегозащитные функции	Устьевые части приволжских балок и оврагов	Устье Глебучева, Залетаевского и др. оврагов
Отложения искусственных водоемов	Механическое осаждение	Волгоградское вдхр., пруды	Донные отложения прудов в Горпарке
Искусственные подводные грунты	Грунтовые основания	Волгоградское вдхр.	Берегоукрепительные и берегозащитные сооружения
Измененные водные осадки естественных водоемов	Следствие изменения гидрологического режима	Волгоградское вдхр., гидросеть в городской черте	Донные осадки Волгоградского водохранилища, р. Елшанки и др.
Породы, искусственно преобразованные в естественном залегании	Следствие механических и динамических нагрузок со стороны города	Повсеместно в зонах застройки	Земли НИИ СХ Юго-Востока, породы Елшанской ПХГ
Привнесенные в породы материалы и конструкции и стихийное накопление подземного культурного слоя	Подземные виды работ	Повсеместно в зонах застройки	Штольни г. Увек, фундаменты зданий, кладбища

Полигоны, на которых в наиболее показательном виде представлены геоэкологические проблемы, связанные с антропогенными отложениями, представлены на схеме.



Показательные полигоны распространения антропогенных отложений

Цифрами на схеме обозначены: 1 – отвалы карьерной разработки (окрестности пос. Елшанка); 2 – тело железнодорожной насыпи в районе станции Трофимовской; 3 – насыпные грунты на месте заболоченных территорий; 4 – складирование грунтов в верховье р. Гуселка-1; 5 – цепь дамб в верховье Глебучева оврага; 6 – насыпь автомобильного моста через Алексеевский овраг; 7 – складирование отходов в верховьях Маханного оврага; 8 – полигон намывных и насыпных грунтов в Глебучевом

овраге; 9 – Набережная Космонавтов; 10 – дамбы в Горпарке; 11 – полигон складирования отходов в пос. Октябрьском; 12 – полигон в карьере Заплатиновка; 13 – намывное тело грузового порта; 14 – намытые грунты в устьевой части Залетаевского оврага; 15 – намытые грунты в устьевой части Токмаковского оврага, 16 – устьевая часть р. Увековки; 17 – насыпи в районе железнодорожного моста через Волгу; 18 – выравнивание рельефа на промышленной площадке ООО «Саратоворгсинтез».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-05-31260 мол. а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / Ф.В. Котлов. М.: Недра, 1978. 263 с.
2. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
3. Афонин А.П. Классификация техногенных грунтов / А.П. Афонин, И.В. Дудлер, Р.С. Зиангиров и др. // Инженерная геология. 1990. №1. С. 115-121.
4. Огородникова Е.Н. Формирование современных отложений в условиях техногенного литогенеза / Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: материалы VII Всерос. совещания по изучению четвертичного периода. Апатиты; СПб, 2011. Т. 2. С. 119-121.
5. Авдусин Д.А. Полевая археология СССР / Д.А. Авдусин. М.: Высш. шк., 1980. 335 с.
6. Матюшин Г.Н. Археологический словарь / Г.Н. Матюшин. М.: Просвещение, 1996. 304 с.
7. Здобин Д.Ю. О классификации грунтов культурного слоя / Д.Ю. Здобин // Российская археология. 2008. № 1. С. 48-52.
8. Глазовская М.А. Технопедогенез: формы проявления / М.А. Глазовская, Н.П. Солнцева, А.Н. Геннадиев // Успехи почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 108-114.
9. Лебедева И.И. Классификационное положение и систематика антропогенно-преобразованных почв / И.И. Лебедева, В.Д. Тонконогов, Л.Л. Шишов // Почвоведение. 1993. № 9. С. 98-106.
10. Lehmann A. Soil development in young soils from technogenic substrates / A. Lehmann. Abstracts SUITMA. Beijing, 2007.
11. Shoba S. Urban soils of floodplains in the City of Moscow / S. Shoba, T. Prokofieva, O. Kruglova. Session 77-1: Site disturbance: The role of soil morphology in its assessment. Proceedings from the 18 World Congress of Soil Science, Philadelphia, PA, 2006.
12. Геннадиев А.Н. О принципах группировки и номенклатуры техногенно-измененных почв / А.Н. Геннадиев, Н.П. Солнцева, М.И. Герасимова // Почвоведение. 1992. № 2. С. 49-60.
13. Лихачева Э.А. Экологическая геоморфология: словарь-справочник / Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 240 с.
14. Каздым А.А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий: палеоэкологический аспект / А.А. Каздым. М.: Наука, 2006. 158 с.
15. Несмеянов С.А. Техногенные образования как геологическая формация / С.А. Несмеянов, О.А. Воейкова, А.А. Каздым и др. // Геоэкология. 2009. № 5. С. 387-398.
16. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая стратификация техногенных накоплений как основа оценки дефицита несущей способности оснований памятников / Е.М. Пашкин, О.В. Домарев // Геоэкология. 1999. №4. С. 328-332.
17. Сычева С.А. Эволюция культурных слоев эпохи голоцена / С.А. Сычева, Н.Б. Леонова, А.А. Узянов и др. // Известия РАН. Сер. географ. 2000. №4. С. 29-37.
18. Кутепов Ю.И. Техногенез намывных отложений / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова. // Геоэкология. 2003. №5. С. 405-413.
19. Котлов Ф.В. Антропогенные изменения рельефа на примере г. Москвы / Ф.В. Котлов // Вопросы географии. 1961. Сб. 52. С. 134-150.
20. Зеегофер Ю.О. Инженерно-геоморфологический анализ рельефа города (на примере Москвы) / Ю.О. Зеегофер, Э.А. Лихачева, И.К. Сипягина и др. // Вопросы географии. 1979. № 111. С. 48-59.
21. Лихачева Э.А. Опыт оценки изменения рельефа городской территории (на примере г. Москвы) / Э.А. Лихачева, Ю.О. Зеегофер, А.Ф. Краснов и др. // Новейшие методы геоморфологических исследований, 1981. С. 72-84.
22. Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды / отв. ред. Г.Л. Кофф, Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-Пресс, 2006. 200 с.
23. Лихачева Э.А. История формирования направления и терминология / Э.А. Лихачева, В.П. Палиенко, М.Е. Кладовщикова и др. // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 33-43.

24. Ковалев С.Н. Овражно-балочные системы в городах / С.Н. Ковалев. М.: Компания Принт-КоВ, 2011. 138 с.

25. Шешнёв А.С. Антропогенные отложения и формы рельефа городских территорий: формирование, развитие, геоэкологическая роль (на примере Саратова) / А.С. Шешнёв; под ред. А.В. Иванова. Саратов: СГТУ, 2012. 287 с.

Шешнёв Александр Сергеевич – кандидат географических наук, ассистент кафедры «Геоэкология и инженерная геология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander S. Sheshnev – Ph. D., Assistant
Department of Geoecology and Engineering Geology,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Решетников Михаил Владимирович – кандидат географических наук, доцент кафедры «Геоэкология и инженерная геология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail V. Reshetnikov – Ph. D., Associate Professor
Department of Geoecology and Engineering Geology,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Жучков Павел Сергеевич – аспирант «Геоэкология и инженерная геология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Pavel S. Zhuchkov – Postgraduate
Department of Geoecology and Engineering Geology
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Кузнецов Виталий Владимирович – студент кафедры геоэкологии Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Vitaly V. Kuznetsov – Student
Department of Geoecology
Chernyshevsky Saratov State University

Статья поступила в редакцию 21.11.13, принята к опубликованию 15.12.13

ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ

УДК 07.00.02

В.А. Аблизин

«НАКАНУНЕ 1 СЕНТЯБРЯ 1939 ГОДА. ФОРМУЛА ВОЙНЫ И МИРА»

Комплекс советско-германских отношений 1939 – 1941 гг. сегодня больше, чем какой либо другой сюжет мировой истории, привлекает к себе самое пристальное внимание. Историки продолжают дискутировать по поводу того, как два ранее непримиримых режима добились улучшения своих политических отношений, как так получилось, что два правительства сошлись на подписании пакта нападения, секретных протоколов к нему и, наконец, даже договора «О дружбе и границе». Истоки такого поворота следует искать в трехсторонних советско-англо-французских переговорах весны и лета 1939 г. О таких контактах уже написано немало работ, главным образом, советских. Но, несмотря на проделанный исследователями труд, многие вопросы сегодня все еще остаются неизученными до конца, в частности, все, что касается обсуждения советской формулы «косвенной агрессии». Представленная статья рассказывает о том, в чем заключалось ее содержание, какова ее роль в неудаче трехсторонних переговоров и, соответственно, в сближении советского правительства с германским рейхом.

Формула «косвенной агрессии», политика гарантий, немецкая агрессия, переговоры, сближение

V.A. Ablizin

«ON THE EVE OF SEPTEMBER 1, 1939. THE FORMULA FOR WAR AND PEACE»

Today the complex of Soviet-German relations within 1939 – 1941 compared to any other event in the world history is given the highest priority. Historians continue to debate over how it happened that the two previously irreconcilable regimes have improved their political relations, the two governments agreed on signing the Non-Aggression Pact, secret Protocols, and finally A Friendship and the Border Treaty. The origins of such turn in the relations is to be traced in the tripartite Soviet-Anglo-French negotiations in the spring and summer of 1939. Numerous works, mainly by the Soviet researchers, have been written about these contacts. However, despite the tremendous research work, many issues remain unexplored, particularly the issues with regard to discussion of the Soviet formula «indirect aggression». This article presents the idea and contents behind the formula, and the role it played in the failure of the tripartite negotiations, and rapprochement between the Soviet government and the German Reich.

The formula of «indirect aggression», the policy guarantees the German aggression, negotiations, convergence

3 апреля 1939 г. Гитлер впервые всерьез заговорил о своем намерении разгромить Польшу в скоротечной кампании. 11 апреля он утвердил план польской операции (директиву «Weiss»). Европа вплотную приблизилась к началу Второй мировой войны. 13 апреля английское и французское правительства выступили с гарантиями польских и румынских границ. 14 апреля Англия запросила Москву, чем она сможет помочь Польше и Румынии. 16 апреля Франция предложила СССР обменяться

письмами о взаимной поддержке в случае немецкой агрессии на основе двустороннего договора о взаимной помощи 1935 г. [1]. Со своей стороны Москва внесла свое предложение об оформлении взаимопомощи, к которому могли бы присоединиться Финляндия, Польша, Эстония, Латвия и Румыния [2]. 8 мая английское правительство ответило, что «пока еще не созрело время для такого серьезного договора». Вместо этого оно предложило договор, в соответствии с которым Советский Союз был бы обязан прийти на помощь Англии и Франции в случае германского нападения на Польшу, Румынию или Бельгию, но при этом западные союзники не помогли бы СССР, если бы произошло нападение вермахта на балтийские республики [3]. Правительство Н. Чемберлена настаивало на варианте соглашения, из которого следовало, что если союзники окажутся втянутыми в военные действия во исполнении принятых обязательств, советская сторона осуществит немедленную помощь «в случае выраженного желания в такой помощи, таким образом, и на таких условиях, как об этом будет достигнута договоренность» [4].

Английский историк А. Тейлор назвал это предложение «концепцией крана»: «Советская помощь включалась и выключалась по воле английского кабинета министров, но только не советского правительства» [5]. Получалось, что в случае немецкой агрессии СССР должен был прийти на помощь Польше, Румынии и Бельгии, но Англия и Франция отказывались помогать Советскому Союзу, если бы Германия захватила прибалтийские государства [5]. Такой отказ открывал реальный путь для немецкой агрессии на восток, в сторону советских границ. Москва в таких условиях тем не менее не оставила своих попыток добиться согласия с Западом. Серьезным испытанием для новых контактов явилась советская формула «косвенной агрессии». Советская сторона выразила свое согласие оказать западным соседям необходимую помощь в случае, если «указанное государство (Прибалтики, Финляндия, Польша, Венгрия, Турция или Румыния) согласится под угрозой силы со стороны какой-либо другой державы или без такой угрозы, но которое повлечет за собой утрату этим государством независимости или нарушение его нейтралитета» [4]. Суть формулы трактовалась достаточно широко: вмешательство советской стороны предполагалось в случае выявления возможного государственного переворота или очевидного поворота в политике соседа в пользу агрессора. Трактовка вызвала недовольство тех, кому обещалась прямая военная помощь. Хельсинки назвал советские предложения «прямым поводом к агрессии», Таллин – неприкрытым намеком на «превентивную агрессию», а Каунас – намеком на «превентивную оккупацию» [6, 8]. Английские министры разделяли мнение балтийских коллег. «Если бы мы захотели быть циничными, – заявил британский министр торговли, то мы могли бы спокойно принять формулу, понимая, что если возникнет перспектива ее применения, то мы сможем разойтись с русскими в толковании ее условий» [9].

27 мая Англия и Франция вручили Москве свой вариант соглашения, который предусматривал не реальные действия, а всего лишь консультации сторон в случае угрозы агрессии, при этом оказание помощи ставилось в зависимость от согласия самой жертвы [11]. 2 июня Советский Союз повторил свою заинтересованность в распространении гарантий на балтийских соседей, но она была немедленно отклонена английским и французским правительствами [11]. 15 июня союзники предложили ограничить свои переговоры обещанием начать трехсторонние консультации в случае одной лишь очевидной угрозы Латвии, Эстонии, Финляндии, Голландии и Швейцарии [2, 10]. Однако 16 июня СССР вновь решительно потребовал распространения формулы «косвенной агрессии» на Прибалтику. 22 июня Франция, поддавшись советской настойчивости, предложила Англии включить балтийские лимитрофы в список тех государств, на которые должны были распространиться гарантии целостности границ [8]. 28 июня советское руководство повторило свои предложения, получив очередное одобрение французского кабинета министров. В результате 1 июля западные союзники, наконец, выразили готовность распространить гарантии на Прибалтику [8, 10]. Однако вопрос о «косвенной агрессии» в данном случае был снова обойден молчанием, западные союзники выражали готовность сойтись на «прямой агрессии». 1 июля советская сторона в очередной раз повторила, чтобы участники переговоров общими усилиями выступили для борьбы с фашизмом в случае «косвенной агрессии» [7]. Однако и это предложение было проигнорировано. 3 июля Москва вновь с удивительным, но пугающим союзников упорством, напомнила свое требование [1, 2, 8]. 10 июля НКВД СССР выступил с протестом по поводу затягивания переговоров. Четыре дня спустя последовало очередное предложение [1, 2, 8]. Бесполезно. Тем не менее 23 июля советское руководство высказалось за проведение трехсторонних переговоров о заключении военной конвенции. 27 июля стороны оговорили условия для проведения переговоров на уровне военных штабов. Будущее соглашение должно было определить, сколько вооруженных сил обязана будет выставить каждая сторона для борьбы с агрессором [11, 12]. Переговоры представителей союзнических генеральных штабов с советскими коллегами продолжались с 14 по 21 августа.

В качестве основного условия подписания военной конвенции сталинское руководство выдвинуло требование пропуска советских частей по балтийскому, польскому (галицийскому и виленскому) и румынскому (буковинскому) коридорам. 7 пункт сценария переговоров гласил: «Если выяснится, что свободный пропуск советских войск является исключенным, следует заявить, что без этого условия соглашение невозможно, т.к. без свободного пропуска советских войск по указанным коридорам борьба с агрессией в любом ее варианте с самого начала обречена на провал. Мы, поэтому участвовать в предприятии, заранее обреченном на провал, не намерены» [2, 4]. Западные миссии стремились убедить советских коллег в необходимости выступить для борьбы с агрессором, даже не имея реальной возможности нанести по нему свой удар. Они твердили, что если «вермахт нападет на восточных соседей, то те будут умолять русских оказать им скорейшую военную помощь» [9].

Москва отклонила предложение союзников [2, 10, 11]. Контакты сторон закончились неудачей. 11 августа в Кремле было принято решение вступить в прямые переговоры с германским правительством [17]. Спрашивается: насколько искренне была советская сторона в переговорах с западными коллегами, в какой степени она была заинтересована в согласовании «косвенной агрессии и не использовала ли она ее содержание для закулисного сближения с Третьим рейхом? Доступные историкам документы позволяют лишь предполагать, что формула явилась, «лакмусовой бумагой», т.е. проверкой запада на прочность. Политика, как известно, – это «искусство возможного». Военные переговоры сторон служили «ширмой», за которой каждый участник дебатов старался добиться для себя максимальных преимуществ за нейтралитет в близившейся германо-польской войне. Англичане, пытались выдать советскую формулу «косвенной агрессии» за «тройянский сюрприз». Но аналогичный подарок они собирались преподнести и советской стороне. Контакты со сталинским руководством, в том числе и по определению «косвенной агрессии», служили удобным поводом, чтобы, добиться достижения с нацистским руководством очередного мюнхенского соглашения, которое бы позволило союзникам остаться в стороне от европейской войны, столкнув ненавистный им большевизм с не менее неприятным для них нацизмом. 3 августа британский кабинет министров уведомил немецких коллег о своем согласии оформить с ними многообещающий двусторонний договор о ненападении и невмешательстве. «Германия, – значилось в предложении, – обещает не вмешиваться в дела Британской империи, а та, со своей стороны, обещает полностью уважать германские политические интересы в Восточной и Юго-Восточной Европе» [2]. 9 и 10 августа английское правительство повторило, что «проведение двусторонних переговоров сможет разрядить сложившуюся напряженность: «Британское правительство имеет живейшее желание, чтобы это время наступило, и тогда оно пойдет очень далеко для достижения этой цели» [8].

12 и 14 августа со стороны Лондона последовали очередные многообещающие предложения, касавшиеся разграничения германских и английских интересов. Форрин-офис соглашался не вмешиваться в германо-польские отношения при условии уважения рейхом его экономических интересов в балканском регионе [1, с. 302–303, 305–306]. Берлин на эти предложения не ответил. Немецкие лидеры убедились, что раз англичане идут на такие широкие обещания, значит, они не обладают реальными рычагами воздействия на своих восточных партнеров и союзников, поэтому продолжать свои переговоры с ними им нет никакого смысла. Внимание нацистской верхушки поглотили перспективы улучшения отношений со сталинским режимом.

В Кремле не знали о содержании английских предложений, но догадывались, так же как и о немецких намерениях. Сталинское руководство не доверяло ни английскому, ни французскому, так же, как оно не доверяло и привыкшему всех обманывать германскому правительству. На примере «косвенной агрессии» кремлевское правительство, с одной стороны, прощупывало далеко идущие намерения партнеров в заигрывании с гитлеровцами, а с другой – недвусмысленно намекало на свои не менее далеко идущие интересы в переустройстве Европы. Выдвинутая им формула показывала, на каких условиях советская сторона готова была объединиться с демократической (англо-французской) или фашистской (германо-итальянской) коалицией. Все зависело от того, кто был готов смириться с советским доминированием на Балтике. Лондон и Париж не проявили интереса к советским требованиям, свою заинтересованность обнаружило гитлеровское правительство: приближалась польская кампания и нацистской верхушке на Востоке был крайне необходим нейтралитет советского «колосса». Первые контакты сторон проводились уже с мая-месяца, но они носили вялотекущий характер.

С началом августа их процесс значительно ускорился. 8 августа состоялась беседа советского посла в Берлине Г.А. Астахова с министром иностранных дел рейха И. Риббентропом. В разговоре рейхсминистр выразил согласие фюрера подписать с советской стороной секретный протокол о разграничении двусторонних интересов в Европе. Он указал на готовность германского правительства договориться с СССР по всем вопросам, касающимся территории «на всем протяжении от Черного

моря до Балтийского». Однако прежде чем перейти к проблемам германо-советского сближения, – заявил министр, – немецкое правительство хотело бы получить гарантии того, что намерения второй стороны серьезны». Он дал понять советскому коллеге, что «будет готов к уточнениям сразу же, как только советское руководство официально уведомит германское правительство о том, что оно готово к улучшению двусторонних отношений». Астахов, сообщая о состоявшемся разговоре, отметил, что «немцы были бы не против вовлечь нас в разговоры более далеко идущего порядка... Немцы желают создать у нас впечатление, что готовы были бы объявить свою незаинтересованность (по крайней мере, политическую) к судьбе прибалтов (кроме Литвы), Бессарабии, русской Польши (с изменениями в пользу немцев) и отмежеваться от аспирации на Украину. За это они желали бы иметь от нас подтверждение нашей незаинтересованности к судьбе Данцига, бывш[ей] германской Польши (быть может, с прибавкой до линии Варты или даже Вислы) и австрийской Галиции» [1, 17]. Сообщение полпреда было воспринято сталинским руководством с интересом. 10 августа им были приняты условия, которые обрекали переговоры с союзниками на скорый провал. А уже 11 августа было принято решение вступить в прямые переговоры с Берлином. Кремль подтвердил свою заинтересованность в дальнейших разговорах, но сообщил о «желательности» их организации в Москве [17]. 13-го числа из рейхсканцелярии поступила ответная телеграмма, в которой гитлеровское руководство советовало русским коллегам «не терять для этого времени» [17].

15 августа гитлеровское правительство напомнило, что «жизненные интересы двух стран прилегают друг к другу, но в столкновениях нет естественной потребности, причины для агрессивного поведения одной страны по отношению к другой отсутствуют» [17]. 16 августа немецкая сторона подтвердила свое согласие гарантировать советские интересы [17]. 19 августа управление внешней разведки (4-е отделение 5-го управления ГУГБ НКВД СССР под руководством майора П.А. Судоплатова) получило указание «выяснить условия» достижения компромисса в данном вопросе [14]. Но выполнить поставленную задачу резидентам разведки не удалось. 20 августа по инициативе Берлина состоялось долгожданное подписание советско-германского кредитного соглашения. Дорога к улучшению политических отношений была открыта. Москва уведомила германское правительство о своем согласии оформить двустороннее сближение 26-27 августа. Но Берлин это не устраивало: отчет польской кампании пошел на часы. По этой причине 21 августа Гитлер направил Сталину письмо, в котором он настойчиво просил советского вождя об оформлении договора о ненападении и причитающихся к нему секретных протоколов не позднее 22-23 августа [17]. Сталин согласился на 23 августа [1]. Немецкий посол в Москве Ф. фон Шуленбург немедленно передал согласие вождя в Берлин. Гитлеру передали его в тот момент, когда фюрер с соратниками сидел за обеденным столом. Главный архитектор рейха и будущий министр вооружений А. Шпеер вспоминал: «Прочитав телеграмму, он пришел в необыкновенное возбуждение. Вскочил, воздел руки к небу и сказал» «Это стопроцентная победа! Теперь весь мир у меня в кармане! И хотя я этого никогда не делаю, я выпью бутылку шампанского» [16]. В то же время в Москве Шуленбург за своим обеденным столом с бокалом вина свидетельствовал: «Это дипломатическое чудо. Мы добились за три недели того, чего ни одна другая дипломатия не могла добиться от русских на протяжении многих месяцев переговоров» [15]. По результатам двустороннего сближения советской сферой интересов были признаны территории, вытекающие из формулы «косвенной агрессии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Год кризиса 1938 – 1939. Документы и материалы: в 2 кн. М., 1990. Кн. 1.
2. Документы внешней политики СССР: в 23 т. М., 1990. Т. 22. Кн. 1.
3. Емельянов Ю.П. Прибалтика. Почему они не любят Бронзового солдата? / Ю.П. Емельянов. М., 2007.
4. Дипломатические документы кануна и начала Второй мировой войны. М., 1981.
5. Каспаравичюс А. Дипломатическая реакция Прибалтийских республик на пакт Риббентропа-Молотова. / А. Каспаравичюс // Международный кризис 1939-1941 гг.: от советско-германских договоров 1939 года до нападения гитлеровской Германии на СССР. М., 2006.
6. Полпреды сообщают: сб. документов и материалов об отношениях Советского Союза с Латвией, Литвой и Эстонией. Август 1939 – август 1940 года. М., 1990.
7. Панкратова М. Англо-франко-советские переговоры 1939 года. / М. Панкратова // Международная жизнь. 1989. № 12.
8. СССР и Литва в годы Второй мировой войны. СССР и Литовская республика (март 1939 – август 1940 года). Документы и материалы: в 2 т. Vilnius, 2006: Т. 1.

9. Dallin, A. The Baltic States between Nazi Germany and Soviet Russia / A. Dallin // The Baltic States in Peace and War. – London, 1998.
10. Семиряга М.И. Тайны сталинской дипломатии. 1939–1941 гг. / М.И. Семиряга. М., 1991.
11. Овсянный И.М. Последние недели мира / И. М. Овсянный. М., 1981.
12. Мельтюхов М.И. Советско-польские войны. Военно-политическое противостояние 1918 – 1939 гг. / М. И. Мельтюхов. М., 2001.
13. Мюллер-Гиллебранд Б. Сухопутная армия Германии. 1933–1945 гг. / Б. Мюллер-Гиллебранд. М., 2003.
14. Судоплатов П.А. Москва. Кремль. Лубянка. 1930 – 1950-е гг.: в 2 кн. М., 2005. Кн. 2.
15. Хильгер М., Майер А. Россия и Германия. Союзники или враги? М., 2008.
16. Шпеер А. Воспоминания / А. Шпеер. Смоленск, 1999.
17. Auswärtige deutsche Politik 1939 – 1941: vd. 1 – 7. Serie A-D. Baden, 1977. Serie A. Bd. 6.

Аблизин Владимир Александрович –
кандидат исторических наук, доцент кафедры
«Гуманитарные и социальные науки»
Саратовского военного института
внутренних войск МВД России

Vladimir A. Ablizin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Humanities and Social Sciences,
Saratov Military Institute of Internal Troops
of the Ministry for Internal Affairs, Russia

Статья поступила в редакцию 17.10.14, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 352.075

Т.Е. Зерчанинова

СОЦИАЛЬНЫЙ АУДИТ РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Статья посвящена теории и практике социального аудита развития муниципальных образований. Автором разработана концептуальная модель социального аудита, включающая следующие элементы: 1) субъекты социального аудита, 2) объекты, 3) принципы, 4) цель, 5) функции, 6) средства и методы социального аудита, 7) условия, 8) результаты социального аудита. В статье описываются результаты социального аудита развития муниципальных образований Свердловской области.

Социальный аудит, эффективность, муниципальные образования

T.E. Zerchaninova

SOCIAL AUDIT IN THE DEVELOPMENT OF MUNICIPALITIES

The article deals with the theory and practice of social audit in the development of municipalities. The authors have developed a conceptual model of social audit, including the following elements: 1) subjects of social audit, 2) facilities, 3) principles, 4) purpose, 5) functions, 6) means and methods of social audit, 7) conditions, 8) results of the social audit. This article describes the results of the social audit relating the development of municipalities in Sverdlovsk region.

Social audit, effectiveness, municipalities

Развитие муниципальных образований в России характеризуется целым рядом тенденций: отмечается сильно выраженная дифференциация социально-экономических условий для развития муниципальных образований даже в пределах одного субъекта РФ; особую актуальность приобретает внедрение механизмов стратегического и проектного управления территориями; выдвигаются более высокие требования к компетентности муниципальных служащих; со стороны населения и государства предъявляются требования повышения эффективности деятельности органов местного самоуправления.

управления. В этих условиях особую актуальность приобретает поиск современных методов оценки эффективности муниципального управления. В целях диагностики состояния муниципальных образований и определения перспектив их развития автор предлагает использовать такую исследовательскую технологию, как социальный аудит [1].

Социальный аудит развития муниципальных образований рассматривается нами как вид социоинженерной деятельности, включающий социальную диагностику состояния муниципальных образований, оценку социальной эффективности деятельности органов местного самоуправления и консультационную поддержку органов местного самоуправления по вопросам развития муниципальных образований. Нами предложена концептуальная модель социального аудита, при разработке которой использованы отдельные положения Концепции российской модели социального аудита [2]. Она наполнена новым содержанием, адаптированным к муниципальному управлению и к социологическим методам исследования.

Структура концептуальной модели социального аудита представлена взаимосвязанными элементами: 1) субъекты социального аудита, 2) объекты социального аудита, 3) принципы социального аудита, 4) цель социального аудита, 5) функции социального аудита, 6) средства и методы социального аудита, 7) условия, в которых осуществляется социальный аудит, 8) результаты социального аудита (рис. 1).

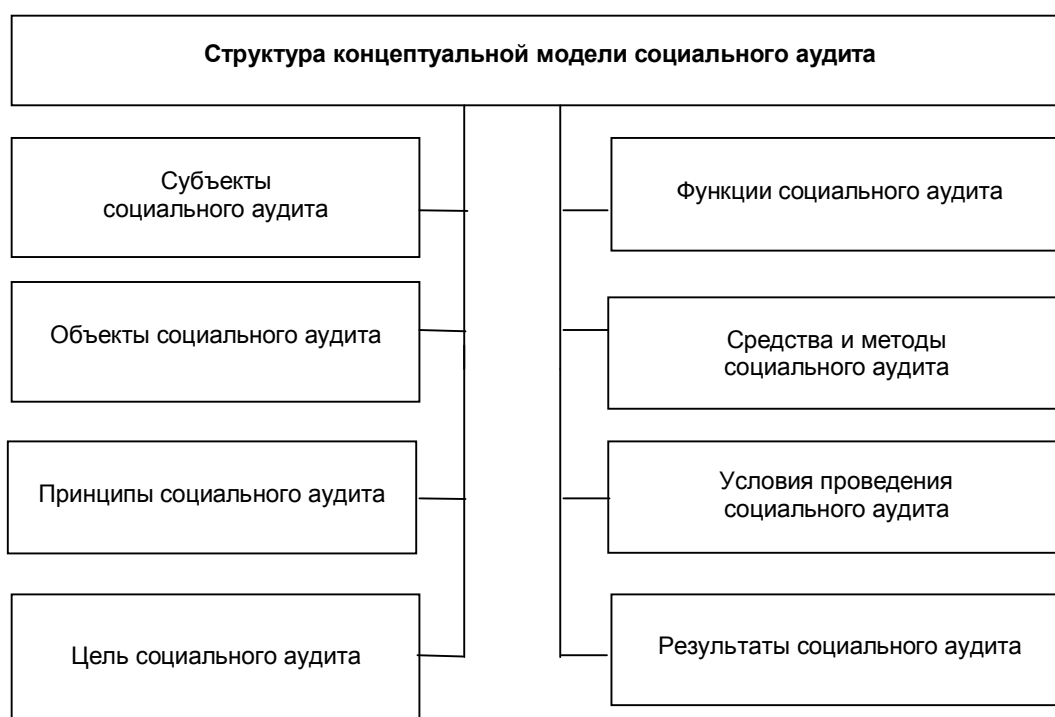


Рис. 1. Концептуальная модель социального аудита

Рассмотрим элементы предлагаемой модели.

1. Субъектами социального аудита развития муниципальных образований являются заказчики социального аудита (органы государственной власти и органы местного самоуправления, политические партии, общественные организации и другие институты гражданского общества) и исполнители (научно-исследовательские коллективы, организации, отдельные ученые).

2. Объектом социального аудита развития муниципальных образований является деятельность органов местного самоуправления.

3. Принципы социального аудита: добровольность, рекомендательный характер, независимость социальных аудиторов от заказчиков, открытость результатов социального аудита, профессионализм аудиторов, достоверность результатов социального аудита.

4. Целью социального аудита развития муниципальных образований является оценка социальной эффективности деятельности органов местного самоуправления и разработка управленческих технологий по совершенствованию этой деятельности, повышению её эффективности.

5. Функции социального аудита: диагностическая, оценочная, функция обратной связи, корректирующая, функция регулирования взаимодействия между органами местного самоуправления, общественными организациями и институтами гражданского общества.

6. Средства и методы социального аудита. Средства социального аудита: познавательные (методы исследовательской деятельности) и предметные (компьютеры, оргтехника, канцелярия). Методы социального аудита могут быть разделены на две группы: 1) теоретические: описание, анализ, синтез, моделирование, измерение, сравнение, классификация, типология; 2) эмпирические: анализ официальных документов, социологический опрос, фокус-группа, экспертные методы, эвристические методы, анализ статистических показателей и др.

7. Условия, в которых осуществляется социальный аудит – это комплекс характеристик среды, в которой осуществляется деятельность, и которые необходимы для её реализации: политические, экономические, социальные, материально-финансовые, нормативно-правовые, организационные, информационные условия, технические, научно-методические, кадровые мотивационные,

8. Результаты социального аудита развития муниципальных образований включают: результаты социальной диагностики, результаты оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления и исполнителей, практические рекомендации по совершенствованию деятельности органов местного самоуправления или управленческие технологии, готовые к внедрению.

Процедура социального аудита представляет собой последовательность всех операций, общую систему действий, из которых состоит процесс социального аудита. Процедура социального аудита развития муниципальных образований включает три этапа [3]: 1) диагностический, 2) оценочный, 3) консультационный (рис. 2).

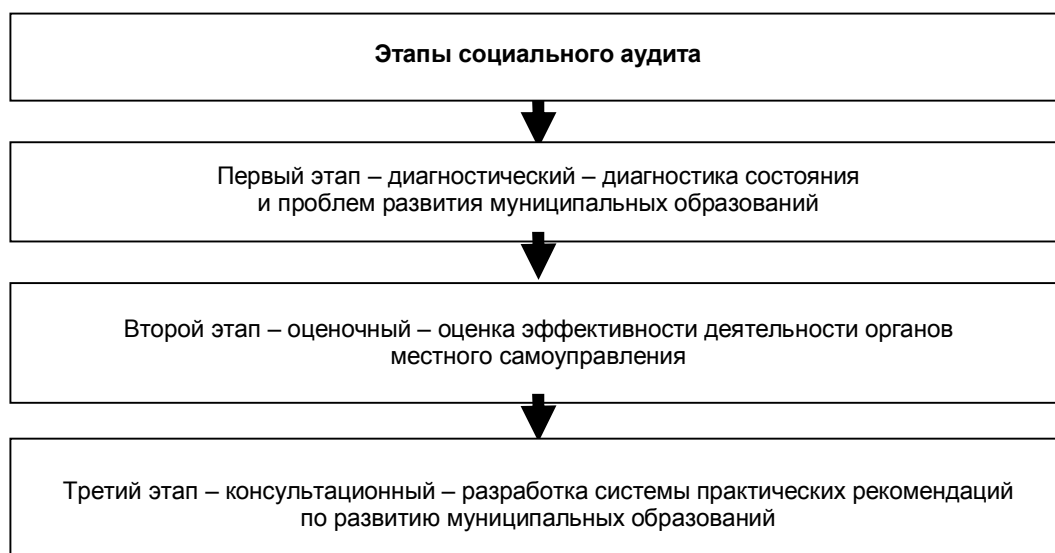


Рис. 2. Этапы социального аудита

На первом этапе осуществляется диагностика проблем развития муниципальных образований, которая позволяет выявить причины возникновения социальных проблем, проанализировать влияние разнообразных факторов и выработать предложения по решению социальных проблем. Для этого могут быть использованы самые разнообразные методы социального аудита, выбор которых зависит от конкретных обстоятельств и условий проведения социального аудита. В том примере, который мы хотим привести в данной работе, диагностика осуществлялась методом экспертного опроса.

В социальном аудите широко применяются методы, основанные на знаниях и интуиции экспертов. Эксперт – это высококвалифицированный специалист, компетентный в исследуемом вопросе, обладающий специальными знаниями и опытом практической работы в изучаемой сфере. Можно выделить четыре основные функции этого метода в исследовании: оценка состояния объекта (диагностика); оценка причин явления или процесса; прогноз тенденций развития социальных процессов; выработка форм и методов решения социальной проблемы.

Эмпирической базой нашего исследования являются результаты опроса руководителей муниципальных образований (глав муниципальных образований, глав местных администраций и их заместителей), который был организован Российской академией народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации в целях совершенствования и развития механизмов подготовки кадров органов местного самоуправления. Сбор и обработку данных в муниципальных образованиях Свердловской области проводили Т.Е. Зерчанинова и Е.И. Васильева в период с 03 по 13 мая 2011 года. Методом анкетного экспертного анкетирования опрошены 107 человек.

Оценивая социально-экономическую ситуацию на территории своих муниципальных образований в настоящее время, 64 % экспертов сказали, что есть элементы социальной напряженности. 26 % считают обстановку благоприятной или нормальной. Крайне напряженная обстановка в МО сложилась по мнению 8 %. Остальные 2 % указали, что обстановка на грани социального взрыва или социальной апатии.

Экспертная оценка социальных проблем в муниципальных образованиях представлена в табл. 1.

Таблица 1

Оцените социальные проблемы в Вашем муниципальном образовании по степени важности (остроты) – высокая, средняя или низкая

Оцениваемый критерий	Высокая степень, %	Средняя степень, %	Низкая степень, %
высокая смертность	30	64	6
низкая рождаемость	12	73	15
алкоголизм	38	55	7
миграция трудоспособного населения	31	54	15
высокий уровень безработицы	25	44	31
наркомания	22	46	32
высокий уровень преступности	1	53	46
рост уровня заболеваний, ухудшение здоровья населения	25	60	15
проблемы детства и молодежи	15	70	15
коррупция	0	29	71
экология	28	41	32

Эксперты отметили наиболее высокую степень остроты таких социальных проблем как алкоголизм, миграция трудоспособного населения и высокая смертность.

Экспертная оценка экономических проблем в муниципальных образованиях представлена в табл. 2.

Таблица 2

Оцените экономические проблемы в Вашем муниципальном образовании по степени важности (остроты) – высокая, средняя или низкая

Оцениваемый критерий	Высокая степень, %	Средняя степень, %	Низкая степень, %
ремонт и строительство дорог	76	16	8
транспортное сообщение	13	61	26
состояние ЖКХ	69	25	6
проблемы строительства нового жилья в населенных пунктах	58	31	11
проблемы капитального ремонта жилья в населенных пунктах	77	16	7
недостаточное обеспечение инфраструктурой для развития физической культуры и спорта	35	44	21
низкий / недостаточный уровень здравоохранения	16	66	18
недостаток квалифицированных кадров в сфере:			
<i>здравоохранения</i>	53	38	9
<i>дошкольных учреждений</i>	15	47	38
<i>общеобразовательных учреждений</i>	13	47	40
отсутствие условий для развития малого и среднего бизнеса	9	60	31

По мнению экспертов, наиболее острые экономические проблемы: капитальный ремонт жилья в населенных пунктах, ремонт и строительство дорог, состояние ЖКХ.

Наибольшую трудность в реализации представляют следующие вопросы местного значения: ЖКХ, обеспечение населения жильем, дороги.

В большей степени препятствует исполнению органами местного самоуправления своих полномочий в полном объеме недостаточное финансовое обеспечение местных бюджетов (70 % респондентов). По мнению 61 % экспертов, доходы местного бюджета скорее не позволяют, чем позволяют решать вопросы местного значения в муниципальном образовании.

Население муниципальных образований не в полной мере осознает значение местного самоуправления и малоактивно (75 % экспертов). Органы местного самоуправления слабо вовлечены в процесс модернизации России (62 %).

Полученные методом экспертного опроса данные вполне соотносятся с результатами опросов населения муниципальных образований, которые проводились под руководством автора статьи [4].

Экспертные и массовые опросы традиционно дополняют друг друга в эмпирических социологических исследованиях. Однако ограничения применения массового опроса населения связаны с затратностью подобных исследований. В местных бюджетах, особенно в дотационных муниципальных образованиях, не предусмотрены средства на проведение социологических мониторингов. Преимущество экспертного опроса заключается в его экономичности. Однако применение данного метода зачастую требует использования административного ресурса.

Социальный аудит позволяет не только диагностировать состояние и тенденции развития такой системы как муниципальное образование, но и оценить результаты деятельности управляющей системы (органов местного самоуправления) с точки зрения эффективности.

Необходимо обратить внимание на то, что в Концепции административной реформы в Российской Федерации в 2006-2010 годах упоминается разработка и внедрение системы внутреннего аудита, позволяющей оценивать эффективность деятельности структурных подразделений и должностных лиц [5]. Таким образом, оценка достигнутых результатов путем очередного аудита (мониторинга) эффективности является одним из элементов системы управления по результатам.

На оценочном этапе социального аудита муниципальных образований воспользуемся результатами ежегодного мониторинга эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов, расположенных на территории Свердловской области (68 городских округов и 5 муниципальных районов).

До 1 января 2013 года мониторинг эффективности деятельности органов местного самоуправления осуществлялся в соответствии с методикой [6], которая включала:

1. Оценку показателей докладов глав ОМСУ (по достигнутому значению в отчетном году и динамике),
2. Оценку удовлетворенности населения по результатам социологических опросов,
3. Расчет неэффективных расходов по сферам деятельности ОМСУ: здравоохранение, общее образование, ЖКХ, организация муниципального управления.

Приведем значения некоторых показателей социально-экономического развития муниципальных образований Свердловской области, указанных в Сводном докладе о результатах мониторинга эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов, расположенных на территории Свердловской области за 2011 год [7].

Доля отремонтированных автодорог общего пользования местного значения с твердым покрытием в 2011 году была ниже норматива (8-10%) и составила 3,94%. В 22 муниципальных образованиях ремонт автодорог не производился. Средства местных бюджетов в основном направлялись на содержание дорог (ямочный ремонт). Средняя доля автомобильных дорог местного значения, не отвечающих нормативным требованиям, в общей протяженности автодорог местного значения в 2011 году составила 52,82%.

В сфере развития малого и среднего предпринимательства отмечается положительная тенденция: начиная с 2009 года, количество субъектов малого и среднего предпринимательства в Свердловской области увеличилось на 8 131 единицу.

Объем инвестиций в основной капитал (за исключением бюджетных средств) в расчете на 1 жителя в среднем по муниципальным образованиям в 2011 году составил около 42 тыс. рублей.

Важным показателем социально-экономического развития территории являются доходы населения. Отношение среднемесячной номинальной начисленной заработной платы работников муниципальных учреждений к среднемесячной номинальной заработной плате работников крупных и средних предприятий и некоммерческих организаций по муниципальным образованиям Свердловской области составило 79,7%.

В 2011 году среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников крупных и средних предприятий в Свердловской области составила 24 022 рубля (рост на 15,2% по сравнению с уровнем 2010 года).

Во всех муниципальных образованиях, за исключением тех, у которых учреждения здравоохранения с 01.01.2011 г. стали государственными, в 2011 году произошло увеличение общего объема расходов бюджета на здравоохранение. Расходы бюджетов муниципальных образований Свердловской области на здравоохранение в 2011 г. составили 10,16 млрд. руб., что на 4% больше уровня 2010 года.

В 2011 году на 3,5% увеличилось количество муниципальных дошкольных образовательных учреждений. Отмечается рост численности детей в возрасте от 3 до 7 лет, получающих дошкольную образовательную услугу и (или) услугу по их содержанию в муниципальных дошкольных образовательных учреждениях, на 5,8 % по сравнению с уровнем 2010 года, которая составила 157962 человека.

Одним из показателей качества общего образования является доля выпускников школ, сдавших ЕГЭ. В 2011 году она составила 95,6% – по математике и 98,2% – по русскому языку.

В 2011 году наблюдается рост основных параметров развития физической культуры и спорта в Свердловской области. Численность населения, регулярно занимающегося физической культурой и спортом, составляет 822 165 человек или 19,1% от общей численности населения Свердловской области. Однако обеспеченность муниципальных образований Свердловской области спортивными залами от существующего норматива составляет 43,1%, плоскостными сооружениями – 53,8%, бассейнами – 11,9%.

На 2,7% увеличился объем вводимого в эксплуатацию жилья, общая площадь которого составила в 2011 году 1818 тыс. кв. метров. При этом индивидуальными застройщиками построено и введено 704,7 тыс. кв. метров, что на 5,5 % выше по сравнению с уровнем 2010 года. В 2011 году общая площадь жилых помещений на 1 жителя в Свердловской области составила 0,42 кв. метров (102,6% к уровню 2010 года). Правила землепользования и застройки приняты в полном объеме в 68 муниципальных образованиях.

В сфере жилищно-коммунального хозяйства доля убыточных организаций в среднем по муниципальным образованиям Свердловской области в 2011 году составила 53,7%. Уровень собираемости платежей граждан за потребленные жилищно-коммунальные услуги по Свердловской области в 2011 году составил 92,9%.

В 2011 году расходы на содержание работников органов местного самоуправления увеличились по сравнению с 2010 годом на 28,4% и составили 4,7 млрд. рублей. Средний размер расходов на содержание работников органов местного самоуправления в расчете на одного жителя по всем муниципальным образованиям в 2011 году составил 1 595,4 рублей, что выше уровня 2010 года на 24%.

Расчет неэффективных расходов по сферам деятельности ОМСУ: здравоохранение, общее образование, ЖКХ, организация муниципального управления показал, что «общий объем неэффективных расходов бюджетов муниципальных образований Свердловской области в 2011 году составил 4755,95 млн. рублей, увеличившись по сравнению с уровнем 2010 года на 26,8%» [7, с. 38].

Мониторинг эффективности деятельности органов местного самоуправления предполагает также оценку удовлетворенности населения по результатам социологических опросов (табл. 3).

Таблица 3

Результаты опросов населения

Показатель	Муниципальные образования с наилучшими показателями	Муниципальные образования с наихудшими показателями
Удовлетворенность населения медицинской помощью	Невьянский городской округ (91,6%)	Махневское муниципальное образование (36%)
Удовлетворенность населения качеством дошкольного образования	городской округ Верх-Нейвинский (99%)	Махневское муниципальное образование (64%)
Удовлетворенность населения качеством дополнительного образования	Малышевский городской округ (98,9%)	Махневское муниципальное образование (36%)
Удовлетворенность населения качеством общего образования	Малышевский городской округ (92,4%)	Североуральский городской округ (63,12%)
Удовлетворенность населения жилищно-коммунальными услугами	городской округ Пелым (80%)	Талицкий городской округ (25,7%)
Удовлетворенность населения качеством предоставляемых услуг в сфере культуры	городской округ Краснотурьинск (91,3%)	муниципальное образование поселок Уральский (45,5%)
Удовлетворенность населения деятельностью органов местного самоуправления, в том числе их информационной открытостью	Ивдельский городской округ (90%)	городской округ Заречный (47,8%)

В результате комплексной оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления был составлен рейтинг городских округов и муниципальных районов, находящихся на территории Свердловской области. В целях обеспечения равных условий муниципальные образования разбиты на 5 групп в соответствии с численностью населения. По результатам в каждой из 5 групп определены муниципалитеты-лидеры, в которых комплексная оценка эффективности деятельности органа местного самоуправления наиболее высокая, и аутсайдеры, в которых оценка наиболее низкая (табл. 4).

Таблица 4

Муниципальные образования – лидеры и аутсайдеры по достигнутому уровню или динамике значений показателей по итогам 2011 года в своих группах

Группы муниципальных образований	Муниципальные образования – лидеры	Муниципальные образования – аутсайдеры
I группа – до 20 тыс. человек	городской округ Староуткинск	Новоуральский городской округ
II группа – от 20 до 40 тыс. человек	Красноуфимский городской округ	Город «Лесной»
III группа – от 40 до 75 тыс. человек	Качканарский городской округ	Тугулымский городской округ
IV группа – свыше 75 тыс. человек	город Каменск-Уральский	Городской округ Верхотурский
V группа – муниципальные районы	муниципальное образование «Байкаловский муниципальный район»	Нижнесергинский муниципальный район

В соответствии с установленным порядком по итогам 2011 года муниципальным образованиям-лидерам были предоставлены гранты за счет средств областного бюджета в целях содействия достижению и (или) поощрения достижения наилучших значений показателей деятельности органов местного самоуправления: город Каменск-Уральский (сумма гранта – 14 946 тыс. рублей), Качканарский городской округ (7 473 тыс. рублей), Красноуфимский городской округ (4 982 тыс. рублей), городской округ Староуткинск и муниципальное образование «Байкаловский муниципальный район» (по 1 245,5 тыс. рублей) [7].

На основе диагностики социальных проблем и оценки деятельности органов местного самоуправления необходим поиск конкретных способов и разработка управленческих технологий, с помощью которых проблемы развития муниципальных образований могут быть решены, а эффективность деятельности органов местного самоуправления – повышена.

В Сводном докладе о результатах мониторинга эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов, расположенных на территории Свердловской области, за 2011 год содержатся рекомендации органам местного самоуправления по повышению эффективности деятельности и эффективности расходования бюджетных средств в сфере здравоохранения, общего образования, жилищно-коммунального хозяйства и в сфере муниципального управления [7]. Однако в основном они имеют слишком общий характер и не учитывают особенности различных муниципальных образований. Опрошенные нами эксперты отметили собственные возможности муниципальных образований для их развития (табл. 5).

Таблица 5

Какими собственными возможностями располагает Ваше муниципальное образование для улучшения социально-экономической ситуации?

Варианты ответа	%
кадры, научный потенциал	22
выгодное географическое положение	59
природные ресурсы, природные условия	57
промышленный потенциал	51
сельскохозяйственный потенциал	49
собственные возможности отсутствуют	4
иное (укажите, что именно)	3

Отрадно отметить, что только 4 % респондентов отметили, что собственные возможности муниципальных образований отсутствуют. Однако для того, чтобы воспользоваться собственными возможностями для улучшения социально-экономической ситуации в муниципальных образованиях, им необходим ряд условий (табл. 6).

Таблица 6

С чем Вы связываете возможность улучшения социально-экономической ситуации в Вашем муниципальном образовании?

Варианты ответа	%
увеличение доли межбюджетных трансфертов из областного бюджета	79
совершенствование законодательства	70
внешнеэкономические связи, иностранные инвестиции	18
собственные ресурсы муниципального образования	36
мобилизация внебюджетных средств	28
увеличение неналоговой доходной части местного бюджета	38
реализация приоритетных национальных проектов	44
межмуниципальная кооперация внутри субъекта РФ	16
активизация участия населения в решении вопросов местного значения	45
усиление внимания к мнению населения и его учет при принятии управленческих решений	23
иное (укажите, что именно)	1

Полученные данные показывают, что в первую очередь руководители муниципальных образований связывают возможность улучшения социально-экономической ситуации в муниципальных образованиях с увеличением доли межбюджетных трансфертов из областного бюджета и совершенствованием законодательства. Менее четверти руководителей муниципальных образований ориентированы на усиление внимания к мнению населения. Между тем мнение населения является достаточно важным показателем, который учитывается при оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления и будет учитываться при оценке эффективности деятельности руководителей органов местного самоуправления.

Таким образом, наше исследование показало, что технология социального аудита может успешно применяться для анализа и оценки развития муниципальных образований. Методология социального аудита включает разнообразные методы, что позволило нам комплексно изучить проблемы развития муниципальных образований. В процессе апробации процедуры социального аудита на примере муниципальных образований Свердловской области были получены результаты социальной диагностики, результаты оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления, практические рекомендации по совершенствованию деятельности органов местного самоуправления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Социальный аудит: учебное пособие / под общ. ред. А.А. Шулуся, Ю.Н. Попова. М.: Издательский дом «АТиСО», 2008. 620 с.
2. Концепция российской модели социального аудита. М.: Академия труда и социальных отношений, 2007. 24 с. [электронный ресурс] // Режим доступа: URL: <http://www.globecsi.ru/Articles/2007/Popov.pdf> (дата обращения 19.07.2012).
3. Зерчанинова Т.Е. Процедура социального аудита деятельности органов местного самоуправления // Социум и власть. 2010. № 4. С. 21-25.
4. Зерчанинова Т.Е. Социальная эффективность деятельности органов местного самоуправления городских округов // Управленческое консультирование. 2010. № 4. С. 21-29.
5. О Концепции административной реформы в Российской Федерации в 2006 - 2010 годах [электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 25 октября 2005 г. № 1789-р (в ред. от 10 марта 2009 г.). Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. О реализации Указа Президента РФ от 28 апреля 2008 г. № 607 «Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов» [электронный ресурс]: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 сентября 2008 г. № 1313-р (в ред. от 13 июля 2011 г.). Документ утратил силу. Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Сводный доклад о результатах мониторинга эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов, расположенных на территории Свердловской области за 2011 год. 64 с. [электронный ресурс]. URL: <http://economy.midural.ru/content/doklad-ot-04092012> (дата обращения 25.07.2013).

Зерчанинова Татьяна Евгеньевна – кандидат социологических наук, доцент кафедры «Государственное и муниципальное управление» Уральского института (филиала) Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

Tatiana E. Zerchaninova – Ph. D., Associate Professor
Department of Public and Municipal Management,
Uralsk Institute (Branch),
Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration

Статья поступила в редакцию 20.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 781.631

А.В. Петропавловский

К ПРОБЛЕМЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИДОВ ЗАИМСТВОВАННОГО МАТЕРИАЛА В МАРШЕ ДЛЯ ВОЕННО-ДУХОВОГО ОРКЕСТРА

Статья посвящена выявлению видов заимствованного материала, распространенных в марше для военно-духового оркестра. В качестве основания разграничения видов предложен критерий точности воспроизведения заимствованного материала по сравнению с оригиналом. Согласно этому критерию, выявляются три вида заимствованного материала: цитата, адаптация и аллюзия. В целом ис-

следование нацелено на развитие теории заимствования в музыке, и в частности претворение этой теории в марше для военно-духового оркестра.

Заемствованный материал, марш, военно-духовой оркестр

A.V. Petropavlovskiy

ON THE PROBLEM OF IDENTIFICATION OF THE BORROWED MATERIALS USED IN THE MILITARY BAND MARCHES

The article is devoted to revealing all kinds of the borrowed material in the marches for the military bands. The criterion of correspondence of the borrowed materials reproduction with the original ones is offered as the basis for their differentiation. According to this criterion, there are three types of the borrowed material: citation, adaptation and allusion. The aim of the whole research is the development of the theory of borrowings in music; the particular aim is the realization of this theory in the marches for the military bands.

The borrowed material, a march, military band

Проведение классификации видов заимствованного материала (ЗМ), используемых в музыкальном искусстве, является весьма острой и актуальной для исследования проблемой. Начиная с зарождения профессиональной музыки и до настоящего времени, изобилующего примерами использования элементов полистилистики, использование чужого текста является весьма частым композиторским приёмом. Не менее актуальна данная проблема в области военно-духовой музыки и конкретно в марше, где доля произведений с использованием ЗМ достаточно велика и составляет примерно 1/3 от общего количества.

Необходимость выявления видов ЗМ, распространённых в марше для военно-духового оркестра, обусловлена, в первую очередь, применением к нему различного рода выразительных средств в процессе его переработки. Разные виды ЗМ будут требовать особого подхода к ним автора произведения. Использование чужой музыкальной мысли в марше является неотъемлемым атрибутом данного жанра на протяжении почти всей истории его развития. Во многом благодаря этому приёму, марш стал настолько распространён и популярен среди большого числа слушателей, что без него не обходится практически не одно массовое мероприятие, проводимое на открытом воздухе, например, шествие, торжественный митинг, воинский ритуал и т. д. В этой связи большую роль при создании и переложении марша для военно-духового оркестра играет воплощение с помощью средств музыкальной выразительности используемого заимствованного фрагмента, а значит, остро встаёт проблема классификации ЗМ на виды.

ЗМ может присутствовать практически во всех видах марша: встречном, строевом, концертном и т. д. При этом он предстаёт перед слушателем не всегда одинаково, что может быть объяснено влиянием на его структуру стилистических черт композитора и специфики видов марша. В первом случае это влияние выражается в использовании композитором для воплощения заимствованного фрагмента того или иного тембра, штриха, либо иных средств выразительности в зависимости от художественного замысла. Во втором – в следовании композитором характерным чертам вида марша, например, аккордовому складу во встречном марше, регистровому профилю при изложении основной мелодии в строевом марше и т.д.

Развитие отечественной военно-духовой музыки и её основного жанра – марша – показало перспективность использования в нём ЗМ. Специфика и предназначение данного жанра предрасполагает вплетению в его структуру элементов чужого текста. При этом будь то сочинение марша с ЗМ, переложение его с одного состава оркестра на другой или аранжировка, остро встаёт проблема его видового разграничения. Так, каждый из видов требует к себе различного подхода в трактовке, инструментальном, тембровом и т.п. воплощении. В этом ракурсе возникает острая необходимость классификации видов ЗМ, ибо, не зная, с каким видом предстоит работать автору музыкального произведения, сложно достичь значимого художественного результата – решить ту или иную художественную задачу. Вместе с тем широкому исследованию проблем использования ЗМ в музыкальном искусстве, взаимодействия его с другими структурами, воплощения его различными средствами музыкальной выразительности и др. посвящено немалое количество работ отечественных и зарубежных ученых. Однако современное музыковедение до сих пор не выработало единого взгляда на классификацию видов ЗМ, нет подобного и в области военно-духовой музыки.

Решение указанной проблемы мы видим через выявление **вида** ЗМ, под которыми мы будем понимать способ изложения фрагмента чужого текста, использованного в музыкальном произведении и имеющего обособленную от иных способов структуру. Отметим, что любой фрагмент ЗМ изначально принадлежит какому-либо тексту-первоисточнику, данный текст мы будем называть «исходным произведением». Наряду с этим термином, в нашей работе мы будем оперировать термином «конечное произведение». Под ним мы будем подразумевать произведение, в которое вводится заимствованный фрагмент после его извлечения из исходного произведения. ЗМ в исходном и конечном произведении обычно имеет какие-то отличия. Эти отличия наблюдаются на уровне инструментальных средств, к которым относятся тембровые, динамические, штриховые и регистровые средства. Основные изменения структуры различных видов заимствования происходят путём этих средств. Помимо перечисленных, для адаптации и аллюзии характерна деформация при помощи мелодического средства, включающего ритм и интонацию.

В некоторых работах, посвящённых ЗМ, исследователи ставят перед собой цель дать классификацию различным его видам. Среди них мы можем отметить исследования Л.П. Казанцевой [7], Е.И. Чигарёвой [14], А.Г. Шнитке [15]. Отсутствие единого взгляда на проблему классификации нередко выражается в том, что в работах разных авторов один и тот же вид ЗМ может описываться различными, а иногда и прямо противоположными свойствами. В современном музыковедении упоминается достаточно большое количество различных видов ЗМ. Например, в работах отечественных и зарубежных музыковедов часто встречаются такие термины, как «цитата», «адаптация», «аллюзия», «коллаж». Однако в интересующей нас области музыкального искусства – военно-духовой музыке – исследования, рассматривающие перечисленные либо иные виды ЗМ, нам не встретились. Здесь мы можем отметить лишь работы, которые затрагивали общие моменты, касающиеся феномена заимствования в военно-духовой музыке. К ним мы отнесём исследования В.И. Тутунова [12], а также З.И. Городецкой и Л.Л. Магазинер [4]. В них авторы рассматривают особенности ЗМ народно-песенного происхождения в маршах различного предназначения, тогда как вопрос подразделения ЗМ на виды и выявления их особенностей не решается.

Именно поэтому целью настоящей работы ставится выявить виды ЗМ, наиболее распространённые в марше для военно-духового оркестра. Для этого нам предстоит решить следующие задачи. Первая – обозначить свою точку зрения на классификацию видов ЗМ используемых в марше и выявить границы каждого из них. Вторая – провести анализ нотного материала маршей, в ходе которого выявить, какие виды ЗМ из числа распространённых в марше наиболее часто применяются. Третья – указать причины наиболее частого применения того или иного вида ЗМ в марше.

Прежде чем приступить к решению поставленных нами задач, остановимся на мнении Шнитке относительно классификации видов ЗМ в музыкальном искусстве. Данная классификация составит теоретическую основу для настоящей работы. В своем исследовании «Полистилистические тенденции в современной музыке» [15], рассуждая о возможности проведения классификации приёмов использования чужого стиля, Шнитке различает «принцип цитирования и принцип аллюзии» [15]. При этом принцип цитирования, по Шнитке, включает в себя цитату и «технику адаптации» [15,]. Он считает, что указанные принципы полярны друг другу, тем самым подразумевая существенные системные отличия между ними [15]. Развивая мысль Шнитке, мы в качестве главного основания в проведенной им классификации видов ЗМ примем критерий точности воспроизведения чужого текста в конечном произведении. Этот критерий, на наш взгляд, наиболее объективно может охарактеризовать виды ЗМ, четко разграничив один от другого. Ведь Шнитке, говоря в своей работе о том или ином виде упоминал, например, о «точной цитате» [15] или об аллюзии, проявляющейся «в тончайших намёках и невыполненных обещаниях на грани цитаты – но не переступая её» [15]. В этом случае речь, безусловно, шла именно о степени точности воспроизведения ЗМ в конечном произведении по сравнению с исходным. Помимо этого, при рассмотрении того или иного взгляда на виды ЗМ с позиции точности мы будем опираться также на то, как характеризуется данный вид в той научной области, откуда термин перекочевал в музыковедение.

Начнем наше исследование с рассмотрения наиболее часто встречающегося в музыковедении термина, которым обозначается вид ЗМ, – «цитата». Данный термин проник в музыковедение из лингвистики, и поэтому будет справедливо начать его рассмотрение именно с её точки зрения. Как мы уже говорили, для нас определяющим основанием для классификации является критерий точности воспроизведения ЗМ, в этой связи приведем некоторые высказывания. В словаре С.И. Ожегова читаем, что «цитата – <...> точная, дословная выдержка из какого-нибудь текста, высказывания» [11], в Большой энциклопедии говорится, что «цитата – <...> дословная выдержка из какого-либо текста или в точности приводимые чьи-либо слова» [3]. Е. В. Назайкинский пишет о цитате в литературе сле-

дующее: «Цитата представляет собой буквальное воспроизведение чужого текста» [10]. Из приведенных суждений мы можем указать на существенную деталь, что для литературной цитаты ее дословность, буквальность, точность является определяющим критерием. Иными словами, допуская отклонение от авторского текста, мы ставим под сомнение правомерность называть фрагмент цитатой.

В музыкальном искусстве на точность цитаты сложился ряд взглядов, которые несколько иначе, чем в литературоведении, позиционируют этот вид ЗМ. Так, М. Г. Арановский считает, что «в широком смысле цитированием можно назвать любое включение элементов чужого текста или стиля независимо от того, как именно вводится текст» [1]. Назайкинский о цитате в музыке пишет следующее: «По отношению к музыке вполне допустимо без особых оговорок называть цитатой и то, что на самом деле является и «вольным пересказом», лишь бы возникала иллюзия полного стиливого сходства с первоисточником» [10]. Определенная неточность при цитировании в музыке, безусловно, не может быть исключена. Однако высказывания Арановского и Назайкинского о точности цитаты, на наш взгляд, всё же несколько спорны. Это происходит из-за поглощения одного понятия другим. Так, в высказывании Арановского под понятием «цитата» в широком смысле скорее всего подразумеваются любые виды ЗМ. В этом случае при упоминании о цитате справедливо утверждать о непринципиальности того, как именно ЗМ введён в текст. Ведь тогда понятие «цитата» аккумулирует в себе все виды заимствования, каждый из которых вводится в чужой текст по-своему. Мы же в данной работе будем рассматривать цитату в музыке как один из видов ЗМ, для которого точность является важным свойством, как и для цитаты литературной. Назайкинский, говоря о возможности «вольного пересказа» цитируемого фрагмента и делая при этом акцент на стилистическом сходстве с первоисточником, подменяет понятие «стилизация» понятием «цитата». Мы позволим себе не согласиться с приведенными высказываниями в той части, что для цитаты не имеет значение как она вводится в текст и для нее допустим «вольный пересказ».

Относительно точности цитаты пишет Казанцева: «Погружаясь в процесс драматургического становления, цитата видоизменяется согласно принципам развития материала в данной музыкальной форме, контактирует с другими авторскими темами» [7]. Полностью соглашаясь с позицией Казанцевой, добавим, что при этом, на наш взгляд, основой для драматургического развития цитатного материала является применение к ней инструментальных средств выразительности.

Важным для нас относительно точности цитаты в музыке является мнение Г.П. Дмитриева. Он утверждает, что «невозможно предположить тембровую однозначность <...> мелодии по своему существу цитатной, имеющей к тому же вокальную природу. Тембровое варьирование этих тем-символов, которые не могут трансформироваться по самой сути своей драматургической знаковой функции, служит единственным способом их обновления, компенсирующим невозможность в подобных условиях интонационных модификаций» [5]. О Пятнадцатой симфонии Д. Шостаковича он пишет, что «использование Шостаковичем фрагментов музыки Россини и Вагнера цитатно в полном смысле этого слова, так как авторизация их минимальна и выражается лишь в переоркестровке россиниевского отрывка» [5]. В этом высказывании он сближается с мнением Казанцевой о неизбежности неточности цитаты при её воспроизведении. При деформации данного вида ЗМ, по Дмитриеву, может осуществляться исключительно с помощью инструментальных средств. Рассмотренные взгляды Казанцевой и Дмитриева на понятие «цитата» будут для нас ключевыми в данном исследовании.

Опираясь на сказанное, мы можем говорить о том, что цитата – это самый точный в мелодическом отношении вид ЗМ. Определяющим для цитаты свойством, отличающим её от других видов ЗМ, является, на наш взгляд, неизменность либо незначительное видоизменение её звуковысотной структуры. Наибольшее же отклонение от исходного произведения при изложении цитаты допустимо лишь в воплощении её тембром, а также другими инструментальными средствами: штрихом, динамикой и регистром. Так как в литературе отсутствуют перечисленные средства выразительности, то литературную и музыкальную цитату объединяет точность воспроизведения соответственно буквенной и аналогичной ей нотной структуры цитаты. Тем самым синтаксическая составляющая цитаты, благодаря незначительной степени деформации её мелодии, остаётся практически неизменной. Такое синтаксическое постоянство, в свою очередь, влияет на семантическую составляющую цитаты, делая её также неизменной. Семантическое постоянство цитаты обеспечивает её прочную связь с исходным произведением, посредством чего степень узнаваемости цитаты достаточно высока.

Теперь перейдём к следующему термину, которым обозначается вид ЗМ, – «адаптация». Данный термин широко применяется в различных областях человеческой деятельности, таких, например, как биология, медицина, кибернетика и др. В Малой советской энциклопедии читаем, что «адаптация (фр. adaptation – приспособление, от лат. adapto – приспособляю) – приспособление организмов к условиям их бытования» [9]. Из этого высказывания видно, что процесс адаптации связан с неким ви-

доизменением тех или иных свойств субъекта, ради подчинения его новым условиям жизни. Отметим, что с точки зрения приспособления к конечному произведению любой вид ЗМ, в том числе и цитата, является адаптацией в виду того, что с помощью тех или иных средств приспособляется автором к контексту своего произведения. Для нас же представляет интерес взгляд на адаптацию с другой точки зрения, а именно классификации видов ЗМ. Остановимся на её характерных чертах ниже.

В области музыкального искусства адаптация, как правило, связана с приспособлением чужого музыкального материала к условиям авторского текста. Это приспособление осуществляется с помощью средств музыкальной выразительности, которые видоизменяют текст ЗМ в конечном произведении, по сравнению с исходным. Учитывая указанный нами критерий точности как основной для проведения классификации видов ЗМ, для нас важно указать, в рамках каких именно средств происходит изменение. Для этого приведём ряд высказываний. Казанцева пишет, что «промежуточное положение на шкале «своё – чужое», в каждом случае индивидуальное, занимают сочинения, относящиеся к транскрипциям, парафразам, фантазиям на заимствованные темы, а также некоторые другие, что в целом можно назвать адаптацией» [6]. Говоря об упомянутых Казанцевой транскрипции, парафразе, фантазии, а также и иных жанрах, не указанных ею, где за основу берётся ЗМ, отметим одну важную деталь. Чужой текст подвергается изменению с помощью средств музыкальной выразительности, на этой почве и осуществляется драматургическое развитие. Среди этих средств на первый план выходит деформация заимствованного фрагмента из оригинального произведения при внесении его в авторский контекст при участии мелодического комплекса. При этом в нём доминирует, как правило, ритмическое видоизменение. В отличие от цитаты, где видоизменение этим средством хотя и присутствует, но является незначительным, в случае с адаптацией подобная деформация может охватывать достаточно обширные по протяжённости фрагменты, а также приводить к достаточно существенному отличию от оригинала, особенно ритмической стороны. Адаптация в музыке похожа на «пересказ чужого нотного текста собственным музыкальным языком (аналогично современным адаптациям античных сюжетов в литературе) или же свободное развитие чужого материала в своей манере» – так о ней пишет Шнитке [15].

Исходя из этого можем отметить, что адаптация в музыкальном искусстве, являясь видом ЗМ, характеризуется большей в сравнении с цитатой неточностью в воспроизведении чужого текста. Эта неточность, помимо тембровой, динамической, штриховой и регистровой, затрагивает мелодическую, видоизменяя синтаксическую составляющую заимствования, что является главным отличием адаптации от цитаты. При этом в мелодическом преобразовании адаптации, как правило, преобладает её ритмическая деформация. В отношении же семантической составляющей адаптации, влияющей на степень её узнаваемости в конечном произведении, несмотря на синтаксические изменения, значительные преобразования для неё не свойственны, что сближает её с цитатой.

Ещё одним термином, обозначающим в различных музыковедческих трудах вид ЗМ, является аллюзия. Этот термин, как и цитата, был перенят из литературоведения, в связи с чем приведём его определение из Литературной энциклопедии терминов и понятий. Здесь написано, что «аллюзия <...> – в литературе, ораторской и разговорной речи отсылка к известному высказыванию, факту литературной, исторической, а чаще политической жизни, либо к художественному произведению [8]. В Словаре литературоведческих терминов говорится, что «аллюзия <...> – художественный приём <...> сознательный авторский намек на общеизвестный литературный или исторический факт, а также художественное произведение. Аллюзия всегда шире конкретной фразы, цитаты <...>, того узкого контекста, в который она заключена» [2]. Из приведённых высказываний следует, что для аллюзии в литературе характерно достаточно свободное обращение с ЗМ. Действительно, та дословность, которая важна для цитаты или адаптации, здесь практически не является ключевым фактором. Степень дословности в аллюзии необходима ровно настолько, чтобы обозначить намёк на иное по сравнению с данным текстом произведение. Тем самым, применив к аллюзии определённое нами основание для классификации – точность, мы можем говорить о ней, как о наименее точном виде ЗМ.

На аллюзию в музыке имеется также ряд достаточно разнообразных взглядов различных учёных. Так, В. Н. Холопова пишет, что «по сравнению с точной цитатой он [приём стиливой аллюзии. Примечание автора – А. П.] гораздо гибче и гармоничнее координирует с основным «корпусом» произведения» [13]. Данная гибкость аллюзии, на наш взгляд, достигается большей степенью органичности вплетения чужого материала в авторский текст, что достигается путём неточностей и изменений различных свойств чужого материала, в том числе интонационных. О подобной неточности аллюзии упоминает Казанцева, приводя слова Д. Лигети, который определил «её как намек на другой стиль, на иную музыкальную мысль <...>, но не воплощение этой мысли, так как аллюзия слишком кратка и подчас неточно, интонационно «расплывчато» воспроизводит оригинал» [7]. Также напомним, что намёком аллюзию считает и Шнитке, позиционируя её, как невыполненное обещание, граничащее с

цитатой, не теряющее однако своей видовой специфики. Е. И. Чигарёва, как бы продолжая его мысль, говорит о том, что «отличие аллюзии от цитаты и квазичитаты раскрывается самой этимологией термина – намёк. Аллюзия балансирует на грани точной текстовой цитаты с имитацией цитаты (квазичитаты), она интересна именно своей «неуловимостью», многогранностью, глубиной стилевых аналогий» [14]. Сама суть намека, безусловно, в отсутствии в нём конкретики, дословности, что даёт воспринимающему субъекту по некоторым достаточно прозрачным деталям домыслить, почувствовать всю картину целиком.

Отметим, что возможность неточности аллюзии в музыке заложена в определении литературной аллюзии, где говорится о ней как о намёке, на это её свойство делают акцент исследователи и в области музыкознания. В этой связи мы можем говорить о музыкальной аллюзии, как о наименее точном по сравнению с другими видом ЗМ. Такая свобода обуславливается спецификой данного приёма в литературе, который был перенесён и на музыкальную почву. Неточность аллюзии в музыке в дополнение к видоизменениям, затрагивающим оригинальный материал при цитировании и адаптации, обширно видоизменяет и звуковысотную сторону мелодической структуры. В этой связи мы можем говорить о синтаксической деформации аллюзии, которая влечет за собой и семантическую деформацию аллюзии. Посредством этого значительно снижается потенциал узнаваемости аллюзийного материала, подчёркивая исходную «намёковую» сущность аллюзии. Отметим, также что семантической деформации не наблюдалось в случае с цитатой и особенно с адаптацией, не смотря на изменение её синтаксической структуры, что связано с незначительным мелодическим видоизменением данных видов ЗМ.

В соответствии с изложенной классификацией нами был проведён анализ музыкального материала, на основе которого мы пришли к следующему выводу. В марше для военно-духового оркестра могут быть использованы все виды ЗМ, обозначенные Шнитке. Среди произведений с цитатой отметим «Встречный марш для выноса Боевого Знамени» Д. В. Кадеева, где используемый материал из финального хора «Славься» оперы М. И. Глинки «Жизнь за царя» видоизменён лишь посредством тембра при отсутствии мелодической деформации, вследствие чего синтаксическая и семантическая сторона этого материала остаётся неизменной. Адаптация имеется в марше И. В. Петрова «Боевая Слава», в котором материал песни В. Г. Захарова «Ой, туманы, мои растуманы» преобразуется не только темброво и регистрово, но и ритмически. Данный факт указывает на синтаксическую деформацию ЗМ при отсутствии семантического его видоизменения. Аллюзия приводится в марше С. А. Чернецкого «Слава Родине», где тембровое, штриховое и, главное, мелодическое видоизменение материала гимна А.Ф. Львова «Боже, царя храни!» влечёт за собой его и синтаксическое, и семантическое преобразование, обусловленное идеологическими приоритетами времени создания марша (1944 год). В целом из всего доступного нам на данный момент нотного материала, а именно 27 маршей с использованием ЗМ, цитата встречалась 32 раза, адаптация – 9, аллюзия – 10¹. Количественное преобладание присутствия в марше цитаты над адаптацией и аллюзией обусловлено отсутствием её синтаксической деформации, которая, как правило, влечёт снижение потенциала узнаваемости ЗМ.

Потенциал узнаваемости ЗМ, в свою очередь, тесно взаимосвязан с изменениями, которым подвергается вид ЗМ, вернее с точностью его воспроизведения. Как мы уже отмечали выше, точность воспроизведения чужого текста в первую очередь зависит от изменений в мелодической структуре ЗМ. Изменения же синтаксической стороны неизбежно влекут к изменению семантики ЗМ. Именно поэтому самым высоким потенциалом узнаваемости обладает цитата с её точным воспроизведением мелодической структуры, а самым низким – аллюзия с её максимальной звуковысотной и ритмической неточностью. Из этого следует, что чем сильнее изменена синтаксическая сторона ЗМ, тем сильнее видоизменяется его семантическая сторона, и тем сильнее снижается потенциал его узнаваемости.

Отметим, что в марше для военно-духового оркестра наиболее часто встречается тот вид ЗМ, у которого самый высокий потенциал узнаваемости, а именно цитата. Такая взаимосвязь, на наш взгляд, опирается на саму природу жанра марша. Ведь он весьма демократичный жанр, рассчитанный на восприятие достаточно масштабным объёмом слушателей, и использование в нём знакомого на слух материала является важным инструментом на пути к завоеванию популярности у широких масс. С этой точки зрения самым узнаваемым будет материал, подвергнутый лишь незначительному видоизменению (преимущественно тембровому и регистровому). Вместе с тем серьёзные деформации ЗМ могут помешать узнаванию и пониманию смыслового содержания произведения широким слушателем. Именно поэтому использование цитатного материала в марше встречается чаще адаптации и аллюзии.

¹ Несовпадение суммы видов ЗМ с количеством маршей обусловлено тем, что в некоторых произведениях один и тот же либо разные виды ЗМ могут быть использованы несколько раз.

Итак, мы выявили виды ЗМ, которые распространены в марше для военно-духового оркестра. При этом мы опирались на введенный нами критерий точности, что позволило приблизиться к решению проблемы проведения между ними чётких границ. Наше исследование показало, что в марше для военно-духового оркестра распространены все три вида ЗМ, предложенные Шнитке, – цитата, адаптация и аллюзия. Ранее ни в исследованиях по заимствованию в музыкальном искусстве в целом, ни тем более в марше для военно-духового оркестра эти границы не обозначались с достаточной ясностью.

В ходе исследования мы выявили, что самым точным видом ЗМ является цитата; за ней по уменьшению точности следуют адаптация и аллюзия. При этом наиболее часто используемым видом ЗМ является цитата, которой противопоставлены адаптация и аллюзия. Причины данной закономерности кроются в потенциале узнаваемости вида ЗМ, связанном с его семантикой, и снижающемся пропорционально синтаксической деформации фрагмента ЗМ.

Таким образом, как мы видим, развитие марша для военно-духового оркестра протекает в органичном единстве с развитием отечественного музыкального искусства. В нём ярко проявляются современные тенденции полистилистики. Важность знания, с каким видом ЗМ идет соприкосновение, обусловлена решением художественных интерпретационных задач при исполнении подобных произведений. Вполне возможно, что свойственная современной музыкальной культуре тенденция интертекстуального взаимодействия артефактов музыкального искусства будет способствовать возрастанию роли ЗМ в марше для военно-духового оркестра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арановский М.Г. Музыкальный текст: структура и свойства / М.Г. Арановский. М.: Композитор, 1998. 344 с.
2. Белокурова С.П. Словарь литературоведческих терминов / С.П. Белокурова. СПб.: Паритет, 2006. 320 с.
3. Большая энциклопедия: в 62 т. Т. 57. М.: Терра, 2006. 592 с.
4. Городецкая З.И. Народная песня в маршах / З.И. Городецкая, Л.Л. Магазинер // В помощь военному дирижеру. Вып. III. М.: ИВД, 1956. С. 31-53.
5. Дмитриев Г.П. О драматургической выразительности оркестрового письма / Г.П. Дмитриев. М.: Сов. композитор, 1981. 174 с.
6. Казанцева Л.П. Автор в музыкальном содержании: монография / Л.П. Казанцева. М.: РАМ им. Гнесиных, 1998. 248 с.
7. Казанцева Л.П. Полистилистика в музыке XX века (методические рекомендации) / Л.П. Казанцева. Красноярск: Краснояр. гос. ин-т искусств, 1986. 32 с.
8. Литературная энциклопедия терминов и понятий / под ред. А.Н. Николюкина; Ин-т науч. информации по общественным наукам РАН. М.: НПКиИнтервак, 2003. 1600 стб.
9. Малая советская энциклопедия / Гл. ред. Б. А. Введенский. 3-е изд., Т. 1. М.: ГНИ Большая советская энциклопедия, 1958. 1277 с.
10. Назайкинский Е.В. Стиль и жанр в музыке: учеб. пособие для вузов / Е.В. Назайкинский. М.: ВЛАДОС, 2003. 248 с.
11. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка: 80000 слов и фразеологических выражений / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова; Российская академия наук. Ин-т русского языка им. В.В. Виноградова. 4-е изд., доп. М.: Азбуковник, 2006. 944 с.
12. Тутунов В.И. Русская народная песня в произведениях советских композиторов / В.И. Тутунов // В помощь военному дирижеру. Вып. 17. М.: ВДФ, 1978. С. 114-140.
13. Холопова В.Н. Альфред Шнитке / В.Н. Холопова, Е.И. Чигарёва. М.: Сов. композитор, 1990. 346 с.
14. Чигарева Е.И. Полистилистика / Е.И. Чигарева // Теория современной композиции. М.: Музыка, 2005. С. 431-450.
15. Шнитке А.Г. Полистилистические тенденции в современной музыке // Холопова В.Н., Чигарёва Е.И. Альфред Шнитке. М.: Сов. композитор, 1990. С. 327-331.

Петропавловский Андрей Владимирович – аспирант кафедры «Теория музыки и композиции» Саратовской государственной консерватории имени Л.В. Собинова

Andrey V. Petropavlovskiy – Postgraduate
L.V. Sobinov Saratov State Conservatory

Статья поступила в редакцию 20.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

О.В. Понукалина

СОЦИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМИДЖА ОРГАНИЗАЦИИ

Анализируется возможность применения социологических методов исследования для оценки имиджа организации. Отмечается, что качественные и количественные методы оценки имиджа при высокой степени проработанности программы исследования не дают стопроцентно точного результата, поскольку феномен имиджа не имеет конкретного эталона и единиц измерения. Однако с их помощью четко определяется динамика развития мнения об образе организации через близкие имиджу понятия, такие как доверие, лояльность, уважение, соучастие, готовность к деятельности, окружение и т.д., а также тенденции развития имиджа на данный момент времени.

Имидж, качественные и количественные методы исследования, организация, образ, оценка

O.V. Ponukalina

SOCIOLOGICAL METHODS IMAGE RESEARCH ORGANIZATION

The article examines the possibility of applying sociological research methods to assess the organization's image. It is noted that the qualitative and quantitative evaluation methods of image may not give an accurate result. The phenomenon of the image has no specific reference and measurement units. However, using these techniques clearly defined dynamics of the image. You can explore concepts such as trust, loyalty, respect, participation, preparedness activities, the environment, etc. It is close to the image concepts. It is close to the image concepts.

Image, qualitative and quantitative research methods, organization, image evaluation

Формирование организационного имиджа осуществляется исходя из финансовых возможностей, ресурсов, целей и специфики самой организации, а также на основе опыта, профессиональной компетенции имиджмейкеров, их способностей к прогнозированию и оценке создаваемого продукта. Процесс эффективного «имиджирования – научно обоснованного и технологически апробированного процесса разработки и освоения имиджа, его искусной презентации в общении и в средствах массовой информации» [1] – чрезвычайно сложен и подвержен влиянию многих факторов. Специалисты сходятся во мнении, что ни одна команда даже самых опытных имиджмейкеров и специалистов по связям с общественностью не в силах предугадать всех путей развития ситуации при формировании и корректировании имиджа организации. С целью минимизации убытков и снижения степени социального риска крупными компаниями вырабатывается многоступенчатая стратегия управления имиджем, важным элементом которой является адекватная оценка имиджа.

Имидж различных структур и событий, имидж персон и известных личностей все чаще становится объектом социологических исследований. Оценка результатов деятельности по формированию и коррекции имиджа может успешно осуществляться с применением социологического инструментария. Имидж организации достаточно трудно оценить по качественным и количественным критериям. Сложность оценочных процедур состоит в том, что исследование эффективности управления имиджем организации происходит в условиях высокой степени неопределенности, поэтому результат не может быть спрогнозирован сто процентов. Тем не менее в управленческой практике потребность применения адекватных методов исследования оценки имиджа высока.

Реальная оценка имиджа организации базируется на применении следующих критериев:

1. Самоощущение – это соответствие ощущений человека тому набору ожиданий, который он способен воспроизвести относительно рассматриваемого объекта (удовольствие, значимость, осознание собственной привлекательности).

2. Проявление соответствующих ожиданиям внешних оценок. Данные реакции могут носить как позитивный, так и негативный характер. Например, если возникла необходимость формирования

имиджа с целью вызвать раздраженность, зависть, чувство конкуренции, то при возникновении именно таких реакций имидж считается правильно сформулированным.

3. Достижение поставленных целей при ложной уверенности в том, что имидж действительно является ресурсом в управлении тем или иным процессом, в то время как реальными причинами позитивных сдвигов могут являться абсолютно иные факторы.

При видимой надежности и адекватности перечисленных критериев, необходимо признать, что имиджеориентированная деятельность проходит в среде с высокой степенью неопределенности, неизмеримости и сложно прогнозируемости. Количественные и качественные показатели имиджа лишь косвенно указывают на возможное мнение, а не раскрывают субъективной оценки и внутреннего ощущения реальности целевой аудиторией. Исходя из этого, более эффективным будет тот имидж организации, который обладает наибольшей степенью гибкости, мобильности и верифицируемости.

Социологическая методология предлагает исследователям широкий спектр методов исследования социальных явлений и процессов, но для комплексной оценки эффективности управления имиджем организации применимы лишь определенные методы. Нами предлагается рассмотреть их характеристики с точки зрения эвристических возможностей использования в исследовании имиджа с целью выявления положительной или отрицательной динамики развития имиджа организации.

Для удобства изложения в первую очередь проанализируем качественные методы, в связи с тем, что они базируются на индивидуальных оценках, а впоследствии дополним анализ возможностями количественных методов.

К качественным относится совокупность следующих методов оценки имиджа организации во внешней среде: метод имиджевой иерархии, метод семантического дифференциала, фокус-группа, метод экспертных оценок, метод интервью, проективные методы (конструирование, ассоциативный метод, ранжирование, завершение заданий, экспрессивный метод), метод определения ЗИП (Зона Имиджа Предприятия).

Качественные методы нацелены на определение осознаваемых и неосознаваемых характеристик восприятия индивидов. Ключевое значение качественных методов заключается в выявлении так называемого символического ряда образов, чувств и эмоций, раскрытие стереотипов и мотивов деятельности. Данные, собранные с помощью этих методов позволяют сформировать базис для определения шкал и ориентиров для сравнительного анализа при проведении количественных исследований, выдвижения гипотез, выявления изначальных данных имиджа.

При масштабном исследовании имиджа организации, чаще всего проводят несколько методик, поскольку каждая из них дает разную глубину оценки. С целью определения степени известности организации или ее продукта у потенциальной аудитории применяется метод имиджевой иерархии, позволяющий ранжировать узнаваемость бренда от минуса к плюсу (рис. 1). Данный метод позволяет выявить поверхностный уровень оценки имиджа организации.



Рис. 1. Имиджевая иерархия

Низший уровень (-1 «Brand Rejection») – отрицательный имидж. Характеризуется категорично негативной реакцией аудитории, как на производимый продукт, так и на саму организацию.

Нейтральный уровень (0 «Brand Non-Rejection») – отсутствие имиджа. Полное отсутствие у аудитории осведомленности об организации.

Первый уровень (1 «Brand Recognition») – наличие осведомленности. Представителям аудитории известно о существовании организации, но конкретных ассоциаций ее название не вызывает.

Второй уровень (2 «Brand Reference») – предпочтение. Из однотипной продукции выбирается продукция определенного бренда.

Третий уровень (3 «Brand Insistence») – преданность бренду. Аудитория отдает предпочтение четко определенной организации и ее продукту, не принимая во внимание возможность использования аналога.

Качественная имиджевая стратегия способствует постепенному продвижению имиджа компании от стадии Brand Non-Rejection к наивысшей ступени иерархии. Причины выбора той или иной организации для взаимодействия могут быть различны: от привычки до статусности. Наивысшей степенью верности конкретной организации является ситуация, когда причина не может быть определена, но альтернатива даже не рассматривается.

Данный метод способен дать общую поверхностную оценку имиджа организации, определить психоэмоциональный настрой аудитории по отношению к конкретной компании и его использование целесообразно при проведении пробных или проверочных исследований. Определение производится путем личных или опосредованных опросов, содержащих не более 10 вопросов по теме.

Метод семантического дифференциала, прописанный в работах Ф. Котлера, применяемый в отечественной практике (И. Муромкина, Т. Матюшина) [2,3,4], по сути, относим к социологическому инструментарию. Сущность данного метода применительно к имиджу организации заключается в следующем: измеряемые объекты (понятия, ощущения, степень осведомленности и предпочтения) оцениваются по ряду биполярных градуированных шкал, полюса которых заданы с помощью вербальных антонимов (положительный-отрицательный, понятный-неясный, приятный-вызывающий отвращение). На базе шкалирования понятий выстраивается семантическое пространство, в основе которого лежат 3 универсальные категории: оценка, сила и активность. Семантический дифференциал дает возможность определять значение не как данность, а как эмоции.

Семантический дифференциал целесообразно использовать при оценке имиджа организации, в связи с тем, что исследователю требуется количественно описать индивидуальное, субъективное отношение аудитории к каким-либо аспектам деятельности организации или ее образу в целом. В отличие от большинства тестов данный метод оценки не измеряет выраженность в личности определенных, заданных процедурой тестирования свойств, а, напротив, способен дать содержательную картину взаимоотношений в системе «аудитория-организация», соотнеся их с разнообразными социальными ценностями для определения слабых мест имиджа.

Метод фокус группы представляет собой актуальный для организаций способ сбора качественной информации об имидже. Представителей разных целевых аудиторий имиджа распределяют на группы, что позволяет составить общую картину имиджа на базе анализа субъективных оценок.

Для более детального изучения имиджа организации, получения профессиональных мнений, способных дать рекомендации и провести сравнительный анализ, используется метод экспертных оценок.

Метод интервьюирования – наиболее традиционный метод исследования имиджа организации, позволяющий выявить совокупность индивидуальных мнений респондентов. Интервью выявляет чувства, эмоции, ощущения конкретных индивидов при социальном взаимодействии с организацией в процессе коммуникации.

Определенной проблемой, с которой сталкиваются исследователи при выявлении качественных и количественных показателей имиджа организации, являются социальные, психологические, эмоциональные, культурологические барьеры, возникающие при взаимодействии с респондентами. Например, иногда деликатность и нежелание обидеть модератора подталкивают респондентов искажать информацию; отсутствие опыта рефлексии приводит к затруднениям респондентов вербально выразить эмоции; конформизм – подсознательное желание респондента согласиться с мнением большинства. В данных обстоятельствах уместно применять проективные методы, относимые к психологическим методам исследования: конструирование (например, модифицированный тематический апперцепционный тест, созданный Мюрреем), вербальные и невербальные ассоциации, ранжирование, завершение заданий. Особенностью проективных методик считается работа с подсознанием индивида для формирования ассоциативного поля, то есть поиск нестандартизованных ответов.

К инновационным методам исследования имиджа организации относят метод определения зоны имиджа организации, детерминирующего не только место организации, подобно позиционной карте, но и временной период, необходимый для достижения желаемых показателей при внедрении определенных управленческих методов коррекции и трансформации имиджа на определенном этапе функционирования

организации. Важно помнить, что «процесс формирования имиджа характеризуется некоторым запаздыванием: если вы задумались об имидже данного этапа, уже находясь на нем, то вы опоздали» [5].

Комплексное использование количественные методов дает возможность установить причины неэффективности имиджа и разработать управленческую стратегию внедрения имиджевых технологий. Рассмотрение возможности использования количественных методов оценки имиджа посвящены работы А. Блинова, В. Захарова, Ф. Котлера, И. Москвиной, Н. Рогалевой [6-10] и других современных авторов.

Количественные методы в изучении имиджа организации позволяют получить:

- *ассоциативный профиль (продукта, организации);*
- *преобладающие свойства восприятия образа объекта;*
- *динамику изменения характеристик имиджа;*
- *ранжирование мотивов аудитории;*
- *карты позиционирования изучаемого объекта.*

Анкетирование как метод оценки имиджа предоставляет статистическую информацию о слабых и сильных сторонах имиджа, оно отображает собирательный образ организации. Данные анкетного опроса позволяют сформировать позиционную имиджевую карту, которая представляет собой график соотношения шкалы положительного отношения к организации и шкалы осведомленности о ее деятельности. Позиционная карта позволяет определить место и значимость имиджа конкретной организации на фоне имиджей конкурирующих организации и определить вектор имиджевой стратегии в социальной программе управления.

Индикаторная оценка основана на обобщенных и единичных индикаторах имиджа организации по трем направлениям: внутренний комплекс (внутренний имидж), потребительский комплекс и партнерский комплекс (внешний имидж). Разделение на целевые аудитории (комплексы) позволяет исследовать состояние имиджа организации в настоящий момент и выявить комплекс индикаторов, требующий вложения дополнительных управленческих усилий по формированию желаемого имиджа.

Балльная методика как количественный метод оценки организационного имиджа берет свое начало в основах метода Дельфи, где для создания единой имиджевой картины используется балльная шкала определения удовлетворенности существующими имиджем со стороны экспертов.

Решением управленческой задачи, связанной с исследованием внешнего имиджа организации может стать сравнительно-сопоставительный анализ имиджей нескольких организаций, характеризующихся одинаковым набором показателей: единая или схожая сфера деятельности, примерно одинаковый количественный состав сотрудников, схожая номенклатура продуктов. Сравнение предполагает наличие уже имеющихся фактов-ориентиров, которыми в рамках изучения имиджа может стать анализ вторичной информации: контент-анализ для определения частоты упоминания объекта исследования, интент-анализ для выявления скрытого подтекста публикаций. Данный метод раскрывает эмоциональный настрой имеющихся упоминаний и их динамику.

Не менее важной с точки зрения социального управления организацией является задача выявления и интерпретации показателей составных элементов внутреннего имиджа: имиджа руководящего звена и стиля его управления, социально-психологического климата в коллективе, разработанности и степени внедрения корпоративной культуры. При изучении имиджа управляющего субъекта в организации целесообразно воспользоваться методиками, позволяющими подвергнуть рассмотрению мнения подчиненных о личности управленца и провести сравнительный анализ зеркального имиджа посредством определения самооценки руководителя.

Тезисный обзор методов исследования имиджа организации, представленный в данной статье, позволяет сделать вывод о том, что для рассмотрения и измерения имиджа организации необходимо изучение всех его элементов, применяя комплексный, системный подход.

Анализ и оценка эффективности использования ресурса «имидж организации» требует применения разнообразия социологического инструментария, а также заимствования психологических методик, поскольку имидж как феномен, характеризующийся эмоциональной окраской, представляет собой эфемерное, трудно интерпретируемое и вербализированное явление, не имеющее эталона измерения. Выбор методик обуславливается видом изучаемого фактора: для исследования внутреннего имиджа организации адекватно применение психологических методик, а для исследования внешнего – количественных и качественных методов, относимых к социологическому инструментарю.

При этом, качественные и количественные методы оценки имиджа организации, какими бы широкоформатными и досконально проработанными они ни были, не дают 100-процентной картины характеристик имиджа в конкретный момент, но позволяют выявить общее представление об отношении и о мнении целевой аудитории (например, степень доверия, лояльности, уважения, соучастия,

готовности к деятельности), и определить вектор развития на момент исследования. Причиной высокой степени погрешности оценка имиджа организации является его индивидуализированная природа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шепель В.М. Имиджелогия: Как нравиться людям / В.М. Шепель. М.: Народное образование, 2002.
2. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент: пер. с англ. / Ф. Котлер; под ред. Л. А. Волковой, Ю. Н. Каптуревского. СПб.: Питер, 2000.
3. Матюшина Т.В. Имидж магазина смотрим чужими глазами [Электронный ресурс] / Т.В. Матюшина. Режим доступа: <http://www.src-master.ru/article83.html>.
4. Муромкина И.И. Имидж розничного торгового предприятия: особенности формирования и восприятия / И.И. Муромкина // Маркетинг в России и за рубежом. 2001. № 2. С. 72-77.
5. Девина И. Оценка имиджа компании / И. Девина // Правильный бизнес. 2009. № 12.
6. Блинов А.О. Имидж организации как фактор ее конкурентоспособности / А.О. Блинов, В. Я. Захаров // Менеджмент в России и за рубежом. 2003. № 4. С. 35-44.
7. Москвина И.А. Маркетинговое управление репутацией в обеспечении конкурентоспособности малого предприятия : автореф. дис. ... канд. экон. наук / И.А. Москвина. М.: Мос. гос. ин-т электр. техн., 2007.
8. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент : пер. с англ. / Ф. Котлер; под ред. Л.А. Волковой, Ю.Н. Каптуревского. СПб.: Питер, 2000.
9. Рогалева Н.Л. Современная концепция имиджа организации [Электронный ресурс] / Н.Л. Рогалева. Режим доступа: <http://www.sovetnik.ru/konkurs/places/raso4/?id=104&type=view>.

Понукалина Оксана Викторовна – доктор социологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономическая социология, реклама и связи с общественностью» Саратовского государственного социально-экономического университета

Oksana V. Ponukalina – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Economic Sociology, Advertising and Public Relations,
Saratov State Socio-Economic University

Статья поступила в редакцию 07.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 316.774

Е.А. Раевская

МЕДИАТИВНАЯ СПЕЦИФИКА СОВРЕМЕННОЙ РЕКЛАМЫ

Исследуются проблемы рекламного взаимодействия в условиях трансформации традиционных средств массовой информации. Автором обобщаются основные тенденции развития форм рекламного взаимодействия. Анализируется опыт формирования мультиплатформенных каналов коммуникации, переход телеканалов, радиостанций и печатных СМИ в режим он-лайн.

Бренд, взаимодействие, интернет, реклама, маркетинг, коммуникация, контекст, контент, продвижение, пользователь, потребитель, потребность, телевидение

E.A. Raevskaya

MEDIATIVE SPECIFICITY IN MODERN ADVERTISING

Advertising interaction problems under the conditions of transformation of traditional media are investigated in this paper. The summary of the main trends in the advertising forms of interaction is presented. The experience in creating multiplatform communication channels, switching TV channels, radio stations and print media in the on-line mode are analyzed in the article.

Brand, interaction, internet, advertising, marketing, communication, context, content, promotion, users, consumers, demand, TV

Реклама как социальное явление приобрела массовый характер во всем мире. Глобализация рынка рекламы делает неоспоримым тот факт, что реклама имеет особое значение в современном обществе. Как и многие другие аспекты рекламной деятельности, современные коммуникации в этой среде не исследованы в той мере, в какой это необходимо для эффективного функционирования всех уровней взаимодействия в сфере рекламного взаимодействия. Недостаточность научного исследования в рамках социологического знания российского опыта конструирования рекламы и осуществления рекламных коммуникаций в рамках современных медийных форматов актуализирует тему данной статьи.

Реклама является, прежде всего, «рыночной коммуникацией, информационно связывающей продавца и покупателя на рынке» [7]. Как и для любой передачи знания, для рекламной коммуникации требуется некий социальный аппарат [1]. Рекламный продукт не выполняет своих функций вне канала распространения. В связи с этим в процессе конструирования рекламы важно учитывать её медиативную специфику, то есть зависимость от тех коммуникационных каналов, которые используются для её распространения.

Ставшие уже классическими формами распространения рекламной информации телевидение, печатная пресса и наружные форматы не теряют своей актуальности даже ввиду возникновения и развития современных коммуникационных технологий. В России постоянно расширяется возможность для использования в рекламных целях таких коммуникационных каналов, как Интернет, социальные сети, кинофильмы, компьютерные игры, мобильная связь. И у каждого формата рекламного обращения существует своя специфика. Рассмотрим ключевые особенности рекламного взаимодействия в рамках различных коммуникационных форматов.

Телереклама как наиболее распространенная форма рекламной коммуникации в России [8], основным каналом воздействия на потребителя использует визуализацию. Использование ярких визуальных образов является отличительной характеристикой телевизионной рекламы (по сравнению, например, с радиорекламой), а также весомым преимуществом. В телевизионной рекламе можно использовать не просто «застывший» образ, как в фотографии, хотя и такой приём часто применяется в рекламе, но целый видеоряд, подробно иллюстрирующий все достоинства товара. С точки зрения зрелищности, «смотрибельности» телевизионная реклама может сравниться только с интернет-рекламой в видеоформате. Отметим также, что телевизионная реклама носит массовый характер, а также по стоимости одного контакта с потребителем может быть самой доступной.

Важно отметить, что визуальный контент не только в телевизионной рекламе, но и во всех форматах рекламных коммуникаций становится доминирующим инструментом взаимодействия с потребителем. Как отметил Г. Дебор об отчуждении индивида в пользу созерцаемого объекта, «чем больше он созерцает, тем меньше он живет» [3]. Использование видео, фотографий и других изображений становится важнейшим инструментом для создания ценности бренда, увеличения его социальной значимости, управления web-трафиком, а также продвижения как непосредственно продукта, так и брендированного контента [9]. Современные люди, не расстающиеся с различными цифровыми устройствами 24/7, ведут очень динамичный образ жизни, а с визуальным контентом значительно проще взаимодействовать, поставить «like» или «поделиться с друзьями», чем сделать то же самое с длинными текстами. Те изменения в рекламной коммуникации, которые происходят в настоящее время – это не просто замена текстовой информации графической, но переход к новой коммуникационной парадигме, упрощенной и ускоренной благодаря современным технологиям, которая по-новому объединяет изображение и коммуникацию.

Так называемый «Digital» (то есть цифровая среда, это цифровые носители наружной рекламы, различные экраны в офисах, публичных местах, аптеках, магазинах, цифровые витрины магазинов, интернет-сеть) – это такая же важная среда, как и физическое пространство, в рамках которой надо последовательно подходить к взаимодействию с потребителем, воспринимая сеть не как трибуну для монолога, но адресно обращаться к своей аудитории, говоря на одном с ней языке.

Межличностное общение между участниками не характерно для массовой коммуникации, хотя следует отметить, что веб-сайты и некоторые другие относительно новые каналы взаимодействия, такие как интерактивное телевидение, уже «начинают создавать новые измерения массовой коммуникации, вводя в него измерение межличностного взаимодействия» [2]. Порождающий реальность потенциал этих техник много ниже общения лицом-к-лицу, которое они должны копировать [1]. Это означает, что такое опосредованное «общение» нельзя назвать ситуацией «лицом-к-лицу» [1] в понимании теории социального конструирования, тем не менее, это уже не столь абстрактное и анонимное сообщение, реклама приближается к более адресному взаимодействию, так как подобный уровень интеракций значительно повышает их эффективность. Располагая именем, номером телефона, почто-

вым адресом и адресом электронной почты, а также некоей информацией об интересах потребителя, рекламисты могут создавать персонализированные обращения к потребителю. И неважно, что данное обращение одинаково для большого числа потребителей с разницей лишь в обращении. Для потребителя важно личное обращение к нему, адресное, воспринимаемое с большим доверием. Такое адресное обращение часто используется в директ-мейл, в том числе и в интернет-рассылках.

Не смотря на прогноз О. Феофанова о том, что интернет-реклама не сможет в ближайшем будущем превзойти другие медиа-каналы [8], такие как радио, телевидение, наружная реклама, для современной России вопрос о необходимости присутствия бренда (предприятия, продукта, политического деятеля) в интернет-пространстве страны или города уже решается однозначно. Да, продажи интернет-рекламы на российском рынке сократились в 2013 по сравнению с 2012, но наличие собственного интернет-ресурса, профиля в социальной сети, промо-страницы или хотя бы информации в интернет-справочнике, то есть хотя бы минимальное присутствие в городской интернет-среде становится обязательным для развития и продвижения современных брендов.

Приходится констатировать, что многие бренды пока еще воспринимают свое присутствие в цифровой реальности как некоторую имиджевую и отчасти формальную необходимость, а не как часть своей стратегии развития. Однако уже можно говорить о постепенном изменении подобного взгляда на происходящее.

Осознание обширных возможностей, которые предоставляет интернет как коммуникационный канал, позволяет рекламистам формировать новые виды рекламы, не всегда очевидные потребителю, а значит, не отталкивающие аудиторию. Аккумуляция пользователей вокруг определенных тем позволило распространять рекламу более адресно, более целенаправленно. Это касается так называемой контекстной интернет-рекламы, которая может распространяться в рамках одного или нескольких схожих сообществ. Например, в сообществах социальной сети «ВКонтакте», объединяющих любителей котиков («Без кота и жизнь не та», «Котизм») появилась реклама смартфонов, которая была создана на основе типичных «постов» (или публикаций) сообществ: изображение кота на фоне мобильного устройства и текст. Такая реклама была создана в духе мотивационных постеров или интернет-мемов, она не выбивалась из контекста, привлекала внимание целевой аудитории, не вызывала негативной реакции подписчиков, как прямая реклама. Эта технология распространилась и в других сообществах, аккумулирующих сотни тысяч подписчиков. Данная концепция создания рекламных сообщений характеризуется адресностью, контекстностью, оригинальностью, а также тем, что не вызывает негативных откликов от пользователей.

Технологии контекстной интернет-рекламы могут быть использованы наряду с методом *media-engagement*, который позволяет рекламистам создавать определенный контент, собирающий аудиторию. И если этот контент (видеоролик, изображение, текст) интересен, подписчики сами распространяют его по своим контактным аудиториям, создавая так называемый *liquid content*, то есть текучий контент, который лишь запускается рекламистом, распространяют его сами пользователи сети. Следует учитывать, что «напечатанная фотография, опубликованная книга или журнал с иллюстрациями, выпущенный в прокат фильм начинают свою собственную жизнь в качестве текста культуры. Поэтому следует говорить не только о различиях в понимании смысла текста автором и аудиториями, но и об эффекте взаимовлияний текста и контекста социальных, экономических, политических и культурных условий производства визуального текста, его распространения и восприятия» [6, с. 16]. Поэтому при формировании такого контента необходимо учитывать контекст его распространения с тем, чтобы прогнозировать реакцию пользователей, которая должна быть позитивной для того, чтобы подписчик сделал репост, разместил изображение или видео у себя на странице.

Создание подобного контента сейчас – цель контент-маркетинга, относительно новой сферы деятельности рекламистов, работающей преимущественно в сети. Примерами контент-маркетинга можно назвать линейки медиапродукции, выпускаемой такими компаниями, как *Coca-Cola*, *PepsiCo*, *RedBull*. Это не просто компании, выпускающие напитки, это мультимедиахолдинги, включающие множество единиц медиапродуктов. Например, *RedBull* выпускает три глянцевого журнала, один научно-популярный, под этим брендом существует продюсерское агентство, студия звукозаписи, а также интернет-ресурс, социальная сеть. Подобную деятельность нельзя отнести к рекламе напрямую, также как и к *public relations*. Эта деятельность не формирует желание купить напиток, она формирует желаемый образ жизни у потребителей контента, она собирает аудиторию и транслирует ей жизненные ценности, установки, ориентиры, создает и популяризирует медийных персонажей, через них воздействует на вкусы, пристрастия, потребности и ценностные установки широких масс потребителей. Воспитание поколения потребителей, преданных торговой марке, – вот цель всей этой деятельности. Современная тенденция супербрендов, которые уже не производят товары (например, *Nike*),

заниматься формированием не просто потребностей в новых продуктах, но определенного стиля жизни, немыслимого без этих продуктов. Культивирование будущего постоянного спроса на продукт – такова цель этих громких, ярких и дорогостоящих кампаний по продвижению, в том числе и в сети.

В эпоху, когда всё превращается в медиа, присутствие в публичном пространстве для бизнеса становится не возможностью, а обязанностью. Как отмечает Э. Ноэль-Нойман, шансы несообщаемого стать частью действительности, воспринимаемой широкими массами современников, минимальны [4]. С другой стороны, то, что представлено в медиапространстве, в разных формах и с разных сторон, становится достоянием общественности, становится частью реальности многих людей.

Развитие контента, созданного пользователями, распространение и получение информации через социальные сети и доступность, часто бесплатная, практически любого контента, ставит бизнес в совершенно новые условия [9]. Медийные компании, специализирующиеся на новостях (как телевизионные, радиокomпании, так и печатные издания), пытаются активнее распространить влияние своего бренда во всех возможных цифровых точках контакта: там, где есть потребность со стороны потребителей в доступных актуальных источниках информации, которым можно доверять. В условиях мультимедийности платформ, запросов на получение персонализированной информации и меняющихся предпочтений клиентов, стратегия предоставления информации новыми способами с опорой на бренд является источником не только возможностей для значительного, но и стабильного роста [9]. Важно отметить, что переход в режим он-лайн вещания сделали многие СМИ: как телеканалы, так и радиостанции. Новые формы коммуникационного взаимодействия с пользователями позволяют не только привлечь дополнительную аудиторию, но и продать дополнительный объем рекламы. Причём ограничения взаимодействия в рамках интернет-рекламы также преодолеваются в процессе формирования особого рекламного сообщения специально для различных форматов. Если во время рекламной паузы в телепередаче зритель может сменить канал, то размещенные на сайте баннеры скрыть нельзя, посетитель сайта телеканала всё время просмотра передачи или фильма вынужден видеть рекламную информацию. Данное преимущество, однако, компенсируется относительно малочисленной аудиторией он-лайн просмотров. Тем не менее рекламная коммуникация в электронных версиях СМИ остаётся весьма популярной. Подобные формы продвижения требуют пересмотра классических методов работы рекламных агентств и медиа-каналов. Для осуществления проектов таких масштабов как у RedBull, формируются мультиплатформенные редакции – своеобразные центры управления контентом, которые разрабатывают, аккумулируют и транслируют информационное наполнение сразу по всем имеющимся медианалам.

Мультиплатформенность – то есть представленность во всевозможных форматах, становится обязательной для современных СМИ. Печатные издания выпускают не просто электронную версию, но и версию для мобильных телефонов (wap), для планшетных компьютеров. И во всех форматах контент может различаться. Печатная версия – более краткая. В электронную могут быть включены дополнительные материалы – видео, интерактивные рекламные модули, большее количество фотографий. Wap-версии – более компактные, более легкие, созданные для просмотра на смартфонах, также могут включать средства для интерактивной коммуникации с читателем. Рекламные возможности в электронных версиях более полные, но пользователь может пролистать, закрыть ненужные страницы. Задачей рекламистов в данной ситуации сделать так, чтобы читателям захотелось смотреть рекламу, внедрить рекламное сообщение в медиаканал так, чтобы пользователь принял рекламу за часть публикации, то есть снова попасть в контекст.

Итак, можно сделать вывод о том, что реклама существует только в рамках канала распространения, так как это опосредованная коммуникация. И роль этого канала в восприятии рекламы весьма существенна. Современная реклама уже перешла границы использования ставших традиционными каналов взаимодействия с потребителем, сейчас реклама уже вышла даже из медийного пространства, соединяясь с повседневной жизнью общества. Реклама не только использует существующие медиа, она создает свои, не просто привлекает известных людей для продвижения продуктов. Бренды создают своих «звёзд» с помощью собственных продюсерских компаний, при помощи сайтов, журналов и других каналов взаимодействия. Реклама вышла в стратосферу (кампания RedBull), появилась и в космосе. Современные рекламные технологии не только используют, но и изменяют, формируют заново коммуникативные практики. Современные задачи рекламной коммуникации ушли далеко вперед от задач продажи товаров на сегодняшнем рынке. Теперь целью интеракций с потребителем становится культивация у аудитории модели мира, созданной под корпоративные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер П. Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания / П. Бергер, Т. Лукман. М.: Медиум, 1995. 323 с.
2. Брайант Д. Основы воздействия СМИ: пер. с англ. / Д. Брайант, С. Томпсон. М.: Вильямс, 2004. 432 с.

3. Дебор Г.-Э. Общество спектакля / Г.-Э. Дебор. М.: Опустошитель, 2012. 178 с.
4. Ноэль-Нойман Э. Общественное мнение. Открытие спирали молчания / Э. Ноэль-Нойман. М.: Прогресс-Академия, Весь Мир, 1996. 352 с.
5. Романов П. Ландшафты памяти: опыт прочтения фотоальбомов / П. Романов, Е. Ярская-Смирнова // Визуальная антропология: новые взгляды на социальную реальность / под ред. Е. Ярской-Смирновой, П. Романова, В. Круткина. Саратов: Научная книга, 2007. С. 146-168.
6. Социология рекламного воздействия. М.: РИП-холдинг, 2006. 284 с.
7. Феофанов О. Реклама. Новые технологии в России / О. Феофанов. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
8. Шелюбская А. Interbrand: чего ждать от 2013 года? [Электронный документ] / А. Шелюбская. Режим доступа: <http://www.sostav.ru/publication/interbrand-chego-zhdad-ot-2013-goda-1734.html> (12.10.2013).

Раевская Елена Александровна –
аспирант кафедры «Менеджмент туристического
бизнеса» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena A. Raevskaya –
Postgraduate
Department of Tourist Business Management,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 316.42

А.В. Ручин

ПЕРЕДАЧА СОЦИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ В СФЕРЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА (ПРИМЕР САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Представлены результаты поиска корреляционных связей между мировоззренческими установками руководителей малых предприятий и их сотрудниками в аспектах социального доверия в обществе и отношений в коллективе. Исследование базируется на анкетном опросе, проведенном на предприятиях малого бизнеса Саратовской области в 2012-2013 гг. Показана и интерпретирована умеренная связь между формальностью отношений с руководством и оценкой степени сплоченности коллектива, а также связь между мнением руководителей фирм безопасности деловых отношений в России и мнением их сотрудников о порядочности людей в современном обществе.

Предпринимательство, малый бизнес, доверие, сплоченность, передача ценностей, отношения в коллективе, корреляция

A.V. Ruchin

TRANSFER OF SOCIAL VALUES IN THE BUSINESS SECTOR (EXAMPLE OF SARATOV REGION)

The article presents the results of correlation between ideology of small business managers and their employees in the aspects of social trust in society and relationships in the team. The study was based on the questionnaire survey conducted in small businesses of Saratov region in 2012-2013. The analysis allowed us to find and interpret the link between the degree of formality as regards the relations with the management, and evaluation of a team unity, as well as the link between the managers' opinion about the safety of business relations in Russia and their employees' opinion about the honesty surrounding people in Russia.

Entrepreneurship, small business, trust, cohesion, transfer of values, labor relations, correlation

Социальное доверие – многогранное и противоречивое явление в современном мире. Необходимость повышения уровня доверия в российском обществе в целях стимулирования социально-экономического развития активно обсуждается как в научном, так и публичном дискурсах. Но также активно обсуждается и возможные риски, связанные деструктивным использованием доверия граждан. Сфера предпринимательства – социальная среда, в которой наиболее сложно протекают процессы оперирования категорией доверия. От уровня доверия к конкретной организации зависит ее эф-

фективность. Это связано с тем, что частный бизнес в условиях рынка более всего заинтересован в формировании доверия к себе. Это необходимость проявляется во множестве социальных взаимодействий: с клиентами, работниками, партнерами, государством. Но необходимость доверять самому предпринимателю не явна. Существует множество рисков, которыми нельзя пренебрегать. В этой связи возникает актуальный вопрос: как такое противоречие интересов может повлиять на доверия в обществе в целом, вне сферы предпринимательства?

В статье представлены результаты поиска корреляционных связей параметров доверия и сплоченности между руководителями и сотрудников малого бизнеса на основе обработки массива данных анкетного опроса руководителей и сотрудников малых предприятия Саратовской области. Выборка квотная, с квотированием по отраслям. Всего в опросе приняло участие 468 сотрудников из 173 фирм. Руководители и их сотрудники опрашивались отдельно друг от друга. В анкетах присутствовали как идентичные вопросы, так специфические для каждой категории респондентов. Затем при вводе данных в электронный массив к каждой анкете сотрудника добавлялись данные из анкеты его руководителя. Это дало возможность провести корреляционный анализ переменных, отражающих уровень мировоззрения, как руководителей, так и сотрудников малого бизнеса.

В анкете использовались как самостоятельно разработанные вопросы, так и индикаторы, широко применяемые в мировой практике исследования социального доверия для сопоставления данных. Так были заимствованы отдельные индикаторы, использованные в международных опросах European Social Survey и World Values Survey, а также из исследований «Общественное доверие в среде академической молодежи» (международный проект РГГУ и Щецинского университета, руководитель О. Козлова) и «Инклюзия как фундаментальный принцип социальной безопасности: потенциал сплоченности в контексте модернизации социальной политики России» (руководитель В. Ярская). В качестве вопроса респондентам предлагалось выразить уровень своего согласия с предложенными утверждениями (например: В общем, людям можно доверять?), используя пятибалльную шкалу от 1 – «Категорически не согласен», до 5 – «Абсолютно согласен».

Учитывая порядковую шкалу, были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена. Всего было сопоставлено 23 вопроса-индикатора из анкеты сотрудников и 23 вопроса из анкеты их руководителей. В результате корреляционная матрица была представлена 529 сочетаниями переменных. В 39 случаях установлена связь с уровнем статистической значимости $p \leq 0,01$ и в 56 случаях – со значимостью $p \leq 0,05 > 0,01$. Большинство найденных связей – слабые: значение коэффициентов корреляции $r < |0,29|$.

Умеренная связь обнаружена только в двух случаях. Первый - между мнением руководителей о характере отношений в организации в контексте общей заинтересованности и зависимости заработка каждого сотрудника от работы коллектива и мнением сотрудников о степени формальности отношений с руководством ($r = 0,308^{**}$, см. табл. 1). Это говорит о том, что формальность отношений в глазах наемных работников является одним из ключевых параметров формирующим мнение руководителей об их заинтересованности в успехе компании. С другой стороны мы можем видеть разные оценки характера отношений в коллективе руководителями и их сотрудниками. Так коэффициент корреляции между переменными оценки формальности отношений показывает слабую обратную связь. А сравнение мнений об общей заинтересованности сотрудников в успехе организации показывает отсутствие статистически значимой связи.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между мнениями руководителей фирм и их сотрудников о характере отношений в коллективе

Мнения сотрудников	Мнения руководителей			
	P1	P2	P3	P4
C1	0,132*	0,103	-0,117	0,186**
C2	0,181**	0,127*	-0,073	0,184**
C3	0,122*	0,009	-0,125*	0,052
C4	-0,171**	-0,125*	0,308**	-0,015
C5	0,081	0,059	-0,073	0,167**

Сокращения. Вопросы для сотрудников: C1 - Вы заинтересованы в успехе организации, в которой работаете. C2 - Вы готовы работать сверхурочно без увеличения оплаты труда, если это необходимо для выживания предприятия. C3 - Вы готовы работать сверхурочно без увеличения оплаты труда, если это будет способствовать карьерному росту. C4 - Ваши отношения с руководством строятся исключительно на формальной основе. C5 - Отношения в Вашей организации строятся на общем интересе и зависимости заработка каждого от работы коллектива в целом. Вопросы для руководителей: P1 - Большинство Ваших подчиненных согласились бы работать сверхурочно без увеличения оплаты труда, если это будет способствовать их карьерному росту. P2 - Ваши отношения с подчиненными строятся исключительно на формальной основе. P3 - Отношения в Вашей организации строятся на общем интересе и зависимости заработка каждого от работы коллектива в целом. P4 - Вы допускаете возможность вступать в деловые отношения с партнером, которому НЕ доверяете.

Пересечение мнений руководителей о характере отношений в его коллективе и мнений сотрудников о степени формальности отношений с руководством подтверждает найденную корреляционную связь между этими ответами. В тех организациях, где руководство видит сплоченность коллектива в части достижений общего успеха, большая доля сотрудников (47,4%) отмечает формальность отношений с руководством. Там, где руководитель указал отсутствие общего интереса у сотрудников организации в ее успехе, наибольшая доля работников (37,7%) отметила неформальность отношений с руководством (см. табл. 2). Большинство сотрудников (61,3%) малых предприятий считает, что отношения в их организации строятся на общем интересе и зависимости заработка каждого от работы коллектива в целом и лишь 13,3% придерживаются противоположного мнения. Ответы на данный вопрос были пересечены с ответами на их же ответы на вопрос о формальности отношений с руководством, согласно которому формальность отношений присутствует в 39,4% организаций, а противоположная система отношений – в 27,0%, вместе с тем, так как выборка была квотная, к обобщенным данным следует относиться с определенной долей скептицизма.

Таблица 2

Пересечение мнений руководителей о характере отношений и мнений сотрудников о степени формальности отношений с руководством (n=276)

		Отношения в Вашей организации строятся на общем интересе и зависимости заработка каждого от работы коллектива в целом?					Итого	
		1	2	3	4	5		
Ваши отношения с руководством строятся исключительно на формальной основе?	1	% ответов	37,7	17,6	4,1	9,2	0,0	15,2
		Станд. остаток	4,2	0,5	-2,5	-1,3	-0,9	
	2	% ответов	24,5	26,5	25,7	18,4	0,0	23,2
		Станд. остаток	0,2	0,6	0,4	-0,9	-1,1	
	3	% ответов	17,0	20,6	29,7	13,2	60,0	21,0
		Станд. остаток	-0,6	-0,1	1,6	-1,5	1,9	
	4	% ответов	13,2	30,9	28,4	47,4	20,0	31,2
		Станд. остаток	-2,3	0	-0,4	2,5	-0,4	
	5	% ответов	7,5	4,4	12,2	11,8	20,0	9,4
		Станд. остаток	-0,4	-1,3	0,8	0,7	0,8	

Сокращения. 1 - Категорически не согласен (а). 2 – Скорее, не согласен(а) . 3 - Сложно сказать. 4 – Скорее, согласен(а). 5. - Абсолютно согласен(а)

Второй случай проявления умеренной прямой связи - сопоставление мнений работодателей о защищенности деловых отношений от обмана в современной России и мнений работников о порядочности большинства людей в России ($r = 0,330^{**}$). Это мы можем объяснить тем, что ощущение безопасности деловых отношений, свойственное предпринимателям, передается их сотрудникам, трансформируясь в образ порядочности населения России. В рамках соотнесения этих мировоззренческих установок мы можем наблюдать влияние внутренней среды организации на мнения сотрудников относительно внешней среды. Слабая положительная связь средней силы статистической значимости наблюдается между оценкой руководителем уровня заинтересованности его сотрудников в успехе организации и мнениями самих сотрудников относительно степени защищенности их от обмана и степени заботы органов власти о простых людях (см. табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между мнениями руководителей фирм и их сотрудников о роли государства в защите интересов граждан

Мнения сотрудников	Мнения руководителей				
	P6	P7	P8	P9	P10
C6	0,330**	0,074	0,149*	0,106	0,034
C7	-0,004	0,188**	0,130*	0,109	0,177**
C8	-0,004	0,142*	0,197**	0,184**	0,223**
C9	0,067	0,181**	0,232**	0,221**	0,206**
C10	-0,037	0,069	0,079	0,074	0,208**

C6 - Большинство россиян - в принципе порядочные люди. C7 - В современной России, вступая в деловые отношения, Вы защищены от обмана. C8 - Федеральная власть старается заботиться об интересах простых людей. C9 - Региональная власть старается заботиться об интересах простых людей. C10 - В современной России существуют эффективные механизмы защиты от обмана. P6 - В современной России, вступая в деловые отношения, Вы защищены от обмана. P7 - Федеральная власть старается заботиться об интересах простых людей. P8 - Региональная власть старается заботиться об интересах простых людей. P9 - В современной России существуют эффективные механизмы защиты от обмана. P10 - Сотрудники Вашей организации заинтересованы в ее успехе.

Интересно, что связь между мнениями руководителей и их работников относительно значимости доверия в обществе и склонности респондентов доверять - либо слабая и с низкой статистической значи-

мостью, либо отсутствует (см табл. 4). Это говорит о том, что мировоззренческие установки по одинаковым аспектам доверия не передаются от предпринимателей к сотрудникам напрямую. Но наличие корреляционных связей, хотя слабых и по неодинаковым вопросам, говорит о том, что предпринимательская среда является пространством формирования и трансформации доверия, но влияние пространства частного бизнеса осуществляется косвенно. Одни мировоззренческие установки руководителей малых предприятий провоцируют изменение других мировоззренческих установок их сотрудников.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между мнениями руководителей фирм и их сотрудников о роли и специфике доверия в современном обществе

Мнения сотрудников	Мнения руководителей				
	P11	P12	P13	P14	P15
C11	0,121*	0,151*	-0,204**	-0,118*	0,077
C12	0,055	-0,068	0,175**	0,026	-0,05
C13	-0,057	-0,155**	0,123*	0,159**	0,009
C14	0,102	-0,094	0,02	0,057	0,117*
C15	0,031	0,149*	-0,112	0,112	0,06

C11/P11 - В общем, людям можно доверять. C12/P12 - Лучше быть недоверчивым, чем доверять людям. C13/P13 - Перед тем, как довериться человеку, надо его хорошо узнать. C14/P14 - Моего доверия заслуживают только те, кто имеет те же ценности что и я. C15/P15- Доверие к бизнес-партнерам, по существу, выгоднее, чем недоверие.

Вывод. Из достаточно широкого списка мировоззренческих представлений руководителей и сотрудников малых фирм умеренная статистическая связь наблюдается только в двух случаях: между формальностью отношений с руководством и оценкой степени сплоченности коллектива, а также связь между мнением руководителей фирм безопасности деловых отношений в России и мнением их сотрудников о порядочности людей в современном обществе. Определенность модели взаимодействия предпринимателей с сотрудниками существенно влияет на качество отношений на предприятиях, при этом неформальность взаимодействия с руководством повышает, согласно мнения работников, сплоченность коллективов фирм. Связь между второй парой параметров показывает, как социальное пространство предпринимательства может оказывать влияние на формирование мнения сотрудников фирм о специфике социальных отношений в масштабах социума. Особый интерес представляет отсутствие связи между склонностью к доверию сотрудников и склонностью к доверию их руководителей в одинаковых вопросах-индикаторах, что показывает, что характер отношений между предпринимателями напрямую не передается. Но наличие корреляционных связей, хотя слабых и по неодинаковым вопросам в аспектах доверия, говорит о том, что предпринимательская среда является пространством формирования и трансформации доверия, но влияние пространства частного бизнеса осуществляется косвенно.

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта №12-33-01294.

Ручин Алексей Владимирович – кандидат социологических наук, социолог социологического центра Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey V. Ruchin - Ph. D., Sociological Center, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 12.10.11, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 008:004.738

Л.Н. Чевтаева

ИНТЕРНЕТ-ПИРАТСТВО: ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

Статья посвящена рассмотрению причин появления и распространения компьютерного пиратства как культурологического феномена, его разновидностей и различных точек зрения по вопросу о копирайте. Описаны основные продукты интеллектуальной собственности и источники потребления Интернет-контента.

Пиратство, копирайт, доступ, Интернет

L.N. Chevtava

INTERNET PIRACY: TODAY AND YESTERDAY

The article considers the reasons for emergence and distribution of the Internet-piracy as a phenomenon of culture, its varieties and different points of view relating the copyright. The basic products of intellectual property and sources of the Internet content are also described in the article.

Piracy, copyright, access, Internet

Проблема защиты авторских прав в России стоит весьма остро. Авторское право очень часто нарушалось и продолжает нарушаться до настоящего времени. На текущий день Россия, к сожалению, остается в числе стран – лидеров по производству и потреблению пиратской продукции. Причины этого феномена следует искать, как нам представляется, в уникальной специфике социокультурного и экономического быта россиян.

Согласно Интернет-энциклопедии Википедии, «компьютерное пиратство (copyright infringement) – жаргонный термин, означающий копирование и распространение произведений защищенных копирайтом, без ведома правообладателя. Это есть нарушение копирайтного законодательства по отношению к продуктам интеллектуального труда»¹.

«Применительно к копирайту термин «пираты» используется с середины XIX века для обозначения издателей, перепечатающих книги (ноты, гравюры и т.д.) без выплаты авторских отчислений – роялти. Иными словами, оно указывает на контрафакцию, совершаемую в промышленных масштабах». 1

В настоящее время пиратство в области интеллектуальной собственности распространяется, главным образом, на книги, музыку, фильмы, компьютерные игры и программное обеспечение. Все это можно свободно найти в Интернете. Именно поэтому процесс получения данных видов интеллектуальной собственности этим путем мы называем Интернет-пиратством. Пиратство вообще может касаться многих областей производства, таких как подделка фирменной одежды, аксессуаров, автомобилей, запчастей и прочего. Но именно вышеперечисленные виды пиратства в Интернете приобрели такие масштабы.

Компьютерное пиратство может принимать различные формы, однако можно выделить 5 наиболее распространенных его разновидностей:

- 1) незаконное копирование конечными пользователями;
- 2) незаконная установка программ на жесткие диски компьютеров;
- 3) изготовление подделок;
- 4) нарушение ограничений лицензии;
- 5) Интернет-пиратство².

Все эти разновидности нарушений авторских прав, так или иначе, связаны между собой и могут иметь место одновременно или отдельно друг от друга.

Для детального исследования феномена компьютерного пиратства нам представляется необходимым обозначить основные причины появления и распространения этого явления:

1. Экономический аспект, на наш взгляд, является одной из главных первопричин. Он подразумевает финансовую неспособность покупки в связи с низким материальным уровнем жизни основной массы населения. Это приводит к необходимости прибегать к нелегальным методам получения информационных продуктов. Страны третьего мира и Россия могут являться наглядным примером проявления этого аспекта.

2. Государственная цензура и ограниченность рынка (например, ограничение продажи определенных видов медиапродуктов в некоторых странах способствует незаконным методам их распространения).

3. Психологический аспект значительно повлиял на изначальное формирование компьютерного пиратства как культурологического феномена. Можно говорить о специфичной ментальности русских людей, обусловленной особенностями русского характера, обычаями и традициями, но факты указывают на то, что психологические причины появления компьютерного пиратства, как такового, свойственны не только России. «Я готов доказать, что в текущем положении дел виноваты первые усилия по охране цифрового копирайта путем защиты от копирования, и теперь большинство вполне

¹Интернет энциклопедия Википедия <http://anticopyright.ru/wiki/>

²Сайт «Адобе Системс» http://adobereal.ru/legal/5_kinds_of_piracy.php

порядочных пользователей, похоже, не испытывают угрызений совести от того, что владеют пиратскими копиями. ...Люди не склонны смиряться с тем, что усложняет их работу с компьютером, да еще и безо всякой для них выгоды», пишет канадский журналист и блогер Джон Перри Барлоу»¹ [3]. Запретный плод, как известно, сладок и еще больше привлекает. Кроме того, появление ограничений на использование чужой интеллектуальной собственности привело к подмене психологических понятий. «Вместо того, чтобы культивировать среди компьютерных новичков чувство уважения к работе своих товарищей, преждевременный расчет на защиту от копирования привел к подсознательному представлению, будто, взломав программный пакет, человек «заработал» право им пользоваться. Видя ограничения не в совести, а в технических навыках, многие вскоре почувствовали, что свободны делать все, что им заблагорассудится» [3].

4. Технический аспект или достаточная техническая и технологическая оснащенность современными средствами также способствовали развитию компьютерного пиратства. Как пишет в своей статье «Почему я борюсь с копирайтом?» известный писатель-фантаст и публицист Кори Доктороу, «компьютерная революция и массовое распространение интернета превратили копирование и передачу информации из технически сложного процесса, доступного только большим компаниям, в обычное действие, которое каждый день осуществляют все пользователи компьютеров и интернета. Если раньше изготовление, тиражирование и распространение книги, музыкального альбома или фильма предполагало сложный процесс создания физической копии, то теперь расходы на тиражирование и распространение не только стремятся к нулю, но и легко доступны всем желающим без всяких ограничений, кроме юридических»² [4].

5. Историко-культурологический аспект связан с политикой государства. Например, в Советском Союзе нарушали авторские права на издание книг иностранных писателей. Стоимость книг была низкой, и основная масса людей могла себе позволить приобретать как художественную, так и научно-методическую литературу. основополагающим фактором развития Советского книгоиздательства были государственные субсидии. С преобразованием Советского Союза в Российскую Федерацию произошла резкая перемена в политике государства, и прекратилось субсидирование издательского дела. Этот бизнес стал частным, что вызвало резкое повышение цен на книжные издания.

Культурологическая аналогия прослеживалась и в сфере звукозаписи. В Советском Союзе была одна государственная звукозаписывающая фирма «Мелодия». После развала Советского Союза звукозаписывающая индустрия стала частной. Культурологической особенностью России является то, что со времен перестройки российские артисты основной свой доход получают от сборов с концертов, а не с продажи дисков, как это бывает в других странах.

В сфере киноиндустрии наблюдалась подобная же ситуация. Все киностудии являлись государственными, и бюджет каждого фильма оплачивался государством. После перестройки производство фильмов отошло в частные руки.

С компьютерным программным обеспечением положение дел в нашей стране было по-своему уникальным. В то время когда в Америке уже в 1970-х годах программное обеспечение защищалось как интеллектуальная собственность, в Советском Союзе об этом никто не думал. Единственный известный случай упоминания об авторских правах связан с именем Алексея Пажитнова – создателя игры «Тетрис». Права на нее были выкуплены у Пажитнова одной американской компанией.

Проведенный краткий анализ показывает, какова была социокультурная обстановка в области авторских прав на территории России. За время существования Советского Союза выросло несколько поколений людей, которые плохо представляют себе, что такое авторские права, и считали, что копии интеллектуальной собственности – это легкий, дешевый и доступный способ получения различных видов информации.

В начале 1990-х годов правовое обеспечение интеллектуальной собственности было на очень низком уровне, что позволило развиваться первым российским пиратским компаниям. Ввиду массового распространения аудио- и видеомagneтофонов появилось множество частных предприятий, выпускающих аудио и видеокассеты без соблюдения авторских прав. Надо заметить, что во времена перестройки это явление тоже существовало, но оно не имело такого массового, масштабного характера в силу технической ограниченности самих пиратов. Лицензионных аудио- и видеокассет практически не было. Это тоже повлияло на социокультурное восприятие понятия «авторское право». Что касается программного обеспечения, следует отметить, что крупных производителей, так же как и издателей, не было. Таким образом, программы для компьютеров были исключительно пиратскими.

¹ Барлоу Д. П. Продажа вина без бутылок. Экономика сознания в глобальной Сети. <http://www.aquarun.ru/aquarius/neteconomy.html>

² Доктороу К. «Почему я борюсь с копирайтом» http://www.chaskor.ru/article/kori_doktorou_pochemu_ya_boryus_s_kopirajtom_1237

На ранних этапах развития Интернета и компьютерных технологий ситуация мало менялась с той лишь разницей, что для книгоиздателей это было отрицательным явлением, так как появились электронные книги и программы электронных читалок. Книгоиздатели потерпели колоссальные убытки и держались только за счет издания учебной и научной литературы. С появлением первых электронных сетевых библиотек ситуация с издательским бизнесом еще более усугубилась. Таким примером может являться библиотека Максима Мошкова, которая была открыта в 1994 году. От некоторых авторов создатель сам получал письменные разрешения на размещение произведений в своей библиотеке. Стивен Кинг, например, сам бесплатно выкладывает свои книги в сети. Но основная масса текстов поступала от читателей, которые самостоятельно набирали или сканировали понравившиеся произведения и отправляли их, не спрашивая на это разрешения у авторов. Затем, когда фонды библиотеки стали значительными, многие люди уже предпочитали не покупать, а скачивать книги. Сам Максим Мошков пишет: «Если в недалеком прошлом автор мог технологически контролировать распространение произведений, сейчас он просто не в состоянии отследить движение битов по проводам. И обществу предстоит сдвинуть устоявшиеся законы, которые бы соответствовали его текущему представлению. Закон должен фиксировать некоторое состояние общественных взглядов на нормальность совершаемых действий. Например, давая почитать книгу знакомым или соседям, мы, с точки зрения автора, наносим удар по его карману. Однако подобное действие современное общество не воспринимает как «беззаконное» или «аморальное»¹ [5].

Нельзя не согласиться с автором этих слов и не признать тот факт, что «авторское право в той форме, в которой оно существует, никоим образом не соответствует реалиям Интернет. Оно работает только для материальных предметов – бумажных книг, грампластинок, компакт-дисков и т.п. Старые законы не в состоянии охватить все нынешние объекты права в Интернет, и они нуждаются в переформулировке. Предстоит создание полностью новых концепций авторского права специально для Интернет» [5].

Несмотря на предъявляемые иски о нарушении авторских прав, библиотека Максима Мошкова является самой известной в Рунете и удостоена нескольких премий, в том числе Национальной Интернет-премии и гранта на 1 миллион рублей от Роспечати на развитие библиотеки. «Она была собрана для читателя и с помощью читателей», – пишет о ней сам Мошков. «Отсюда и вытекают ее достоинства. Ее создатель получает десятки писем каждый день с благодарностями. «За время моей деятельности я познакомился с десятками писателей, произведения которых теперь размещены в моей библиотеке с их ведома и дозволения», пишет Максим Мошков [5]. Он скромно замечает: «Мне просто хочется, чтоб книжки находили своего читателя, потому что мне страшно было бы жить в мире, где никто не читает книг, а ведь к этому потихоньку идет дело, в Америке уже давно пришло, а у нас движется с большим ускорением. Мне с этим движением не по пути, более того, мне – в сторону строго противоположную, и я буду делать все возможное, чтоб в этой противоположной стороне мне не было одиноко» [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что культурологический вклад подобных библиотек Интернета неоспорим. Они в значительной степени способствуют повышению уровня информационного обмена, интерактивному общению между читателями и писателями, между авторами и издателями. Это порождает новые взаимовыгодные контакты и предоставляет своего рода возможность бесплатной рекламы новых книг в сети, что в конечном итоге дает популярность писателям и их произведениям, а также способствует увеличению численности читателей. Все эти факторы, несомненно, повышают общий интеллектуальный и культурный уровень населения.

С появлением аудиоформата MP 3 люди начали бесплатно скачивать музыку из Интернета. В то время как в России Интернет еще только распространялся, в Америке уже в полной мере работал первый прообраз пиринговой сети. Это был Napster – файлообменная пиринговая сеть. Эта сеть позволяла легко обмениваться музыкальными файлами с другими людьми, что привело к обвинениям в нарушении авторских прав со стороны музыкальной индустрии. Несмотря на то, что сервис был остановлен по решению суда, он привел к появлению других децентрализованных сетей такого же типа, контролировать которые гораздо сложнее. Многие пользователи были благодарны за возможность скачать несколько песен без необходимости платить за весь альбом, за возможность обмениваться песнями, которые сложно найти – старыми записями и песнями с концертов. Также у пользователей появилась возможность скачать музыку, которую они приобрели до популяризации компакт-дисков, например, на виниловых пластинках и кассетах, в оцифрованном виде»².

¹ Мошков М. «Что вы все о копирайте. Лучше бы книжку почитали (Библиотеке копирайт не враг)». Статья для 300-го номера «Компьютерры» от 2-го июня 1999 г. http://lib.ru/COPYRIGHT/computera.txt_with-big-pictures.html

² По материалам Интернет-энциклопедии Википедии <http://ru.wikipedia.org/wiki/Napster>

Современные файлообменные сети другого типа – торрент-трекеры – дают пользователям возможность обмениваться файлами, содержащими не только музыку, но и фильмы, клипы, игры и т.д. Сейчас крупнейшие заинтересованные компании борются с торрент-трекерами, оказывая правовое давление на их хозяев. Торрентов много и они очень популярны. Например, по состоянию на 19 апреля 2011 года торрент-трекер The Pirate Bay (Пиратская Бухта) имел более 5 миллионов зарегистрированных пользователей. Он имеет стабильный доход от рекламы, который, однако, полностью уходит на поддержание сайта. С 2010 года Пиратская партия Швеции взяла этот торрент-трекер под свое начало. Представитель Swedish Pirate Party Рик Фальквинге (Rick Falkvinge) добавил, что такое «родство по духу» демонстрирует стремление прекратить противостояние между Голливудом и The Pirate Bay и защитить сайт, работа которого, по мнению Пиратской партии Швеции, является законной¹. С этой точки зрения некоммерческий обмен имеет право на существование и он может быть бесплатным и доступным для всех желающих.

Следует заметить, что пиратские партии начинают появляться с начала XXI века во многих странах. К настоящему времени к этим странам присоединились Аргентина, Болгария, Германия, США, Финляндия, Россия, Украина, Казахстан и другие, всего около 33 стран, которые входят в Пиратский Интернационал. Это международное объединение пиратских партий организует форумы и координирует деятельность пиратских партий всего мира, направленную на реформирование устаревшей системы авторских прав и патентов. Масштабность распространения пиратских партий говорит о глобальности назревшей проблемы и о необходимости ее разрешения всеми странами.

Возвращаясь к теме об источниках медиаконтента, нужно отдать должное торрент-трекерам, которые являются самыми крупными и универсальными источниками бесплатного контента на сегодняшний день. С их помощью желающие могут закачивать фильмы, клипы, телепередачи, музыку, игры и программное обеспечение для компьютеров для некоммерческого использования. Многие люди просто не представляют сейчас свою жизнь без такой возможности, которой они могут пользоваться бесплатно. Нужно отметить, что в настоящее время во всем мире происходит культурологический сдвиг в сторону того, что Интернет сам по себе становится всеобъемлющим источником контента, отвечающим разным потребностям и вкусам людей.

В связи с этим становятся понятными популярность и позитивное оценивание компьютерного пиратства среди российских пользователей. Например, по данным еженедельной бесплатной газеты «Наша Газета» города Екатеринбурга, «53% читателей, принявших участие в опросе по этой теме, признались, что скачивают пиратский контент из Интернета и вообще компьютерное пиратство не осуждают. По поводу музыки, фильмов и книг большинство горожан единодушны и считают, что все это должно быть доступным и бесплатным – по крайней мере, для первого ознакомления. Всего в опросе приняли участие 529 екатеринбуржцев»².

Но не только в России наблюдается такое положение дел. «Большинство пользователей интернета в США вовлечены в незаконный обмен файлами. Если бы завтра такой обмен был уничтожен, они бы делали то же самое, торгуя жесткими дисками, флешками, картами памяти (еще больше информации переходило бы из рук в руки, просто медленнее). Если копирование в интернете завтра закончится, это станет и концом культуры в глобальной сети. YouTube бы не существовал без своего хранилища незаконных роликов. «Живой журнал» умер бы без всех этих интересных картинок-аватаров, замечательных и шокирующих цитат из книг, новостей и блогов. Flickr просто исчез бы без фотографий всех этих защищенных авторским правом, торговыми марками и другими способами объектов, работ и событий»³ [9]. Распространение копий фильмов, тем не менее, не вредит киноиндустрии, так как основной доход приносит кинопрокат в кинотеатрах. А пиратские копии музыкальных альбомов, появляющиеся в сети раньше официального срока выхода, не делают их менее популярными, скорее, наоборот, являются в какой-то степени их анонсом и способствуют рекламе.

Аналогичное мнение, но по поводу программного обеспечения, высказал известный американский программист и писатель Ричард Мэтью Столлман: «Свободное программирование дает программы, которые весьма надежны и эффективны, и я счастлив, что это придает ему привлекательности. Но я, скорее, выбрал бы едва работающую, неэффективную, ненадежную, но свободную программу, чем удобную и надежную, но проприетарную программу, которая не уважает мою свободу»⁴ [10] Мы видим, что большинство людей прибегают к пиратским методам получения медиапродуктов

¹ http://ru.wikipedia.org/wiki/The_Pirate_Bay

² Компьютерное пиратство: на чьей вы стороне? – еженедельная бесплатная городская газета «Наша Газета» г. Екатеринбург №1 2 от 31 марта 2011 года, http://www.ngzt.ru/magazines/ng/2011/n12/kompjuternoe_piratstvo_na_chejj_vy_storone

³ http://www.chaskor.ru/article/kori_doktorou_pochemu_ya_boryus_s_kopirajtom_1237

⁴ Столлман Р.М. Интернет и пиратство, как неотъемлемый феномен сети /интервью сайту Слэшдот <http://anticopyright.ru/wiki/>

и одобряют отмену копирайта. По сути дела некоммерческий обмен не является пиратством, хотя есть и другие мнения. Можно понять авторов, которые бы хотели получить гонорар за свои произведения, и то, что теперь, когда существует Интернет, сделать это становится труднее. Зачастую правообладатели становятся посредниками между авторами и потребителями, выкупая произведения, они диктуют свои условия. Но в пространстве Интернета законы материального мира не всегда применимы. Необходимо коренным образом изменить сущность копирайта, учитывая особенности информационного общества.

С точки зрения культуры это должно быть пространство, где отношения между людьми строятся на этике и уважении личности и ее авторских прав, а не только на жестких законах и правилах. Возможно, что обществу еще предстоит «дорастить» до такого уровня развития культуры человеческих отношений и мы пока еще в начале этого пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет энциклопедия Википедия <http://anticopyright.ru/wiki/>
2. Сайт «Адобе Системс» http://adobereal.ru/legal/5_kinds_of_piracy.php
3. Барлоу Д.П. «Продажа вина без бутылок» Экономика сознания в глобальной Сети. <http://www.aquarun.ru/aquarius/neteconomy.html>,
4. Доктору К. «Почему я борюсь с копирайтом» http://www.chaskor.ru/article/kori_doktorou_pochemu_ya_boryus_s_kopirajtom_1237
5. Мошков М. «Что вы все о копирайте. Лучше бы книжку почитали (Библиотеке копирайт не враг)». Статья для 300 номера «Компьютеры» от 20 июня 1999 г. http://lib.ru/COPYRIGHT/computera.txt_with-big-pictures.html
6. По материалам Интернет-энциклопедии Википедии <http://ru.wikipedia.org/wiki/Napster>
7. http://ru.wikipedia.org/wiki/The_Pirate_Bay
8. Компьютерное пиратство: на чьей вы стороне? – еженедельная бесплатная городская газета «Наша Газета» г. Екатеринбург №12 от 31 марта 2011 г. http://www.ngzt.ru/magazines/ng/2011/n12/kompjuternoe_piratstvo_na_chejj_vy_storone
9. http://www.chaskor.ru/article/kori_doktorou_pochemu_ya_boryus_s_kopirajtom_1237
10. Столлман Р.М. Интернет и пиратство как неотъемлемый феномен сети /интервью сайту Слэшдот <http://anticopyright.ru/wiki/>

Чевтаева Лариса Николаевна –
соискатель кафедры «Культурология»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Larisa N. Chevtaeva –
Degree Candidate
Department of Culturology
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 11.09.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 334.7.021 + 519.81

И.А. Панкратов, Г.Р. Шамьенова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СТРАТИФИКАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

Анализируются основные классические концепции социальной стратификации общества. Выделяются факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование неравенства в инновационном обществе. На основании этого предлагается модель для анализа неравенства в обществе на основании оценки реализованных возможностей человека. При этом учитываются особенностей влияния факторов различных стратификационных порядков на социальное положение различных слоев населения, а также отдельных индивидов. Такой анализ позволяет оценивать стратификацию инновационного общества и эффективность социальных преобразований.

Общество, неравенство, стратификация, иерархия, потребности, инновационное общество

I.A. Pankratov, G.R. Shamyenova

THEORETICAL BASIS FOR STRATIFICATION ASSESSMENT OF THE INNOVATIVE SOCIETY

The main classical concepts of social stratification of society are analyzed. The factors having the greatest impact on the formation of inequality in innovative society are identified. A model for analyzing the inequality in society on the basis of assessment of the realized opportunities of a person is offered. A special focus is made on the specific factors related with the various stratification levels which influence the social status of various segments of population, including particular individuals. Such analysis allows to estimate the stratification of innovative society and efficiency of social transformations.

Society, inequality, stratification, hierarchy, requirements, innovative society

Политические и экономические преобразования, начавшиеся в постсоветский период, повлекли за собой процессы социальной трансформации российского общества. Переходному и постпереходному периоду свойственно возникновение трудностей при изучении социальных отношений и общества в целом. В этих условиях проблемы стратификации и взаимоотношения различных социальных групп всегда занимают приоритетное положение.

Проводимый анализ состояния общества основывается, прежде всего, на классических подходах к вопросу стратификации, которые широко представлены в работах К. Маркса и М. Вебера, а также переосмыслены и дополнены их последователями. Тем не менее обозначенные выше подходы являются основополагающими при оценке общества в целом, а также неравенства, в нем возникающего.

Однако подходы классиков актуальны для развитых европейских и североамериканских обществ, которые уже сформировали четкую внутреннюю структуру. Особняком здесь встает общество России, поскольку процесс его трансформации нельзя считать законченным.

В связи с этим встает вопрос правильной оценки российского социума. Для этого необходимо использовать теорию, несколько отличную от марксистских и веберовских, которая учитывает именно отечественные условия. В связи с этим авторами данной работы предлагается новая модель для описания российского общества.

Анализируя проблемы социально-экономического неравенства в современной России, приходится учитывать как общемировые тенденции, так и специфические особенности страны. Принадлежность России к трансформирующимся обществам, переживающим переход от советской системы к новому состоянию, обуславливает специфические особенности ее функционирования и развития.

Авторитетные российские ученые, такие как О.И. Шкаратан и Т.И. Заславская, а также ряд других, выделяют характерные особенности российского общества.

В трансформирующемся обществе, каковым является и российское, традиционные критерии социальной стратификации утрачивают свою силу и убедительность, вследствие чего происходит верификация разнообразных стратификационных шкал или их комбинаций. Казалось бы, устойчивые и испытанные независимые критерии (доход, уровень образования) не дают адекватной картины стратификации в переходном обществе, где, скажем, значительная часть источников индивидуальных доходов относится к так называемой «неофициальной» или «серой» экономике [1].

Переходный период характеризуется изменением силы воздействия факторов, влияющих на стратификацию. Наблюдается ослабление государственной власти, порождающее напряженную борьбу политических партий и группировок. Дестабилизация власти способствует относительному ослаблению роли политического компонента социальной стратификации. Объем властных и политических полномочий, тем не менее, оказывает значительное влияние на формирование социального статуса. Однако главенствующую роль в формировании статуса начинает играть «экономико-политический» фактор, который включает три компонента: владение капиталом, производящим доход; причастность к процессам распределения, перемещения и обмена общественного продукта; уровень личных доходов и потребления. Особая роль принадлежит первому компоненту [2].

Стоит отметить, что используемые модели для описания российского общества основаны на классических теориях, описывающих стратификацию. Из-за этого они имеют ряд недостатков, которые не позволяют произвести полноценный глубокий анализ процессов, происходящих в обществе российском. Поэтому представим основные классические подходы с целью извлечения из них клю-

чевых моментов, которые характерны для современного российского общества, и формирования улучшенной и обобщенной модели.

Прежде всего, необходимо обозначить ключевые моменты, общие для всех подходов. Стратификационный порядок – это всегда иерархичный порядок, классифицирующий индивидов по ранговому принципу, то есть определяющий на основе некоторого множества критериев неравенства, кто из агентов (индивид, группа, слой) занимает более высокое, а кто – более низкое положение на социальной лестнице общества. Вообще положение сообществ в социальной структуре формируется на основании всей совокупности стратификационных порядков, которые методологически и методически обосновываются исследователем в рамках той или иной теоретической парадигмы или подхода.

Класс – одно из ключевых социологических понятий. Считается, что корректное употребление понятия класса требует его экспликации в контексте сознательно принятых исследователем или некритически заимствованных теоретических допущений. Э. Райт довольно точно сравнил эту категорию с «хамелеоном, меняющим окраску фактически в каждой социологической традиции» [3]. Общеизвестно, что представлением о классе мы обязаны, прежде всего, трудам К. Маркса и М. Вебера, которые являются основоположниками подходов к проблеме описания социального неравенства.

Далее рассмотрим основные положения структурного (основанного на представлениях К. Маркса) и деятельностного подходов (в основу которого легли труды М. Вебера), на которых базируется большинство теорий.

Сторонники структурного подхода чаще всего социальную структуру представляют как первичную конструкцию, репрезентирующую морфологические особенности конкретного общества. Особенности же вытекают из качества элементов, в совокупности образующих структуру, а также из способов зависимостей и взаимосвязей между ними. Основателями такого подхода в социологии справедливо считаются К. Маркс и Э. Дюргейм, а его расцвет совпал с доминированием в академической социологии США структурного функционализма в версиях Т. Парсонса и Р. Мертона.

Представители данного подхода, во-первых, воспринимают структуру как завершённый результат, сознательно обходя научным вниманием весь тот процесс, который привел к ее формированию. Иначе говоря, структурное исследование абстрагируется от проблем времени и, разумеется, от проблем возникновения, становления, развития вообще. Во-вторых, исходят из того, структура, существующая независимо от индивидов и их объединений, также находится за пределами индивидуальных или групповых влияний, недостижима для них. В-третьих, считают что поведение людей и общностей, мнения, установки в основных чертах диктуются именно структурой, вытекают из нее, могут быть редуцированы к ней. В таком понимании структурное объяснение – это редукция того, что наблюдает социолог, к характеристикам позиций, которые занимают индивиды в данный конкретный момент.

Именно последователями марксистской социологии постоянно подчеркивалось, что ценности, культурные традиции, социальные институты и организации не являются составляющими социальной структуры. Последняя связана только с местом индивидов в системе производства. При этом содержание и конфигурация классового стратификационного порядка, то есть какие отношения и между какими-то именно классами определяют динамику социальной интеграции/дизинтеграции и общественных изменений, – вот что является главным объясняющим фактором [4]. Вертикальное измерение задают обладание или не обладание собственностью: тот, кто имеет ее в своем распоряжении, является «высшим», или сильнейшим; именно собственник устанавливает асимметричные отношения с помощью нефизических средств принуждения, которые К. Маркс и называл «эксплуатацией» (его концепция классовообразования глубоко проинтерпретирована и схематично представлена в монографии О. Куценко «Общество неравных» [5]).

В марксизме разделение общества на экономические классы становится неизбежным следствием развития производства, а собственность рассматривается как конституирующая характеристика современных множественных неравенств. К. Маркс наряду с собственностью видел также и другой фактор неравенства, а именно – разделение труда. Собственность, согласно К. Марксу, формирует наиболее сильный социальный раскол в обществе. Формируются производственные отношения и появляется классовая борьба.

Показателен фрагмент работы Ф. Энгельса, в котором он отмечает следующее: «рядом с этим огромным большинством, исключительно занятым подневольным трудом, образуется класс, освобожденный от непосредственно производительного труда и ведающий такими общими делами общества, как управление трудом, государственные дела, правосудие, науки, искусства и т.д. Следовательно, в основе деления на классы лежит закон разделения труда. Это, однако, отнюдь... не мешало господ-

ствующему классу, захватившему власть, упрочивать свое положение за счет трудящихся классов и превращать руководство обществом в усиленную эксплуатацию масс» [6].

Поэтому ключевым понятием марксизма является именно класс, и, не смотря на то, что сам К. Маркс не давал его четкого определения, этим занялись последователи его идей. «Класс – это культурное и социальное образование (часто находящее свое институциональное выражение), которое не может быть определено абстрактно или обособленно, но только в отношении с другими классами; и это определение всенепременно опосредуется временным контекстом, в котором происходят действие и ответные реакции, изменения и конфликты. Говоря о классе, мы имеем в виду не слишком строго определенную группу людей, разделяющих общие интересы, социальный опыт, традиции и системы ценностей, людей, предрасположенных вести себя как класс, определять себя в своих действиях и в своем сознании как класс по отношению к другим группам людей. Сам по себе класс - это не вещь, но событие (happening)» [7].

Четкое же разделение членов общества на эксплуататоров и эксплуатируемых, на основе владения средствами производства, на наш взгляд заслуживает серьезной критики. Усложнение общественных отношений ведет к образованию промежуточных, но при этом стабильных и значительно влияющих на социальную действительность, классов.

В 80-е годы на дискуссионной арене появляется аналитический марксизм. Основатель этого направления Д. Ремер прежде всего берет за переосмысление понятия эксплуатации, пытаясь избавиться от намеков на угнетение и несправедливость. Он, почерпнув ряд понятий из арсенала теории игр, вводит в оборот «правила изъятия» [8]. Результат его рассуждений таков: эксплуатация одних групп другими происходит в том случае, если при условии выхода из данной экономической системы кто-то относительно выиграл бы, а кто-то проиграл. Наличие эксплуатации как основы классовых отношений, таким образом, определяется самой возможностью лучшего удела.

Таким образом, теоретические концепции марксизма являются основополагающими для понимания стратификационного порядка в обществе. Возросшее значение частной собственности и отношения, вытекающие из этого, делает марксистский подход особенно актуальным в российских условиях. Владение средствами производства и влияние этого аспекта как фактора, во многом определяющего положение индивида в стратификационной иерархии российского общества, является особенно значимым в современных условиях. Данный фактор является значимым первоисточником имущественной дифференциации, на которой сфокусировано наше внимание. Имущественное расслоение, на наш взгляд, является наиболее выраженным, но строить стратификационную модель основываясь только лишь на имущественном расслоении, видится нам как слишком узкое понимание сложившейся ситуации. Нельзя пренебрегать и тем, что в российском обществе процесс трансформации по-прежнему продолжается, поэтому нельзя воспринимать сложившуюся структуру как постоянную. Наряду с этим общество выдвигает также ряд других значительных факторов, пренебрежение которыми недопустимо. Так, значительно возросло, например, значение властного фактора. В связи с этим необходимы существенный пересмотр и дополнение данного подхода для адаптации к условиям современной России.

Деятельностный подход связан с концептуальными взглядами на действие М. Вебера. Действующий индивид выступает здесь стартовой точкой, и уже нет нужды рассматривать структуру исключительно как результат, она воспроизводится индивидуальными и групповыми действиями, а соответствующие практики являются насколько производными от структур, настолько и тем, что активно влияет на стратификационные процессы и активизирует динамику социальных структур. Во второй половине XX века предпринимался ряд плодотворных в теоретико-методологическом плане попыток преодолеть противопоставление структур и действия в рамках направлений, существовавших под разными названиями: «деятельностно-активистское», «деятельностно-структурное», «конструктивистско-структуралистское» [9].

Стратификационная модель М. Вебера вполне может быть рассмотрена как продолжающая логику анализа К. Маркса, но на другом уровне обобщения, в котором уже существенную роль играют индивидуальные различия. М. Вебер также рассматривает классы с точки зрения их экономического положения и возможности социально направленных действий. Для М. Вебера «классы» не являются общностями, они только предоставляют возможность для совместных действий. Предметом его анализа становятся социальные образования, имеющие экономические различия в соответствии с их рыночными позициями, то есть, вводится элемент конкурентности в рассмотрение классовых отношений. Основаниями рыночной позиции, по М. Веберу, являются дополнительные параметры, такие как квалификация и профессиональное образование, которые, наряду с капиталом и контролем за средствами производства, формируют стратификационную модель общества. Высокие рыночные по-

зиции могут занимать те, кто обладает редкой и востребованной на рынке квалификацией и вследствие этого имеет высокие заработки. Данные экономические различия порождают неравенства в жизненных шансах как возможностях обладать частью экономического и культурного капитала, предоставляемого обществом. Жизненные шансы, определяемые различными рыночными позициями, оцениваются людьми, становятся основанием их социального положения.

Подход М. Вебера схематично можно представить следующим образом: структурной основой классовой ситуации является распределение между позициями наиболее дефицитных цивилизационных ресурсов – власти, собственности, богатства в виде материальных и символических (престиж) вознаграждений [10]. То есть неравенство, а точнее, порядок неравенств как порядок разнообразных, не одинаковых по объемам и качеству жизненных шансов и возможностей он вводит для наблюдения и описания общества в качестве конститутивного элемента самого этого общества – того, к чему индивиды должны приспосабливаться и что они не в состоянии изменить. Согласно его теории в основе иерархии в любом обществе лежат три независимых фактора, таких как собственность, власть и престиж. Различия в собственности порождают экономические классы; различия в доступе к власти создают политические партии, а различия в престиже порождают страты, или статусные группировки.

Множество признаков, из которых состоит «социальная структура» того или иного уровня сложности (сложность здесь – производная от количества элементов структуры), не бесконечно, а признаков, которые бы сразу формировали стратификационные порядки, еще меньше. Не утрачивают актуальности взгляды М. Вебера по этому поводу. В работе «Основные понятия стратификации» он утверждает, что общественная система состоит как минимум из трех стратификационных порядков, в каждом из которых неравномерно распределяются наиболее дефицитные ресурсы: экономический порядок, или распределение доходов и богатства; политический порядок, или распределение власти; социальный порядок, или распределение авторитета, уважения, престижа. То есть «тремя автономными измерениями стратификации» [11], или стратификационными порядками, согласно Веберу, являются собственность, власть и престиж как три отдельных фактора, образующих в своем взаимодействии основания иерархий в любом обществе.

Интересна классовая концепция Р. Дарендорфа. Отталкиваясь от учения К. Маркса, он все же ставит во главу угла именно распределение власти и авторитета. Собственность низводится в ранг одной из форм реализации власти. Причем отмечается падающее значение этой формы ввиду массовой корпоративизации собственности и перехода контролирующих функций в руки менеджеров. Авторитет менеджера современной корпорации уже имеет принципиально иные источники – уровень образования, значение которого для распределения ролей непрерывно повышается, и должностные позиции в бюрократической иерархии.

Р. Дарендорф пытается освободить теорию классов от подавляющего влияния частной собственности. Классы становятся аналитической категорией, отражающей распределение власти и авторитета между социальными группами. Отношения групп неизбежно принимают характер господства и подчинения. Поскольку власть и авторитет остаются неизменно дефицитным ресурсом, борьба за эти ресурсы принимает форму конфликта. Исходя из этого, классы рассматриваются как конфликтные группы. Этим они, собственно, и отличаются от страт как описательной категории, обозначающей множественные ранговые позиции, занимаемые квазигруппами на иерархических шкалах. Вот как в итоге он определяет классы: «Класс обозначает конфликтные группы, которые возникают в результате дифференцированного распределения авторитета в императивно координированных ассоциациях» [12].

Блестящее применение стратификационного деятельностного подхода в эмпирических исследованиях заслуженно связано с именем П. Сорокина. Следуя его воззрениям, социальная стратификация – это иерархически организованная совокупность объединений людей, проявляющаяся в трех главных формах: экономической, политической и профессиональной. Если экономический статус членов общества неодинаков, если среди них есть как собственники, так и несобственники, то такое общество характеризуется наличием экономического расслоения, экономического стратификационного порядка.

Выделяя основные моменты взглядов П.А. Сорокина на социальную стратификацию общества, отметим, что, «социальная стратификация – это дифференциация некой данной совокупности людей (населения) на классы в иерархическом ранге» [13]. Важным и актуальным является выделение трех независимых форм проявления стратификации общества: экономической, политической, профессиональной. Являясь, казалось бы, независимыми, они все же оказывают влияние друг на друга. И выяснение степени их взаимного влияния является открытым вопросом для российского общества. П. Сорокин первым дал полное теоретическое объяснение социальной стратификации.

Таким образом, М. Вебер представляет три основных признака, на основании которых происходит стратифицирование общества, и признаки эти он считал независимыми. Однако для исследования российского общества необходима модель, сочетающая выделенные признаки в общей системе стратификации. Поэтому необходимость нахождения взаимосвязи между такими «независимыми» признаками вытекает из логики анализа общества.

Тем не менее выделение таких факторов, как распределение доходов и богатства и власти, остается, на наш взгляд, актуальным и в современных условиях. Главной задачей является выделение составляющих данных факторов и определение их влияния. В российских условиях влияние и удельный вес факторов, влияющих на стратификацию, является специфическим, так как переходный период в нашем обществе еще не закончен, а соответственно постоянность влияния данных факторов не установлена.

Представляя авторскую концепцию для изучения современного российского общества, необходимо сразу обозначить, что она основана на принципе стремления индивида к максимальной реализации возникающих у него потребностей. Весь набор потребностей наглядно представлен в пирамиде А. Маслоу, однако для нас важны не все они, а лишь оказывающие значительное влияние на формирование и изменение положения отдельно взятого индивида в стратификационной иерархии конкретного общества.

Потребности определяют жизнь человека, а также модель его поведения в обществе. И чтобы понять, какие цели ставит перед собою индивид и к чему он стремится, необходимо понимать, какие потребности и когда индивид имеет или может иметь. Эта парадигма реализует материализм в социологии. Для большего понимания приведем фразу Энгельса о том, что «люди привыкли объяснять свои действия из своего мышления, вместо того, чтобы объяснять их из своих потребностей...» [14]. Из этого следует, что мы в продолжение работ ряда известных философов, социологов и психологов намерены во всех массовых действиях видеть, искать соответствующие потребности.

Таким образом, удовлетворение каких-то потребностей является вопросом биологического выживания человека, удовлетворение иных же служит показателем его возможностей, поскольку при удовлетворении базовых возникают потребности более высокого уровня. Причем чем выше положение человека, тем большими ресурсами он обладает, соответственно, удовлетворить более высокую потребность для него не составит никакого труда, когда для человека, занимающего низшее положение, это неразрешимая задача. Особенно учитывая, что перед индивидом, занимающим нижнее положение в иерархии, вопрос об удовлетворении высших потребностей просто не встанет в силу наличия неудовлетворенных потребностей его уровня.

Показатели удовлетворения потребностей присутствуют в каждом стратификационном порядке, поэтому, проанализировав каждый из них, мы сможем составить общую систему стратификации общества. Особенно это актуально в условиях нарождающихся обществ инновационного типа. Место современного российского общества в этой новой парадигме представляет особый интерес для исследователей в силу специфики функционирования его социальных и общественных институтов. Выделение четырех стратификационных порядков основано на синтезе представлений классиков на отражение социального неравенства, а набор факторов, их составляющих, основывается на тенденциях развития современного российского общества.

Поэтому использование данного метода оценки неравенства позволяет рассматривать как состояние общества в целом, так и влияние различных отдельных процессов, в нем протекающих, в частности. Это имеет особенно важное значение в условиях экономических и социальных трансформаций, протекающих в российском обществе, с целью определения их эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чапская И. Имущественное положение граждан в трансформирующемся обществе / И. Чапская // Социология: теория, методы, маркетинг. 1999. № 3.
2. Заславская Т.И. Социальная структура современного российского общества / Т.И. Заславская. Общественные науки и современность. 1997. № 2.
3. Wright O.E. Class Structure and Income Determination. New York; London; Toronto; Sydney; San Francisco, 1979.
4. Радаев В. Социальная стратификация: учеб. пособие / В. Радаев, О. Шкаратан. М.: Наука, 1996.
5. Куценко О.Д. Общество неравных. Классовый анализ неравенств в современном обществе: попытки западной социологии / О.Д. Куценко. Харьков: Изд. центр Харьков. Нац. ун-та им. В.Н. Каразина, 2000.

6. Энгельс Ф. Развитие социализма от утопии к науке. Разд. III // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. М., 1961. Т. 19.
7. Thompson E.P. The Making of the English Working Class / T E.P. hompson. N.Y., 1963.
8. Roemer J. A General Theory of Exploitation and Class / J. Roemer. Cambridge Mass., 1982.
9. Классовое общество. Теория и эмпирические реалии / под ред. С. Макеева. Киев, 2003.
10. Вебер М. Основные понятия стратификации / М. Вебер // Человек и общество: хрестоматия / под ред. С.А. Макеева. Киев, 1999
11. Вебер М. Основные понятия стратификации / М. Вебер // Социологические исследования. 1994. № 5.
12. Dahrendorf R. Class and Class Conflict in Industrial Society / R. Dahrendorf. L., 1959.
13. Сорокин П.А. Человек. Цивилизация. Общество / П.А. Сорокин. М., 1992.
14. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. М.: Гос. изд-во полит. лит., 1955.

Панкратов Илья Андреевич –
аспирант кафедры «Экономическая социология»
Саратовского государственного социально-
экономического университета

Цуа А. Pankratov –
Postgraduate
Department of Economic Sociology
Saratov Socio-Economic University

Шамьенова Галия Рушановна –
кандидат филологических наук,
доцент Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Galia R. Shamyenova –
Ph. D., Senior Lecturer
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 19.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

ЭКОНОМИКА

УДК 65.018

В.П. Борисенко

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Разработана система предварительной обработки, анализа и оценки качества стратегического управления на предприятии, позволяющая составить целостное представление о работе предприятия и выживаемости его в долгосрочной перспективе. Классифицированы и систематизированы математические, статистические и графические методы, возможные к применению в процессе стратегического управления. Методы и коэффициенты оценки качества системы стратегического управления, изложенные в данной статье, могут быть применимы к другим системам оценки качества процессов и явлений на различных предприятиях.

Оценка, качество, стратегическая, система управления, предприятие, методы, коэффициенты

V.P. Borisenko

QUALITY ASSESSMENT OF THE STRATEGIC MANAGEMENT SYSTEM OF AN ENTERPRISE

The article presents a new system of pre-processing, analysis and assessment of the strategic management quality at an enterprise, allowing to have a holistic view of the enterprise and its survival in the long run. Mathematical, statistical and graphical methods which can be applied to the strategic management process are classified and systematized. The methods and quality assessment coefficients of the strategic management, outlined in this article, can be applied to other quality assessment systems dealing with the processes and events in various enterprises.

Assessment, quality, strategic, management system, the enterprise, the methods, factors

Стратегический аудит предприятия [3] в целом позволяет выявить болевые точки стратегического управления, однако в силу большого массива неструктурированной информации составить целостное представление о стратегической системе управления полученные данные не позволяют, поэтому собранная информация нуждается в систематизации для подготовки комплексных выводов о работе стратегической системы управления.

Оценка качества системы стратегического управления [2] проводится в два этапа: предварительная обработка, анализ полученных данных и вычисление комплексного показателя качества системы стратегического управления¹.

На первом этапе выполняется анализ: имеющихся данных о проблемах отрасли и предприятий данной отрасли; опросов относительно основных проблем системы управления; опросов относительно целей, увязанных с интересами стейкхолдеров; опросов относительно наличия, целей, функций, возможности объединения или разъединения различных систем стратегического управления (административный аудит); опросов относительно методов, используемых при организации стратегической деятельности; опросов относительно наличия и состава ключевых показателей эффектив-

¹ Методология вычисления комплексного показателя качества стратегической деятельности будет описана в следующей статье.

ности работы стратегической системы управления; опросов относительно наличия и наименования модели управления стратегической деятельностью; опросов относительно наличия и состава стандартов стратегической деятельности; опросов относительно наличия, состава и периодичности пересмотра и уточнения стратегической отчетности; опросов относительно достоверности проведенного исследования; стратегических матриц; работы специалистов системы стратегического управления; показателей.

Исследование данных о проблемах предприятий изучаемой отрасли промышленности осуществляется с помощью метода вероятностного латентного семантического индексирования – метода выявления латентных, скрытых факторов (тем), присутствующих в коллекции и связанных с ней документами и словами [5]. С помощью данного метода статистически обрабатываются любые массивы информации для выбора и классификации похожих смысловых значений запроса.

Изучение данных, полученных в результате опроса относительно основных проблем системы управления, проводится с помощью: методов сортировки; методов графического построения дерева проблем; методов экспертных определений весовых коэффициентов.

Сортировка – процесс преобразования в смысловые единицы списка элементов массива в новый массив. Смысловые единицы являются ключом, представляющим собой сортируемое значение. Среди методов сортировки для решения задачи выявления наиболее важных проблем стратегической системы управления могут быть использованы следующие: алгоритм сортировки подсчетом или сортировки выбором; вычисление моды; вероятностного латентного семантического индексирования.

Алгоритм сортировки подсчетом – последовательная и четкая программа действий для определения наиболее часто упоминаемых смысловых единиц с помощью подсчета чисел в сортируемом массиве. Для алгоритма сортировки подсчетом и сортировки выбором используется кибернетическая модель: вход – последовательность, состоящая из n смысловых единиц (c_1, c_2, \dots, c_n); выход – определенный порядок c'_1, c'_2, \dots, c'_n , измененный таким образом, чтобы $c'_1 \leq c'_2 \leq \dots \leq c'_n$. Алгоритм сортировки подсчетом использует значения смысловых единиц, с помощью которых элементам присваиваются индексы.

Сортировка выбором – вариант алгоритма, в котором создается отсортированная последовательность с помощью ступенчатого выбора наименьшего элемента в списке и обмена его с первым элементом.

Вычисление моды – процесс перевода смысловых единиц в числовые значения и нахождение смысловых единиц с наибольшей частотой в данной совокупности. После вычисления моды производится обратный перевод числовых значений в смысловые единицы.

Для графического построения дерева проблем используется: «дерево», схема Исикавы, интеллектуальные карты.

Дерево – «структурированная, построенная по иерархическому принципу (распределенная по уровням, ранжированная) совокупность» [7] проблем для разложения главной проблемы на составные подпроблемы, и последних – на более частные подпроблемы.

Схема Исикавы – экспертный метод графического представления главной проблемы и ее ступенчатого разложения на составные проблемы вплоть до самых простых на основании причинно-следственных связей с целью исследования главных проблем системы управления во взаимозависимости и взаимосвязи.

Интеллектуальные карты – метод графического представления информации, изображающей причинно-следственные связи между предметами, явлениями и различными смысловыми единицами.

Метод визуализации проблем в виде графического построения позволяет использовать изображения для наглядной передачи важной информации о проблемах и их внутренних связях с помощью графических элементов; исследовать причинно-следственные связи.

При обобщении и оценки основных проблемных факторов стратегической деятельности организации при выборе альтернатив применяются следующие методы экспертных определений весовых коэффициентов (при этом, экспертами могут выступать опрашиваемые сотрудники организации и внешние эксперты): прямая количественная оценка коэффициентов; ранжирование факторов; метод полного парного сравнения; метод анализа иерархий.

Прямая количественная оценка коэффициентов (k) исходит из того, что

$$\sum_{i=1}^n k_i = 100\%. \quad (1)$$

При ранжировании факторов каждому из них x_i ($i = 1 \dots n$) определяется ранг k_i , где $x_i \rightarrow k_i$ ($i=1 \dots n$), итоговые ранги p экспертов отражаются в матрице:

$$\left. \begin{array}{l} X_{11}, X_{21}, \dots, X_{n1} \\ X_{12}, X_{22}, \dots, X_{n2} \\ \dots\dots\dots \\ X_{1p}, X_{2p}, \dots, X_{np} \end{array} \right\}$$

Для экспертного определения весовых коэффициентов могут быть использованы следующие методы: метод полного парного сравнения и метод анализа иерархий.

Метод полного парного сравнения – метод выбора альтернативы с помощью таблицы «сравнений между парами объектов, каждый из которых сравнивается с другими по тому или иному критерию до тех пор, пока не будет охвачена вся совокупность» [6], при этом общее число сравнения составляет

$$I = n(n-1)/2, \quad (2)$$

где n – размерность матрицы.

Метод анализа иерархий – метод выбора альтернативных вариантов с помощью многокритериального присваивания рейтингов. Состоит из следующих этапов: формирование матрицы попарного сравнения; вычисление вектора приоритетов по матрице парных сравнений; нормализация вектора приоритетов; определение индекса согласованности; определение отношения согласованности – количественная оценка степени отклонения от согласованности; выбор альтернативы с наибольшим приоритетом.

Для проведения анализа данных опроса относительно целей, увязанных с интересами стейкхолдеров, производится расчет сводного уровня корреляции целей высшего менеджмента и акционеров предприятия (выявленных в результате опроса).

Корреляция между двумя группами показателей определяется по формуле выборочного коэффициента корреляции [4]

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})*(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2*\sum(y-\bar{y})^2}}, \quad (3)$$

где x – мнения собственников (инвесторов), y – мнения менеджеров.

Интерпретация значения коэффициента корреляции производится в следующем порядке: r до 0,2 – очень слабая корреляция целей собственников и менеджмента предприятия, от 0,2 до 0,5 – слабая корреляция, от 0,5 до 0,7 – средняя корреляция, от 0,7 до 0,9 – средняя корреляция, от 0,9 до 1,0 – очень сильная корреляция.

Аналогичный анализ может быть произведен и в отношении остальных групп стейкхолдеров.

При исследовании данных, полученных в результате проведения административного аудита (опроса относительно наличия, целей, функций, возможности объединения или разъединения различных систем стратегического управления), используются: коэффициент наличия, целей, функций, возможности объединения или разъединения различных систем стратегического управления¹; коэффициент расчета уровня достоверности; коэффициент расчета уровня согласованности ответов сотрудников.

Для оценки достоверности применяется метод внутренней последовательности, когда опросник делится на две части, состоящие из разных вопросов, но имеющих одно смысловое содержание. Для расчета достоверности применяется коэффициент Кьюдера – Ричардсона.

Среднее арифметическое определяется по формуле [1]

$$\bar{x} = \frac{(x_1+x_2+\dots+x_n)}{n} \quad (4)$$

Для оценки уровня согласованности ответов сотрудников предприятия используется формула выборочного коэффициента корреляции, среднее арифметическое, дисперсия (описаны ранее) и среднеквадратическое отклонение для каждого ответа.

Для анализа данных, полученных в результате опроса, относительно методов, используемых при организации стратегической деятельности, используется: сводный коэффициент использования методов, коэффициент расчета уровня достоверности Кьюдера – Ричардсона; коэффициент расчета уровня согласованности ответов сотрудников в форме среднеквадратического отклонения, методы оценки достоверности персональных ответов и оценки уровня согласованности ответов сотрудников предприятия².

В стратегическом менеджменте используются десятки методов, при этом большинство задач подсистем стратегического управления могут быть решены с помощью одного или нескольких мето-

¹ Расчет коэффициентов наличия будет представлен далее.

² Методы оценки достоверности персональных ответов и оценки уровня согласованности ответов сотрудников предприятия описаны ранее.

дов. Следовательно, имеются нижние границы количества применяемых методов, то есть требуется найти минимальное количество методов, необходимых для решения задач стратегического управления по каждому из этапов стратегического менеджмента.

Анализ практической консультационной деятельности позволил выявить нижние границы количества применяемых методов. Сводный коэффициент использования методов рассчитывается по формуле

$$\sum o = O_{T_1} + O_{T_2} + \dots + O_{T_n}, \quad (5)$$

где O_t – ответ опрашиваемых (0 – метод не используется, 1 – метод используется).

Количество используемых методов ($M_{и}$) определяется по формуле:

$$M_{и} = \sum o \geq N_m * 30\%, \quad (6)$$

где $\sum o_t$ – сумма ответов опрашиваемых, N_m – общее количество опрашиваемых.

Если $M_{и} \geq 1$, то можно считать, что методы данной группы системы стратегического управления используются, т.е. превышают нижнюю границу.

Аналогично рассматриваются другие подсистемы стратегического управления.

Отсутствие используемых методов по одному или нескольким системам стратегического управления может указывать на невозможность достижения нижней границы по данной подсистеме стратегического управления.

Для оценки и анализа опроса в отношении наличия и состава ключевых показателей эффективности работы стратегической системы управления применяется сводный коэффициент наличия используемых предприятием квалификационных групп показателей эффективности деятельности организации, коэффициент повторяемости, коэффициент согласованности¹.

Сводный коэффициент наличия ключевых показателей эффективности рассчитывается делением на тринадцать суммы наличия показателей целей различных групп стейкхолдеров; финансовых показателей, отражающих качество стратегического управления; показателей, описывающих процессы и взаимодействие структур управления и отражающих управленческие воздействия всей стратегической системы управления на деятельность компании; показателей работы стратегической системы управления; показателей учета себестоимости; показателей оценки и анализа работы стратегических систем управления; показателей, описывающих развитие организации; показателей эффективности управления; показателей стратегических рисков; показателей знаний и умений; показателей ресурсов и возможностей, показателей учета внешних факторов, оказывающих стратегическое влияние на работу предприятия и нефинансовых показателей.

Коэффициент наличия показателей целей различных групп стейкхолдеров (K_{cx}) рассчитывается по формуле

$$K_{cx} = K_{cx1} + K_{cx2} + \dots + K_{cx12}, \quad (7)$$

если $p \geq 2$, то $K_{cxn} = v$, если $p=1$, то $K_{cxn} = v/2$,

где K_{cxn} – коэффициент наличия показателей целей различных групп стейкхолдеров (n), p – количество показателей, v – вес группы показателей.

Вес показателей может быть следующим: собственники (акционеры) – 0,25, институциональные инвесторы – 0,1, топ-менеджеры компании – 0,1, сотрудники компании – 0,07, потребители – 0,08, дилеры – 0,07, поставщики – 0,07, представители государственной и муниципальной властей – 0,05, социальные и общественные группы – 0,05, конкуренты – 0,02, партнеры – 0,07, кредиторы – 0,07.

Аналогично рассчитываются остальные коэффициенты наличия показателей, при этом в зависимости от специфики отрасли меняется нижний порог количества коэффициентов каждой группы.

Чем ближе $K_{кпэ}$ к единице, тем больше на предприятии используют различных ключевых показателей эффективности, учитывающих стратегические аспекты работы организации.

Коэффициент повторяемости определяется отношением количества разнотипных показателей к общему числу показателей, умноженному на 100%.

Для определения действующей на предприятии модели (школы) стратегической деятельности используют характеристики стратегической деятельности, при этом по каждому признаку n (от 1 до 14) сотрудниками и экспертами производится выбор из возможных вариантов x_i ($i = 1 \dots 10$) наиболее приемлемой формулировки k_i , где p – количество сотрудников и экспертов.

Итоговые показатели отражаются в матрице:

$$\left. \begin{matrix} X_{11}, X_{21}, \dots, X_{p1} \\ X_{12}, X_{22}, \dots, X_{p2} \\ \dots \dots \dots \\ X_{p14}, X_{p14}, \dots, X_{p14} \end{matrix} \right\}$$

¹ Методы оценки уровня согласованности ответов сотрудников предприятия описаны ранее.

Предлагаются следующие веса ранга для каждой характеристики: подразумеваемые идеи – 0.03, реальные идеи – 0.12, девиз – 0.03, ключевые слова – 0.10, тип стратегий – 0.13, базовый процесс – 0.9, тип изменений – 0.7, основное действующее лицо – 0.9, тип организации – 0.7, тип руководителя 0.7, поведение внешней среды – 0.6, ситуация, наиболее соответствующая окружению – 0.6, форма организации – 0.3, стадия развития организации – 0.5, при этом $\sum B_n = 100$.

Суммарные взвешенные коэффициенты, определяющие модель стратегического управления ($M_{\text{суп}}$), рассчитываются по формуле

$$M_{\text{суп}} = \sum B X_{pn} * B_n, \quad (8)$$

где X_{pn} – параметр характеристики, выбранной экспертами, B_n – вес характеристики.

С помощью алгоритма сортировки подсчетом (описанного ранее) наибольший суммарный взвешенный коэффициент показывает действующую на предприятии модель (школу) стратегической деятельности.

Методы оценки уровня согласованности ответов сотрудников и экспертов предприятия для определения действующей на предприятии модели (школы) стратегической деятельности описаны ранее.

При проведении анализа данных, полученных в результате опроса относительно наличия и состава стандартов стратегической деятельности используют: коэффициент наличия стандартов на элементы управленческой деятельности, коэффициент наличия стандартов механизмов управления, коэффициент стандартов стратегического контроля и управленческого учета, коэффициент повторяемости, коэффициент оценки уровня согласованности ответов сотрудников предприятия¹.

Анализ результатов опроса относительно наличия, состава и периодичности пересмотра и уточнения стратегической отчетности проводится с использованием коэффициентов: наличия отчетности системы сбора стратегической информации, наличия отчетности системы управления стратегическим анализом, наличия отчетности системы управления стратегическим прогнозированием, наличия отчетности системы управления подготовкой стратегических решений, наличия отчетности системы управления реализацией стратегии, наличия системы стратегической отчетности, периодичности пересмотра состава, параметров, видов показателей отчетности, оценки уровня согласованности ответов сотрудников предприятия².

Коэффициент периодичности пересмотра состава, параметров, видов показателей отчетности ($K_{\text{псо}}$) рассчитывается по формуле

$$K_{\text{псо}} = \frac{Q_{\text{по}}}{Q_{\text{со}}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{по}}$ – количество регулярно (не менее раза в год) пересматриваемой стратегической отчетности, $Q_{\text{со}}$ – общее количество стратегической отчетности.

Коэффициент периодичности пересмотра состава, параметров, видов показателей отчетности должен стремиться к единице.

Методы оценки достоверности персональных ответов, уровня согласованности ответов сотрудников предприятия и методы анализа стратегических матриц описаны ранее.

При анализе работы сотрудников, занимающихся вопросами стратегического управления, может использоваться технология комплексной оценки персонала по определенным критериям – метод ассесмент-центра. Типовой набор процедур оценки сотрудников, занимающихся вопросами стратегического управления, включает следующие уровни: интеллекта, креативности, стратегичности мышления, мотивированности, способности к изменениям, открытости новому, ориентации на результат, способности к обучению и развитию, гибкости, способности генерировать идеи, способности к риску.

Для анализа стратегических показателей используются следующие процедуры: сравнение показателей с плановыми значениями, сравнение показателей с лучшими показателями предприятий-конкурентов, сравнение показателей со средними значениями по отрасли, динамический анализ показателей (ежедневных, ежемесячных, ежеквартальных, ежегодных) – анализ тенденций, анализ резких изменений показателей³, сопоставление нескольких показателей в динамике для изучения взаимосвязи.

При сравнении показателей с плановыми значениями, с показателями лучших предприятий-конкурентов, со средними значениями по отрасли рассчитываются отклонения, индекс.

Для определения динамики показателей (ежедневных, ежемесячных, ежеквартальных, ежегодных) используются следующие коэффициенты: темпы роста (цепные и базисные), абсолютный прирост, темпы прироста (абсолютные и базисные), средний абсолютный прирост, среднее абсолют-

¹ Коэффициенты наличия, повторяемости и согласованности описаны ранее.

² Коэффициенты наличия и согласованности описаны ранее.

³ Используется процедура, применяемая при опросе относительно основной проблемы системы управления и анализ данных с помощью сортировки, метода вероятностного латентного семантического индексирования и графических методов описана ранее.

ное значение одного процента прироста, средний темп роста, средний темп прироста, скользящая средняя.

Для сопоставления рядов динамики и определения количественной взаимосвязи между различными финансовыми показателями, между финансовыми и нефинансовыми показателями используется корреляционный анализ (описан ранее) и коэффициенты опережения ($K_{оп}$) для различных показателей.

Коэффициент опережения определяется по формуле

$$K_{оп} = \frac{T_{рб1}}{T_{рб2}}, \quad (10)$$

где $T_{рб1}$ и $T_{рб2}$ базисные темпы роста двух сравниваемых динамических рядов показателей за определенный интервал времени.

Таким образом, в результате оценки качества стратегической системы управления должно быть получено краткое, систематизированное, наглядное и взаимосвязанное предоставление о состоянии, тенденциях и перспективах выживаемости предприятия в долгосрочной перспективе. Кроме этого, методы и коэффициенты оценки качества системы стратегического управления, изложенные в данной статье, могут быть применимы к другим системам оценки качества процессов и явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большая Советская энциклопедия: в 30 т. М.: Сов. энциклопедия, 1969-1978.
2. Борисенко В.П. Методология стандартизации системы стратегического управления / В.П. Борисенко // Стандарты и качество. 2013. № 1. С. 44-46.
3. Борисенко В.П. Методология стандартизации стратегического аудита / В.П. Борисенко // Стандарты и качество. 2011. № 12. С. 44-46.
4. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика: пер.с нем. / Б.Л. Ван дер Варден. М.: Иностран. лит., 1960. 450 с.
5. Добрынин В.Ю. Расширение запросов с помощью вероятностного латентного семантического индексирования / В.Ю. Добрынин, И.С. Некрестьянов // Электронные библиотеки: 3-я Всерос. конф. Петрозаводск, 2001. Цитируется по http://rcdl.ru/doc/2001/dobrynin_nekrestyanov.pdf
6. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки / Л.И. Лопатников. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2003. 520 с.
7. Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 495 с.

Борисенко Виталий Павлович –
кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Менеджмент»
Московского гуманитарного университета

Vitaly P. Borisenko –
Ph. D., Associate Professor,
Department of Management,
Moscow Humanitarian University

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 10.12.13

УДК 338.46

А.С. Ветров, Э.Т. Абушаева

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ В АВТОРИЗОВАННЫХ ДИЛЕРСКИХ ЦЕНТРАХ ПОВОЛЖЬЯ

Анализируется опыт предоставления сервисных услуг ведущими авторизованными сервисными центрами Хёндай в Поволжье. Приводится анализ качества предоставления услуг специалистом по продажам автомобилей, системы сервиса и технического обслуживания. Выявлены некоторые недостатки в работе сотрудников авторизованных сервисных центров Хёндай в Поволжье, даются рекомендации к их решению и преодолению, вводятся критерии оценки качества предоставления сервисных услуг потребителю.

Авторизованный дилерский сервисный центр, система сервиса и технического обслуживания, параметры качества обслуживания, сервисная служба

A.S. Vetrov, E.T. Abushaeva

CAR SERVICE IN AUTHORIZED DEALERSHIPS OF THE VOLGA REGION

The given analysis refers the experience of providing services to the leading authorized Hyundai service centers in the Volga region. The presented analysis deals with the quality of the sales services for specialist vehicles, including the system service and maintenance. The identified shortcomings are related with the work of the staff of Hyundai authorized service centers in the Volga region. The focus is made on the recommendations needed solve and overcome the shortcomings. The quality criteria are introduced for providing consumer services. .

Authorized dealership Service Center, service and maintenance, quality of service, customer service

«Мода» на оказание высококачественных сервисных услуг пришла в Россию относительно недавно, хотя ведущие западные предприятия и фирмы уже давно не могут представить своё производство без чётко налаженного и вовремя оказанного сервисного обслуживания. Ведь ни для кого не является секретом, что высококачественный сервис способен продлить жизнь произведённому товару или услуге, а в конечном итоге удержать потребителя и принести предприятию существенную прибыль. Организация высококачественного своевременного сервисного обслуживания позволяет фирме выигрывать в конкурентной борьбе.

В последнее время в экономической литературе появилось множество работ западных и отечественных учёных-экономистов, посвящённых бытовому сервису [1-6]. Однако вопросам оказания сервисного обслуживания продукции предприятий машиностроительной отрасли, на наш взгляд, должного внимания ранее не оказывалось. В связи с этим данная статья, несомненно, является актуальной и позволяет как руководителю авторизованного сервисного центра, так и его потребителю узнать некоторые тонкости по применению и активизации сервисной политики таких центров в России.

Сервисное обслуживание в авторизованном дилерском центре «Хёндай». Южно-корейская марка автомобиля «Хёндай» в последние годы достаточно быстрыми темпами завоёвывает рынок России. Главный девиз компании – Высокое качество по доступной цене!

Разберём более подробно некоторые моменты работы авторизованных сервисных центров «Хёндай» в Поволжском регионе.

Так, специалист по продажам сервисной службы авторизованного дилерского центра «Хёндай» участвует в выполнении следующих функций [7]:

- разработка на основе изучения конъюнктуры и ёмкости рынка прогнозов по платёжеспособному спросу на новые услуги;
- разработка стратегии маркетинга с учетом потребностей производства, ёмкости рынка, платёжеспособного спроса, проникновения на новые рынки сбыта, конкуренции;
- формирование ежемесячных отчетов по входящим запросам согласно форме, установленной компанией.

Рабочий процесс специалиста по продажам осуществляется в несколько этапов:

- регистрация и предварительный анализ поступающих заявок;
- сбор и анализ требований к продукту со стороны заказчика;
- подготовка коммерческих предложений для потенциальных заказчиков;
- доведение оценки и стоимости услуг до потенциального заказчика;
- подготовка к заключению контракта на установку и оказание услуг по технической поддержке;
- заключение контракта на установку и оказание услуг по технической поддержке;
- оценка степени удовлетворенности заказчика после установки или оказания услуг по технической поддержке.

Оценка степени удовлетворенности заказчика производится с помощью формы опроса по итогам сотрудничества, разработанной отделом маркетинга.

Также отдел продаж проводит оценку результативности процесса продаж и доводит её до руководства.

Сервисная служба авторизованного дилерского центра «Хёндай» не имеет собственного сайта, что является существенным недостатком в деятельности организации.

По результатам проведенных нами исследований, в маркетинговой деятельности авторизованного дилерского центра «Хёндай» в регионах Поволжья можно выявить ряд недостатков:

- малый штат сотрудников отдела маркетинга и, как следствие, большая нагрузка;
- необходимость работы специалистов в вечернее время без дополнительной оплаты этого времени;
- слабое развитие рекламной деятельности в СМИ.

Для сервисной службы авторизованного дилерского центра «Хёндай» можно предложить следующие пути совершенствования управления сервисной деятельностью:

- 1) грамотное взаимодействие маркетинговой службы со службой сервиса;
- 2) создание и реализация программы продвижения товаров и услуг в сети Интернет;
- 3) оценка степени удовлетворенности сотрудников компании трудом (в частности работников отделов маркетинга и отдела продаж).

С методологической точки зрения причиной всех приведённых недостатков и упущений является недопонимание и игнорирование руководством центра роли и места маркетинга и маркетинг-менеджмента в управлении дилерским центром. Главным и решающим мероприятием по преодолению сложившейся ситуации должно быть формирование единой службы маркетинга, состоящей из специалистов-маркетологов достаточно высокой квалификации. В процессе подбора специалистов во вновь формируемую службу маркетинга следует обратить достаточно большое внимание профессиональной подготовке и универсальности навыков новых сотрудников. Созданной службе маркетинга кроме чисто маркетинговых проблем придется решать вопросы, связанные с перераспределением функциональных обязанностей и структурных взаимоотношений внутри предприятия, вести разъяснительную работу среди сотрудников о роли и месте маркетинга в современной рыночной экономике.

Следует принять во внимание тот факт, что создание единой сервисной службы в авторизованном дилерском центре «Хёндай» – достаточно затратное и длительное мероприятие. Наверняка, у большинства сотрудников компании доминирующим является стереотип о том, что об эффективности мероприятий можно судить только по их сиюминутной экономической эффективности. Поэтому рекомендуются в качестве первых мероприятий, проводимых сервисной службой, мероприятия по рекламе и стимулированию сбыта. Приоритет, организация и грамотное проведение мероприятий по рекламе и стимулированию сбыта позволят дилерскому центру «Хёндай» существенно увеличить собственный доход, а сервисной службе – «оправдать» собственную необходимость и эффективность и покрыть первичные расходы на собственное формирование и содержание.

Таким образом, на наш взгляд, авторизованному дилерскому центру «Хёндай», в первую очередь, необходимо создать независимую единую сервисную службу, которая будет самостоятельно формировать, реализовывать, контролировать и корректировать ход выполнения маркетинговой программы, это позволит более оперативно и эффективно выполнять дилерским центром свои функции по продаже автомобилей.

Основные принципы, которые предлагается заложить при создании сервисной службы авторизованного дилерского центра «Хёндай», следующие:

- сервисная служба организуется в виде самостоятельного подразделения;
- сервисная служба имеет в своем составе группы работников, которые планируют, организуют и контролируют выполнение определенных маркетинговых функций компании;
- в процессе своей деятельности сервисной службе в специальном отношении подчиняются соответствующие подразделения компании, то есть сервисная служба выполняет роль своеобразного «интеллектуального штаба» компании.

Руководитель сервисной службы организует и управляет всей деятельностью по оказанию сервисных услуг и ремонта в компании. Он является также заместителем генерального директора и в его отсутствие может выполнять его функции.

Работники сервисной службы отвечают за стратегическое и текущее планирование организации сервисного, технического обслуживания и ремонта в компании. На них же возложена задача периодической ревизии организации системы сервисного обслуживания на предприятии.

Сервисная служба тесно сотрудничает с отделом маркетинга, который регулярно проводит маркетинговые исследования, отвечает за планирование, организацию, сбор информации и обработку результатов маркетинговых исследований, проводимых департаментом маркетинга. При этом сферой исследований может выступать любой элемент как внешней так и внутренней маркетинговой среды предприятия. При необходимости, специалисты отдела маркетинга могут привлекать внешние ресурсы авторизованного дилерского центра «Хёндай» к проведению маркетинговых исследований.

Дилерский центр «Хёндай» в течение всего срока работы оборудования «ведёт» проданные автомобили, отслеживает их местоположение, технические параметры и изменения в них.

Кроме того, по истечении срока службы автомобиля (а это примерно 5-6 лет по техническому паспорту), компания проводит его полное техническое обслуживание (ТО) и ремонт, который может

составлять до 20% цены нового автомобиля (оценка сервисного обслуживания в авторизованных сервисных центрах Хёндай приводится в таблице). После полного ТО и ремонта автомобиль либо возвращается клиенту либо приобретается у него с дальнейшей перепродажей на вторичный рынок, либо обменивается на новый на условиях доплаты разницы от стоимости сданного. Таким образом, при более высокой цене (более чем в 1,5 раза от стоимости автомобиля) дилерский центр «Хёндай» является вполне конкурентоспособным. Предприятие имеет сервисные логистические центры по всему миру, в том числе и в России и способно быстро реагировать на запросы потребителей в случае выхода оборудования из строя, замены запчастей и деталей или возникновения каких-либо других проблем.

Необходимо отметить, что довольно значимой статьёй сервисных услуг являются обучение и техническая подготовка персонала покупателя. При этом западные компании активно привлекают различные российские центры обучения.

Оценка сервисного обслуживания в авторизованных сервисных центрах Хёндай

Критерий	Балл
Степень доступности. Доставка оборудования, возможность оперативной её замены Гарантия изготовителя распространяется на доставку (эвакуацию) автомобиля Хёндай (Hyundai) к ближайшему авторизованному сервисному партнеру Хёндай (Hyundai)	3
Надежность. Насколько постоянно качество услуги и насколько она надежна? Сервис в Саратове в полной мере соответствует всем техническим стандартам дилера, оснащен самым современным диагностическим и ремонтным оборудованием. Весь технический персонал авторизован официальным дистрибьютором для проведения всех видов работ и обслуживания. В процессе ремонта используются только оригинальные запчасти Hyundai.	4
Репутация компании. Могут ли потребители доверять компании, предоставляющей услугу, и её персоналу?	5
Уровень коммуникации. Является ли информация о сервисных услугах точной и ясной?	5
Оперативность. Насколько быстро реагирует обслуживающий персонал на проблемы и вопросы клиента? Сотрудники компании – это коллектив профессионалов, всегда готовый выполнить качественно и быстро полный спектр услуг по выбору, приобретению, страхованию и обслуживанию автомобилей Hyundai	5
Компетентность. Обладает ли обслуживающий персонал навыками и квалификацией, необходимыми для предоставления услуги высокого качества? Все сотрудники Дилерского центра Hyundai прошли обучение по программе эксклюзивного импортера Hyundai в России а также специальные тренинги по продаже и техническому обслуживанию автомобилей Hyundai.	5
Итого	27

В качестве одного из направлений совершенствования коммерческо-логистической деятельности предприятия нами предлагается внедрение продвигающего сервиса, заключающееся в особом механизме стимулирования потребителей.

Кредитование покупателей при приобретении достаточно дорогих марок автомобилей, средняя стоимость которых составляет свыше 1 млн. руб., является одним из перспективных направлений развития продвигающих услуг «Хёндай». Для адекватного разрешения проблем финансирования клиентов большинство машиностроительных предприятий в развитых странах мира применяют новые методы, позволяющие удовлетворять потребности, далеко выходящие за рамки, непосредственно связанные с покупкой оборудования и транспортных средств.

О предоставлении кредитов потребителям можно сказать, что они, с одной стороны, должны поддерживать заключение сделок, с другой – привлекать дополнительные заказы. Предоставление отсрочки по платежам расширяет круг покупателей. В него вступают те потребители, которые хотя и желали бы приобрести товар, но в настоящий момент не имеют на это средств.

Основными преимуществами использования сбытового сопровождения для потребителей являются:

- использование выгодной формы финансирования;
- получение оборудования без отвлечения значительных объёмов денежных средств из хозяйственного оборота;
- улучшение качественных характеристик производственно-хозяйственной деятельности;

- ускорение оборачиваемости средств, находящихся в пользовании, и сокращение потребности в них;
- возможность избежать приобретения в постоянное пользование технических средств, которые необходимы на непродолжительное время;
- повышение гибкости производства;
- обеспечение быстрой перестройки производства при изменении конъюнктуры рынка.

Следующий отрезок цикла жизни транспортного средства и сопутствующего оборудования у потребителя характеризуется получением возрастающего со временем объема прибыли. Затем происходит резкое сокращение доходов при постепенном росте затрат на эксплуатацию и обслуживание по причине физического и морального износа, а также насыщения рынка автомобилями определенных марок. И, наконец, за пределами нормативного срока службы затраты начинают резко увеличиваться при приближении доходов к нулю.

Выводы

1. На примере сервисной службы авторизованного дилерского центра «Хёндай» показано, каким образом высококачественный сервис способен продлить жизнь произведённому товару или услуге, а в конечном итоге удержать потребителя и принести предприятию существенную прибыль.

2. Для сервисной службы авторизованного дилерского центра «Хёндай» предлагаются следующие пути совершенствования управления сервисной деятельностью:

- 1) грамотное взаимодействие маркетинговой службы со службой сервиса;
- 2) создание и реализация программы продвижения товаров и услуг в сети Интернет;
- 3) оценка степени удовлетворенности сотрудников компании трудом (в частности, работников отделов маркетинга и отдела продаж).

3. В качестве одного из направлений совершенствования коммерческо-логистической деятельности предприятия предлагается внедрение продвигающего сервиса, заключающееся в особом механизме стимулирования потребителей, а именно кредитование покупателей при приобретении достаточно дорогих марок автомобилей, средняя стоимость которых составляет свыше 1 млн. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аванесова Г.А. Сервисная деятельность: Историческая и современная практика, предпринимательство, менеджмент / Г.А. Аванесова. М.: Аспект Пресс, 2005. 205 с.
2. Байрамов В.М. Разработка организационно-экономических методов управления конкурентоспособностью предприятия на основе развития системы сервисного обслуживания продукции: дис. ... канд. экон. наук / В.М. Байрамов. М. 2003. 178 с.
3. Беляев А.И. Совершенствование фирменного обслуживания автомобилей в дилерско-сервисных центрах с использованием информационной системы: дис. ... канд. экон. наук / А.И. Беляев. Оренбург, 2009. 194 с.
4. Кулибанова В.В. Маркетинг. Сервисная деятельность / В.В. Кулибанова. СПб.: Питер, 2010. 240 с.
5. Мате Э. Материально-техническое обеспечение деятельности предприятия / Э. Мате, Д. Тиксье; под ред. В.С. Загашвили. М.: АО Изд. группа «Прогресс», 1993. 160 с.
6. Парасураман А. Роль технологии в предоставлении услуг: существующие знания и новые вопросы / А. Парасураман, Л. Бэрри. М., 2005. 268 с.
7. Романцов Р.В. Разработка рациональных форм централизованных специализированных производств по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей: дис. ... канд. экон. наук / Р.В. Романцов. Саратов, 2002. 168 с.

Ветров Алексей Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Маркетинг и рекламный менеджмент» Саратовского государственного социально-экономического университета

Aleksey S. Vetrov – Ph. D., Senior Lecturer
Department of Marketing and Publicity Management,
Saratov State Socio-Economic University

Абушаева Эльмира Тагировна – аспирантка кафедры «Маркетинг и рекламный менеджмент» Саратовского государственного социально-экономического университета

Elmira T. Abushaeva – Postgraduate
Department of Marketing and Publicity Management,
Saratov State Socio-Economic University

Статья поступила в редакцию 10.04.13, принята к опубликованию 10.12.13

А.П. Горбунов

ЭФФЕКТИВНАЯ ДИНАМИКА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ – БАЗОВЫЙ ФАКТОР ИННОВАЦИОННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Современная экономика характеризуется нарастанием системного давления императивов трёх объективных тенденций: инновационности, конкурентности и глобализации, которые охватывают практически все уровни и все сферы национального производства. Это означает, что эффективное развитие экономики каждой страны определяется мерой одновременной реализации императивов названных тенденций и максимальной реализации их потенциала. При этом все отмеченные доминирующие тенденции в качестве интегрированной основы имеют общую субстанцию – генерирование нового знания, его производственного освоения и масштабного распространения.

Высшая школа России; инновационная экономика; факторы инновационной динамики российской экономики; эффективность нового знания

A.P. Gorbunov

EFFICIENT DYNAMICS OF HIGHER SCHOOL AS THE BASIC FACTOR FOR INNOVATIVE TRANSFORMATIONS IN THE RUSSIAN ECONOMY

Modern economy is characterized by an increase in the systemic pressure of three imperative tendencies: innovation, competitiveness and globalization, which influence almost all levels and spheres of national production. It means that effective development of economy in every country is determined by the degree of simultaneous implementation of the tendencies in question and maximum realization of their potential. In this case, all the considered dominant tendencies have a common essential foundation which consists in the generation of new knowledge, its implementation in the production sphere and large-scale distribution.

Russian higher education, innovative economy, factors of the innovative dynamics of the Russian economy, the effectiveness of new knowledge

В методологическом аспекте промышленный способ генерирования нового знания означает, что главным стратегическим инструментом реализации инновационного, конкурентного и глобализационного векторов национальной динамики может стать только такой сектор общественного производства, который необходимо включает все три стадии инновационного алгоритма, то есть такой сектор, который способен обеспечить производство, освоение и использование нового знания. Этот сектор в современной экономике представлен сферой высшей школы, – единственной сферой, механизм функционирования которой объективно включает генерирование, распространение и применение нового знания. Отмеченные экономические перемены приобрели не только структурные производственные изменения, но и – что ещё важнее – необратимые социальные последствия, что качественно меняет направленность и методологию разработки современного актуального экономического знания. И объясняется это тем, что осознание и рационализация происходящих перемен всегда осуществляются со значительным временным лагом.

Вместе с тем важно осознавать, что значимость высшей школы в функции инновационного фактора динамики российской экономики во многом зависит от того, насколько сама отечественная экономика подготовлена к восприятию инновационных импульсов, идущих от высшей школы. В частности, такие импульсы должны быть подкреплены требованием соответствующих навыков на рынке труда; способностью адаптировать глобальные знания к отечественному состоянию производства, возможностями реализации современных тенденций в области информационно-коммуникативных технологий.

В настоящее время сформировалось функциональное взаимодействие между уровнем образования, качеством производительности труда и ростом национального дохода – как прямой зависимостью между этими тремя параметрами, в основе которой находится именно уровень массового образования. Однако, как справедливо отмечается в литературе, «в системе российского образования

сложилась следующая ситуация: а) система образования по инерции ориентирована на подготовку кадров для полномасштабной индустриальной экономики с полным набором инженерно-технических специальностей; б) установки «модернизаторов образования» замкнуты на идею интеграции в западные образовательные форматы; в) система подготовки управленческих кадров фактически разрушена и вытеснена импортом образовательных услуг» [2].

Уже с момента первого промышленного переворота высшее образование выступало в качестве дополнительного средства ускорения экономического роста и преодоления бедности, но только в наше время, в период инновационного развития экономики, оно из дополнительного превратилось в доминирующий фактор такого развития.

Российское общество постепенно перешагивало пороговые уровни доступности образования: сначала – всеобщее начальное, затем – неполное среднее, затем – полное среднее, и, наконец, мы стоим на пороге всеобщего высшего. При этом в силу ряда конъюнктурных финансовых затруднений может сложиться иллюзия допустимости краткосрочного сокращения параметров высшей национальной школы. Но это как раз и может оказаться тем краткосрочным сокращением, которое будет иметь долгосрочные роковые последствия. И хотя опыт многих стран доказал, что начальное и среднее образование важнее, чем высшее, для сокращения бедности, высшее образование имеет приоритет для роста конкурентоспособности национальной экономики в условиях её глобализации.

Высшее образование обеспечивается двумя во многом альтернативными экономическими формами – государственной и частной высшей школой. При этом эффективность национальной высшей школы в целом во многом зависит от оптимальной специализации каждой: для нужд народного хозяйства – государственные вузы, для инновационно-исследовательских целей – частные.

Высококвалифицированную рабочую силу, то, что в современной экономической теории принято обозначать категорией «человеческий капитал», непосредственно производит только высшая школа. Требования к человеческому капиталу со стороны глобальной экономики, рост конкуренции и практические потребности производства создают напряженность между традиционными установками университетского образования (осуществлять подготовку широко образованных выпускников, ориентированных на исследовательскую работу) и современной трактовкой функции университетского образования (как сферы подготовки молодых специалистов, предоставляя им те необходимые навыки, опыт и знания, которые могут быть применены в сфере производства и бизнеса). В то время как традиционалисты рассматривают университеты как генератор и проводник фундаментальных знаний, антитрадиционалисты выступают за более прикладной, утилитарный подход к получению и распространению знаний. Однако практика показывает необходимость компромисса, сосуществования названных подходов.

Одновременно всё большее распространение получает позиция, согласно которой современный университет есть некое «бизнес-предприятие» по производству и распространению знаний, аналогичное любому другому типу бизнеса по основным принципам организации и управления. В современном обществе университеты содействуют экономическому росту на основе научных и технологических исследований, что привело к появлению новых отраслей и секторов экономики.

Тем не менее в научной литературе функциональный статус высшей школы как базового инновационного фактора социально-экономической трансформации остаётся в центре теоретических поисков, актуальность которых усилена реальным становлением «экономики знаний». Анализируя современные концепции производства знаний, М.В. Федоров, Э.В. Пешина отмечают, что «формирование экономики, основанной на знаниях, на современном этапе общественного развития является определяющей международной концепцией, согласно которой знания играют первостепенную роль, а их производство становится источником экономического роста и конкурентоспособности» [6].

Сегодня теоретическая трактовка и прикладной прогноз динамики инновационной роли высшей школы вошли в число остродискуссионных проблем современной мировой и российской экономической науки, поскольку фактически речь идёт о стратегических ресурсах страны в период глобализации её национальной экономики. Однако разработка концептуального подхода, отражающего специфику современной российской высшей школы именно в статусе базового фактора инновационной трансформации российской экономики, по-прежнему сохраняет свою не только теоретическую, но и практическую значимость, требуя выявления сущности и особенностей эффективной динамики высшей школы.

В своём анализе мы исходим из следующих посылок:

– в современную эпоху высшая школа является элементом общественного воспроизводства, реализующим определённые фазы воспроизводственного процесса посредством интеграции «науки – образования – производства» и маркетинга интеллектуального продукта в организационно-управленческой структуре университета;

– инновационная динамика высшей школы обладает признаками специфического экономического отношения, исторический генезис которого определяет становления отношений менеджмента в высшей школе России, а также роль и значение межвузовской коммуникации в свете концепции менеджмента как экономического отношения;

– реализация инновационно-факторного потенциала российской высшей школы предполагает продуктивную интеграцию менеджмента, коммуникации, риторики и лингвистики, снятие противоречий развития отношений менеджмента в системе российской высшей школы, совершенствование организационно-методических основ подготовки специалистов управления;

– инновационное управление вузами выступает средством достижения нового качества вуза в виде становления «креативно-инновационного» университета как адекватного ответа на вызовы новой эпохи и конкурентоспособного в мировом образовательном и научном пространстве постиндустриального общества;

– инновационные ориентиры деятельности современного российского вуза требуют развития его коммуникативно-познавательных функций, решения локальных проблем развития экспорта образовательных услуг и формирования иных необходимых условий инновационной перестройки северокавказской высшей школы.

В условиях инновационного обновления российской экономики эффективная динамика отечественной высшей школы превращается в базовый фактор соответствующей трансформации, поскольку императивы отмеченной динамики приобретают статус системных векторов развития национальной макроэкономики; реализация названных императивов образует содержание процесса инновационной трансформации российской экономики. Практическая значимость этого теоретического вывода состоит в том, что в подобной ситуации исходные посылки инновационной экономической политики представлены требованиями эффективной динамики российской высшей школы и должны содержать программу их приоритетной реализации.

Развитие современной экономической теории требует адекватного отражения кардинального изменения положения высшей школы в пофазном механизме воспроизводственной системы, в границах которого высшая школа теперь перемещается на позиции особой «предпроизводственной» фазы; теоретическая характеристика предпроизводственной фазы составляет фундаментальную основу формирования концепции современной высшей школы. В практическом аспекте такая теоретическая характеристика воспроизводственного позиционирования высшей школы служит основанием для расширенной статистической трактовки границ сферы производства, для оптимизации структуры общественного разделения труда и для включения сферы высшего образования в экономические основы материальной жизнедеятельности общества.

Исходный (предпроизводственный) статус высшей школы означает, что она же выступает и конечной стадией воспроизводственного процесса, что подчиняет потребностям развития высшей школы содержание процесса общественного воспроизводства, порождая адекватные цели национальной экономики и соответствующие критерии их достижения. В практическом аспекте такая теоретическая характеристика воспроизводственного позиционирования высшей школы служит основанием для расширенной статистической трактовки границ сферы производства, для оптимизации структуры общественного разделения труда и для включения сферы высшего образования в экономические основы материальной жизнедеятельности общества.

Система интеграции «наука – образование – производство» выступает как необходимое инструментальное условие маркетизации создаваемого высшей школой интеллектуального продукта, инновационная природа которого требует соответствующей инновационной трансформации всей «цепочки» воспроизводственного движения экономики. Практическая значимость этого теоретического вывода состоит в возможности разработки алгоритма маркетингового цикла движения инновационного продукта высшей школы. Как подчеркивает А.Г. Санина, «задачи обеспечения инновационного развития экономики и формирования общества, основанного на знаниях, требуют изучения взаимодействия между различными институтами в сферах науки, образования и производства. Интегративное взаимодействие таких институтов дает мультипликационный эффект, как о том свидетельствует, в частности, опыт Китая, Израиля и Финляндии, где стимулирование развития небольших инновационных предприятий при поддержке государства стало одним из факторов экономического роста» [5].

В экономике знания инновационная динамика высшей школы концентрированно моделирует перспективные направления и механизм последующей инновационной динамики всего отечественного производства; на этой основе приоритетные объекты научного внимания высшей школы трансформируются в приоритетные векторы динамики национальной экономики. При таком подходе исторический генезис ин-

новационной динамики как экономического отношения предстаёт в виде субординированной системы хозяйственных связей между «допроизводственными» и «производственными» субъектами экономики.

Перемещение высшей школы на позиции допроизводственной фазы воспроизводственного механизма приводит к тому, что специфическая организация управленческой деятельности в инновационно-организованной системе высшей школы становится общепринятой организацией управления в инновационных секторах реальной экономики. Практическая значимость этого вывода состоит в необходимости создания «передающего» звена в организационно-управленческом механизме от высшей школы к первичным производственным звеньям инновационных отраслей народного хозяйства.

Объективным следствием превращения высшей школы в базовый инновационный фактор российской социально-экономической трансформации является возникновение новой стадии в развитии отношений внутривузовского менеджмента – в виде обособления управленческой деятельности административного аппарата российских вузов в особую сферу профессиональной активности. Этот теоретический вывод фиксирует происходящую в настоящее время специализацию научной, преподавательской и управленческой видов деятельности в структуре российской высшей школы.

Формирование, развитие и реализация креативного потенциала российской высшей школы невозможны без реального перехода от традиционного университета – к инновационному типу университета, конкурентоспособного в мировом образовательном и научном пространстве постиндустриального общества. Не случайно в литературе отмечается, что «особенность университетов в развивающихся странах состоит в том, что кроме них в этих странах нет конкурирующих с ними исследовательских структур, в том числе и в виде соответствующих подразделений крупных национальных корпораций» [3]. В практическом аспекте это означает, что отличительной особенностью креативного инновационного университета является его функционирование на основе эффективного управления интеллектуальной собственностью, к чему в перспективе сведётся функционирование предприятий инновационных секторов российской экономики. Поэтому, как подчеркивает Г.А. Ключарев, «выживут» и твердо встанут на ноги «инновационные возмутители» – те учебные заведения, которые сумеют освоить новые, во многом нетрадиционные для классических университетов области образовательных услуг [4].

Развитие национальной высшей школы происходит под воздействием демографических, финансовых, правовых и политических факторов, каждый из которых реализует специфический вектор влияния, подчас противоречащий векторам влияния других факторов; в этой ситуации трансформация российской экономики в «экономику знания» будет происходить по мере реализации программных целей российской высшей школы. В практическом аспекте это требует усиления разнообразия форм экономико-правовой организации высших учебных заведений и программ обучения; открытости вузов как условия адаптации университетов к окружающей их социально-экономической среде; повышения мобильности преподавателей и студентов; формирования механизма реальной конкуренции между университетами; эффективного использования образовательных ресурсов в экономике; отражения высшей школой потребностей рынка труда [7].

Основу инновационно-организованного получения высшего образования составляет повузовская дифференциация требований стандартов образования по специальностям с учётом реального научно-преподавательского потенциала данного университета. Основу инновационно-организованного получения высшего образования составляет повузовская дифференциация требований стандартов образования по специальностям с учётом реального научно-преподавательского потенциала данного университета, что, с одной стороны, соответствовало бы многообразию образовательных устремлений различных групп абитуриентов, а с другой – повысило бы инициативу и ответственность выпускающего вуза.

Ускорению динамики высшей школы будет служить целенаправленное определение каждым вузом оптимального для него баланса (пропорции) между научной и преподавательской сферами, со всеми вытекающими отсюда финансовыми, организационно-правовыми и иными (аккредитационными) последствиями. Следовательно, изучение этого процесса позволит разграничить группу преимущественно бюджетных учебных университетов и группу преимущественно коммерческих исследовательских университетов; минимизация числа исследовательских вузов будет способствовать эффективному использованию материальных и финансовых ресурсов всей высшей школы, а также стимулировать межвузовское сотрудничество и кооперирование. Общая тенденция в российском высшем образовании такова, отмечается в публикации российских исследователей проблем высшей школы, что за счет укрупнений и соединений число университетов и институтов, подведомственных министерству образования и науки РФ, будет сокращено до 250-300. И процесс этот в первую очередь затронет вузы, созданные в советское время под решение конкретных задач государства и после смены экономической модели оказавшиеся в тяжелом положении [1].

Системная реализация потенциала эффективной динамики высшей школы как инновационного фактора трансформации российской экономики позволяет предложить следующие практические рекомендации:

- предусмотреть переход к формированию общероссийского рынка образовательных услуг, предусмотрев в нём наличие сектора экспорта и сектора импорта такого рода услуг на всех уровнях образования;
- перейти к массовому представлению грантов для получения высшего образования по актуальным для общества направлениям высшего профессионального образования;
- заменить господствующий сегодня механизм фиксированного субсидирования вуза новым механизмом его финансирования за счет образовательного гранта, прошедшего региональную и отраслевую экспертную оценку;
- ускорить создание единого общероссийского пространства высшего образования, подобно тому, как в стране создается единое экономическое (рыночное) пространство;
- расширить диапазон университетской автономии посредством перехода к академическому самоуправлению;
- осуществлять многомерный рейтинг университетов, дифференцированный по отдельным специальностям и курсам, рассматривая его как инструмент подготовки к участию в мировых рейтингах и как навигационный инструмент для абитуриентов России и зарубежья;
- наращивать антикризисный потенциал высшей школы как доминантный элемент макроэкономического регулирования российской экономики знания;
- перейти к созданию региональных образовательных кластеров на базе организации «зонтичной» структуры территориального строения высшего образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тенденции изменения общественного спроса на высшее образование в современной России / И.В. Абанкина, Т.В. Абанкина, Л.М. Филатова, Е.А. Николаенко // Вопросы образования. 2012. №3. С. 88-112.
2. Галазова С.С. Экономика знания: партнёрство между вузами и бизнесом как условие модернизации университетов / С.С. Галазова // TERRA ECONOMICUS. 2010. Т. 8. №., Ч. 2. С. 242.
3. Ефимов В.С. Высшее образование в России: вызовы XXI века / В.С. Ефимов, А.В. Лаптева // Университетское управление. 2010. № 4. С. 6-17.
4. Ключарев Г.А. Частное высшее образование: инновационный потенциал и инвестиционная привлекательность / Г.А. Ключарев // TERRA ECONOMICUS. 2011. Т. 9. № 1. С. 71-80.
5. Санина А.Г. Условия интеграции науки, образования и бизнеса в современной России / А.Г. Санина // Социологические исследования. 2010. № 7. С. 122-129.
6. Федоров М.В. Современные концепции производства знаний / М.В. Федоров, Э.В. Пешина // Университетское образование. 2012. № 3. С. 6-12.
7. Universities and Economic Development // <http://ualr.edu/about/strategicplan/index.php/home/planning-environment/6-universities-and-economic-development/>.

Горбунов Александр Павлович –
кандидат исторических наук, профессор
Пятигорского лингвистического университета

Alexander P. Gorbunov –
Ph.D., Professor
Pyatigorsk State Linguistic University

Статья поступила в редакцию 25.11.13, принята к опубликованию 10.12.13

УДК 339.944

А.С. Григорьева

МОДЕЛЬ ВЫХОДА МАЛЫХ И СРЕДНИХ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ НА ВНЕШНИЙ РЫНОК

Рассмотрены преимущества и недостатки применения стадийного подхода при исследовании процесса интернационализации малых и средних инновационных компаний. Проведено сопоставление двух теоретических подходов, направленных на описание процесса продвижения продукции на рынок: инновационные модели интернационализации и теории диффузии инноваций.

Инновация, интернационализация, диффузия инноваций, инновации модели интернационализации

A.S. Grigoryeva

A MODEL FOR THE FOREIGN MARKET PENETRATION BY THE SMALL AND MEDIUM-SIZED INNOVATIVE COMPANIES

The article considers the advantages and disadvantages of the stage approach to the process of a small or medium-sized innovative company internationalization. Comparison is made for the two theoretical approaches, which describe the process of promoting a product on the market: the innovative internationalization models and the theory of innovations diffusion.

Innovation, internationalization, diffusion of innovations, innovative models of internationalization

Вследствие ежегодного повышения уровня деловой активности между странами и динамичного развертывания операций на внешних рынках компании все чаще сталкиваются с необходимостью применения накопленного внутри страны опыта для осуществления операций за рубежом. Одним из актуальных на сегодняшний день вопросов является рассмотрение процесса интернационализации предприятий, занимающихся инновационной деятельностью, а именно разработкой технологических решений. Выход на внешний рынок для таких компаний сопряжен не только с необходимостью преодоления языковых, культурных и психологических трудностей, но и с исследованием ряда более специфических факторов, например, таких как жизненный цикл товара, вследствие подверженности инновации ускоренному моральному устареванию.

В научной литературе, в силу исторического развития, процесс интернационализации чаще всего рассматривается лишь со стороны крупных фирм, не уделяя должного внимания специфике развития малого и среднего предпринимательства (МСП) [8]. Объясняется это тем, что для них выход на внешний рынок – скорее, угроза, чем возможность [11]. Однако именно МСП играют важную роль на рынке продаж инновационной продукции, выступая в качестве связующего звена между наукой и производством. Их число в мире с каждым годом непреклонно увеличивается [15]. И, несмотря на существующую низкую долю российских инновационных МСП (2% от общего числа МСП в России) [17], правительство активно выступает за дальнейшее развитие данного сектора и повышение его конкурентоспособности.

Анализ процесса интернационализации крупных компаний чаще всего происходит согласно теориям в рамках стадийного, статического или сетевого подходов [10]. Однако, вследствие сложности их применения для рассмотрения процесса выхода на рынок МСП, были разработаны инновационные модели (И-модели), описывающие процесс постепенного вовлечения малых организаций в международную деятельность по мере расширения их информационной осведомленности [9]. К ним относятся работы Билкей и Тезара [5], Кавусгили [6], Цинкота [7] и Рэйда [13].

Согласно этим моделям, компания по мере своего развития проходит ряд стадий от «незаинтересованной в экспорте» до «занимающейся экспортом» [3]. Переход от одной стадии развития к другой зависит от принятия или отклонения ряда факторов, что в свою очередь напоминает структуру модели внедрения инноваций Роджерса. Различие между ними состоит в том, что в диффузионной модели Роджерса [14] компания-производитель инновации выступает в качестве объекта, результат деятельности которого исследует субъект – компания-потребитель. В И-моделях компания-производитель наоборот выступает в качестве субъекта, который анализирует возможность выхода на внешний рынок, в том числе и в отношении потенциальных компаний-потребителей. Сама же структура обеих моделей полностью совпадает (см. рисунок).

На первой стадии субъекты узнают и проявляют интерес к новой возможности. На степень их заинтересованности при этом влияют как предыдущий опыт и внутренние характеристики компании, так и внешний факторы [2]. Следующий этап отмечается формированием у субъекта того или иного мнения, и, при положительной оценке, возникновением намерения к использованию возможности [14]. Здесь важное значение имеют характеристики объекта, а именно компании-производителя и предлагаемой им инновации или же рынка, рассматриваемого в качестве подходящего для осуществления внешнеэкономической деятельности. Далее следует стадия пилотного проекта или пробного экспорта в зависимости от рассматриваемой ситуации [3]. При успешной реализации предыдущих этапов субъекты на основе полученных результатов, принимают решение о применении инновации или же об осуществлении экспортных поставок на постоянной основе, таким образом, производя внедрение продукта.



Объединенная модель внедрения и интернационализации инновационной продукции
 Источник: составлено автором на основе [13, 14]

К преимуществам стадийного подхода относятся постепенное вовлечение субъекта в разработку новой стратегии по мере расширения его информационной осведомленности [9], что позволяет четко контролировать каждое действие; а также наличие пробного этапа, способного выявить ряд существенных недостатков до момента полного вовлечения субъекта в исследуемый процесс.

Несмотря на кажущуюся структурность и понятность все же ряд исследователей считает применение стадийного подхода в современных условиях несколько ограниченным, особенно для инновационных компаний [4]. Основной причиной служит пропуск некоторыми субъектами определенных стадий, вследствие снижения в последние годы логистических и информационных издержек [12], благодаря активному развитию коммуникационных каналов между различными организациями. Кроме того, инновационный продукт чаще всего обладает достаточно коротким жизненным циклом, что вносит необходимость быстрой разработки и принятия решений при переходе от одной стадии к другой. Таким образом, рассматриваемые модели можно использовать как основу для изучения процесса распространения инноваций, однако, их стоит дополнять и расширять с учетом необходимости быстрого и гибкого реагирования на потребности рынка.

Применение объединенной модели внедрения и интернационализации инновационного продукта особенно актуально, когда потенциальные покупатели могут быть найдены только за рубежом. В результате, компания-производитель может сразу определить каким образом будет построено взаимодействие с потребителем, и согласовать скорость данного процесса со своими возможностями выхода на новый рынок.

Однако не стоит забывать, что деятельность хозяйствующего субъекта не изолирована [1]. В процесс создания и распространения инновационного решения вовлечено большое количество организаций: поставщики комплектующих, разработчики, производители, органы стандартизации, интеграторы, потребители и многие другие институты. В ходе своей деятельности они обмениваются товарами, финансовыми средствами и информацией, таким образом, ускоряя или замедляя исследуемые процессы. Вследствие чего продвижение инновации на рынок зависит не только от выбранной компанией стратегии, но и от действий субъектов, образующих ее окружающую среду. Таким образом, на практике руководство инновационных предприятий чаще всего применяет интегрированный подход, основывающийся сразу на нескольких теоретических направлениях, что позволяет рассмотреть актуальный для компании вопрос с различных ракурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валдайцев С.В. Малое инновационное предпринимательство / С.В. Валдайцев, Н.Н. Молчанов, К. Пецольдт. СПб.: Изд. Проспект, 2011. 538 с.
2. Пецольдт К. Инновации в розничной торговле: технологии самообслуживания как путь повышения конкурентоспособности компаний / К. Пецольдт, А.Г. Коваль, А.С. Григорьева // Инновации. 2012. № 7. С. 78-85.
3. Andersen O. On the Internationalization Process of Firms: A Critical Analysis / O. Andersen // Journal of International Business Studies. 1993. Vol. 24. P. 209-231.
4. Bell J. The internationalization of small computer software firms: A further challenge to «stage» theories / J. Bell // European Journal of Marketing. 1995. Vol. 29. № 8. P. 1236-1251.
5. Bilkey W.J. The Export Behavior of Smaller-Sized Wisconsin Manufacturing Firms / W.J. Bilkey, and G. Tesar // Journal of International Business Studies. 1977. Vol. 8. № 1.
6. Cavusgil S.T. On the Internationalization Process of Firms / S.T. Cavusgil // European Research. 1980. № 8. P. 273-281.

7. Czinkota M. R. Export development strategies: US promotion policies / M. R. Czinkota. N.Y.: Praeger Publishers, 1982.
8. Gankema H.G. J. The Internationalization Process of Small and Medium-Sized Enterprises: An Evaluation of Stage Theory / H.G. J. Gankema, H. R. Snuif, P. S. Zwart // Journal of Small Business Management. 2000. Vol. 38. № 4. P. 15-27.
9. Johanson J., Vahln J. The internationalization process of the firm-A model of knowledge development and increasing foreign market commitments / J. Johanson, J. Vahln // Journal of International Business Studies. 1977. № 8. P. 23-32.
10. Laine A. A process model of internationalization new times demands new patterns / A. Laine, S. Kock // 16th IMP-conference in Bath (U.K). 2000. (<http://www.impgroup.org/uploads/papers/83.pdf>)
11. Lindmark L. Smaföretagens internationalisering / L. Lindmark. Företag, Företagare, Företagssamhet, 1996. P. 13-24.
12. McDougall P.P. Explaining the Formation of International New Ventures: The Limits of Theories from International Business Research / P.P. McDougall, S. Shane, B.M. Oviatt // Journal of Business Venturing. 1994. Vol. 9. № 6. P. 469-487.
13. Reid S. The decision-maker and export entry and expansion / S. Reid // Journal of International Business Studies. 1981. № 12 (2). P. 101-112.
14. Rogers E. Diffusion of innovations / E. Rogers. Fifth Edition. Free Press, 2003. 576 p.
15. Ruzzier M. SME internationalization research: past, present and future / M. Ruzzier, R.D. Hisrich, B. Antonic // Journal of Small Business Enterprise Development. 2006. Vol. 13. № 4. P. 476-497.
16. <http://www.gks.ru> – Федеральная служба Государственной статистики.

Григорьева Анастасия Сергеевна –
аспирантка экономического факультета
Санкт-Петербургского государственного
университета

Anastasia S. Grigoryeva –
Postgraduate
Faculty of Economics,
Saint-Petersburg State University

Статья поступила в редакцию 15.10.13, принята к опубликованию 10.12.13

УДК 338.439.4:637.12:631.1.017:005.71-022.51

Т.И. Грудкина

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА В КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВАХ

Одним из направлений стратегии развития производства молока в крестьянских (фермерских) хозяйствах является государственная их поддержка в виде предоставления грантов на развитие семенных животноводческих ферм и на непосредственно поддержку начинающих фермеров. Автором проанализировано современное состояние развития отрасли отечественного молочного скотоводства, в том числе и в Орловской области. Выявлена роль крестьянских (фермерских) хозяйств в развитии производства молока. Проанализирована фактическая реализация направлений государственной поддержки крестьянских (фермерских) хозяйств на современном этапе и определена дальнейшая стратегия развития производства молока в них.

Производство молока, крестьянские (фермерские) хозяйства, стратегия развития, государственная поддержка, программы государственной поддержки

T.I. Grudkina

A STRATEGY FOR DEVELOPMENT OF MILK PRODUCTION IN THE PEASANT (FARMER) ECONOMY

One of the strategies for developing the milk production in the peasant (farmer) economy is the state support in the form of grants for seed breeding farms and direct support of new farmers. The author analyzes the current state of things with the domestic dairy cattle industry, including the state of things in the Orel region. The role of the peasant (farmer) economy in the development of milk production is identified. The present state

of the actual implementation of the directions of state support in the peasant (farmer) economy is analyzed, and the further strategy for milk manufacturing is determined.

Milk production, the peasant (farmer 's) economy, development strategy, government support, government support program

Молоко является одним из самых ценных продуктов питания человека, сбалансированным по всем компонентам не только для взрослого человека, но и для грудного ребенка. Другого подобного продукта питания, в котором бы содержалось в оптимальных пропорциях около ста различных и ценных для организма веществ, а именно белков, жиров, углеводов, витаминов, минералов, ферментов и других важных компонентов, в природе нет. Около 30-40% общей калорийности потребляемой человеком пищи, согласно научно обоснованным данным, должно приходиться на молоко и молочные продукты. Поэтому рынок данных продуктов на сегодняшний день является одним из крупнейших рынков продовольственных товаров в мире, пользующихся у населения повышенным спросом. Причем спрос на эту продукцию неуклонно возрастает, как и темпы роста рынка на уровне 4-5% в год, что объясняется увеличением доходов основной части населения, так как этот рынок определяется не рациональной потребностью в данных продуктах, а платежеспособным спросом на них. Возрастающий спрос может быть удовлетворен за счет роста объемов производства качественного сырого молока в субъектах агробизнеса, в том числе в крестьянских (фермерских) хозяйствах, посредством расширенного воспроизводства, повышения эффективности отрасли, конкурентоспособности продукции и производителей, в связи с чем требуются капитальные вложения в развитие данной отрасли агробизнеса, на что и направлена реализация многих бизнес-проектов.

Сложившаяся ситуация на рынке свидетельствует о том, что перенасыщения как сырым молоком, так и молочными продуктами не будет, поэтому им будет обеспечен стабильный сбыт. В то же время молочное скотоводство в отличие от других отраслей характеризуется с экономической точки зрения обеспечением устойчивого поступления выручки от реализации молока и доходов в течение круглого года, рационального и внесезонного использования трудовых ресурсов. Поэтому молочное скотоводство было и продолжает оставаться стратегической отраслью животноводства для многих субъектов агробизнеса в России, в т.ч. для крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ).

Прежде чем вести речь о стратегии развития производства молока в КФХ, необходимо проанализировать в целом его современное состояние. По данным Федеральной службы статистики, за 1990-2005 гг. поголовье коров в хозяйствах всех категорий России снизилось более чем в 2 раза или на 11034,7 тыс. голов с 20556,9 тыс. голов до 9522,2 тыс. голов. С 2005 года и вплоть до 2010 год поголовье молочного стада в хозяйствах всех категорий России продолжало сокращаться до 8843,5 тыс. голов или на 7,1%, по сравнению с 2009 г. – на 2%. В переломном 2011 г. поголовье коров впервые немного восстановилось – на 1,6% по сравнению с 2010 г. По итогам 2012 г. численность поголовья коров составила 8883 тыс. гол., что на 1,2% меньше, чем на конец 2011 г. Динамика поголовья коров в крестьянских (фермерских) хозяйствах и индивидуальных предпринимателей Российской Федерации имеет стабильный характер роста. В 2012 г. поголовье коров в хозяйствах крестьянских (фермерских) и индивидуальных предпринимателей, судя по данным рисунка 1, увеличилось до 979 тыс. голов, в 3,8 раза по сравнению с 2000 г., в 2,4 раза – по сравнению с 2005 г. и на 13,3% – по сравнению с 2011 г. В Орловской области в последние годы поголовье коров снижается: с 85,3 тыс. гол. на конец 2005 г. до 52,8 тыс. гол. на конец 2012 г., т.е. на 39%, и до 46,6 тыс. гол., т.е. еще на 12%, на конец 2013 г. Данная тенденция наблюдается во всех категориях хозяйств, и в т.ч. в сельхозорганизациях, что подтверждается сокращением в них в 2012 г. поголовья коров тоже на 39% или на 21,7 тыс. гол. В целом в 2012 г. численность коров в Орловской области по сравнению с 2000 г. уменьшилась в 2,2 раза.

Доля численности коров, содержащихся в отечественных крестьянских (фермерских) хозяйствах, выросла до 11% в 2012 г., на 9 процентных пунктов по сравнению с 2000 г., на 6,7% – с 2005 г. и на 1,4% – с 2011 г. от общей численности поголовья, тогда как в сельхозорганизациях сократилась за этот период до 41%, на 9,9, 4 и 0,7 процентных пунктов соответственно. В Орловской области удельный вес коров в К(Ф)Х ежегодно повышался, но составил всего около 6% против 64,7% в сельхозорганизациях. Численность поголовья коров в крестьянских (фермерских) хозяйствах растет, в том числе, за счет субсидирования приобретения племенного молочного скота.

Динамика роста продуктивности коров в хозяйствах всех категорий Российской Федерации имеет относительно небольшой, но стабильный характер. Средний надой на одну корову в 2012 г. достиг уровня 3898 кг, что на 55,8% или 1396 кг выше уровня 2000 г., на 22,7% или 722 кг выше уровня 2005 г. и на 1,2% или 47 кг больше уровня 2011 г. В сельскохозяйственных организациях средний уровень продуктивности молочного стада за анализируемый период достиг более высокого уровня по сравнению с хо-

зяйствами всех категорий. Начиная с 2009 года, средний надой на одну корову превысил 4000 кг молока и в 2012 году составил 4521 кг, что по сравнению с 2000 г. выше на 93%, с 2006 г. – на 37,8%, с 2011 г. – на 5%. В крестьянских (фермерских) хозяйствах России за период с 2000 по 2011 гг. также наблюдалась относительно незначительная, но устойчивая динамика роста продуктивности коров, и вплоть до 2008 год имела столь же плавный характер, что и динамика роста продуктивности коров в хозяйствах всех категорий. В 2009 г. произошел скачок роста продуктивности коров на 19% или 522 кг по сравнению с 2008 г., которая достигла уровня 3268 кг, и далее динамика роста опять приобрела плавный характер. Причем в 2011 г. надой от одной коровы также возрос на 2% или 69 кг по сравнению с уровнем 2010 г. Если же его сравнивать со средней продуктивностью коров, достигнутой сельскохозяйственными организациями в 2011 г., то он меньше на 28,2% или на 946 кг.

В Орловской области растет надой на 1 корову с 3249 кг в 2005 г. до 4305 кг в 2012 г. или на 32,5%, наряду с сокращением поголовья коров. Быстрый рост надоев в расчете на 1 корову в сельскохозяйственных организациях, достигших 4089 кг в 2011 г., что на 82 кг больше чем в 2010 г. и на 1029 кг или 43 % больше чем в 2005 г., связан с сокращением поголовья низкопродуктивного скота и заменой его на более высокопродуктивных племенных животных. Этому послужило введение в эксплуатацию также в регионе новых и модернизированных молочных комплексов и ферм. Кроме того повышение надоев было вызвано изменением комплекса экономических факторов и технико-технологических условий содержания скота. В результате в 2012 г. в Орловской области в сельскохозяйственных организациях было надоено в среднем от одной коровы по 4104 кг молока, что на 15 кг больше, чем в предыдущем году. Причем продуктивность коров увеличилась в 2012 году в 11 районах региона. Так, наиболее значительные результаты достигнуты в хозяйствах Мценского и Шаблыкинского районов, где продуктивность коров возросла на 16-18%. Однако лидером является Верховский район, где получили самые высокие в регионе надой молока – 6465 кг в среднем на одну корову. Следует отметить, что в 2011 г., например, рост надоев коров на 43% в сельскохозяйственных организациях Орловской области обусловлен повышением уровня кормления коров, в частности, расход кормов на среднегодовую корову возрос на 25%, улучшением качества и состава рационов, ростом расхода концентратов на 78,5 %, а также ускорением оборота коров в стаде. Следует отметить, что кормовая база для скота в 2011 году базировалась на 148 тыс. га или 14% от общей посевной площади региона.

В России максимальный уровень производства молока на уровне 55,7 млн. т. был достигнут в 1990 г. В 2000 г. его объемы к уровню 1990 г. снизились на 23,4 млн. т или на 42%, а в 2005 г. к 2000 г. - на 1,3 млн. т. или на 3,7%. На протяжении последних 13 лет динамика объемов производства молока в хозяйствах всех категорий России имеет колеблющийся характер. Меры по поддержке молочного скотоводства, предпринятые государством в рамках реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК» по направлению «Ускоренное развитие животноводства» и отраслевых региональных программ стимулировали, начиная с 2006 г., рост объемов производства молока во многих регионах России, который продолжался вплоть до 2009 г. включительно и даже превзошел уровень 2000 г. на 1%. В 2010 году опять наблюдается снижение объемов производства молока на 2,2% к уровню 2009 г., а в 2011 г. – еще на 1% к уровню 2010 г., что можно частично объяснить неблагоприятными погодными условиями, сложившимися в 2010 г., последствия которых проявились и в 2011 г. и также негативно сказались на формировании кормовой базы для молочного стада, непосредственно количестве и, что более важно, качестве кормов. В 2012 г. динамика спада производства молока прекратилась, в хозяйствах всех категорий было надоено 31,9 млн. т молока, что почти на 1 % превысило уровень 2011 г, но в 2013 г. опять сократилось на 3,7% до 30,7 млн. т к уровню 2012 г. В Орловской области в 2012 г. во всех категориях хозяйств производство молока сократилось с 294,3 тыс. т в 2005 г. до 228 тыс. т. в 2011 г., т.е. на 22,5%, а в 2012 г. перестало снижаться, и даже наблюдается некоторый рост по сравнению с 2011 г. – на 1,3 тыс. т или 0,6%.

Доля крестьянских (фермерских) хозяйств России в общем объеме производства молока в динамике постепенно растет, в частности, за период с 2009 по 2012 годы возросла 1 процентный пункт, если сравнить с сельскохозяйственными организациями, то в них рост произошел на 1,8 процентных пунктов. Этому способствовала закупка высокопродуктивного скота, строительство новых и модернизация старых молочных комплексов и ферм, рост продуктивности молочного стада. Следует отметить, что производство молока в целом в крестьянских (фермерских) хозяйствах по итогам 2012 г. выросло на 11,2%, что при росте продуктивности коров на 2% пока еще свидетельствует об экстенсивном развитии молочного скотоводства в них.

Повышению эффективности развития отрасли молочного скотоводства и конкурентоспособности организаций-производителей молока будет способствовать и в дальнейшем исключительно рост продуктивности коров, внедрение инновационных технологий производства молока, снижение

затрат труда на содержание и эксплуатацию молочного стада, совершенствование селекционно-племенной работы и оптимизация полноценности кормления животных.

Анализ, приведенный выше, подтверждает целесообразность, преимущество инвестирования и реализации в крестьянских (фермерских) хозяйствах бизнес-проектов, так как при недостаточных объемах производства молока-сырья, а отсюда и молочных продуктов, постоянно растет потребность в них. Превалирование спроса на молоко-сырье над его предложением способствует росту цен на него, а модернизация молочного скотоводства при помощи государственной поддержки – снижению его себестоимости, что, в свою очередь, наряду с высокой емкостью рынка расширяет возможности деятельности и в перспективе – получения дополнительной прибыли. Конкуренция является одной из главных движущих сил рынка молока и формой взаимного соперничества между его субъектами за наиболее выгодные условия производства, сбыта и реализации своего рыночного потенциала. Субъекты агробизнеса, в том числе крестьянские (фермерские) хозяйства, должны знать своих конкурентов, владеть информацией об их сильных и слабых сторонах, чтобы сформировать конкурентные преимущества и приобрести выгоды в конкурентной борьбе. Также целесообразно учитывать и воздействие сложившихся на рынке конкурентных сил. Для крестьянских (фермерских) хозяйств имеется своя ниша на рынке молока, и поэтому им необходимо стремиться к производству и реализации качественного молока, не ниже первого сорта, не допуская более низких градаций его качества, так как цена на молоко второго сорта в среднем на 10 и более % ниже цены реализации на молоко первого сорта.

Привлекательность молочного бизнеса и стратегия развития производства молока в КФХ Орловской области обуславливаются наряду с другими факторами государственной поддержкой в целом животноводства, в т.ч. молочного скотоводства, а также развития семейных животноводческих ферм на базе КФХ. Этому способствовало принятие в 2011 г. долгосрочной областной целевой программы «Развитие крестьянских (фермерских) хозяйств и других малых форм хозяйствования в сельской местности в Орловской области на 2012-2015 годы» (постановление Правительства Орловской области от 07.09.2011 г. № 301 «Об утверждении долгосрочной областной целевой программы «Развитие крестьянских (фермерских) хозяйств и других малых форм хозяйствования в сельской местности в Орловской области на 2012-2015 годы»). Принятию данной программы предшествовало утверждение приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 06.03.2012 г. № 173 и введение в действие ведомственной целевой программы «Развитие семейных животноводческих ферм на базе крестьянских (фермерских) хозяйств на 2012-2014 годы», а также «Поддержка начинающих фермеров на период 2012–2014 годы».

КФХ Орловской области, которых насчитывается более 1300 [2], приняли участие, начиная с 2012 г., в конкурсных отборах на предоставление грантов и начале реализации этих программ. От КФХ приняли восемь заявок с целью получения гранта на развитие семейных животноводческих ферм, в т.ч. со стратегией развития производства молока. Из них пять КФХ комиссия по отбору участников программ развития крестьянских (фермерских) хозяйств и других малых форм хозяйствования в сельской местности в Орловской области признала в качестве победителей [3], им было перечислено 16,666 млн. руб. [1]. Также 25 заявок поступило с целью получения гранта на создание и развитие КХФ и (или) единовременной помощи на бытовое обустройство начинающим фермерам, на что было перечислено тринадцати КФХ как победителям 25,292 млн. руб. [1], в т.ч. и на развитие производства молока.

В 2012 г. уже было построено и реконструировано восемь животноводческих помещений, приобретено 300 голов КРС. Закуплено 9 тракторов, 27 единиц прицепного инвентаря [2].

В 2013 г. была принята долгосрочная областная целевая программа «Развитие крестьянских (фермерских) хозяйств и других малых форм хозяйствования в сельской местности в Орловской области на 2013-2015 годы» (постановление Правительства Орловской области от 29.03.2013 г.). В рамках этой программы в апреле 2013 г. соответствующее Соглашение подписали Министерство сельского хозяйства РФ и Правительство Орловской области, согласно которому на данные мероприятия выделено 43,27 млн. руб. средств федерального и областного бюджетов, в т.ч. на создание семейных животноводческих ферм на сумму 12,181 млн. руб. и 6 млн. руб., а для поддержки начинающих фермеров – 17,799 млн. руб. и 7,29 млн. руб. соответственно. В 2013 г. Департамент сельского хозяйства Орловской области начал принимать заявки пораньше, чем в 2012 г., с 24.04.2013 г. по 23.05.2013 г. От КФХ Орловской области приняли также восемь заявок с целью получения гранта на развитие семейных животноводческих ферм, некоторые из которых направлены на реализацию стратегии развития производства молока, семь из которых признали победителями. За счет средств гранта ими осуществлялись разработка проектно-сметной документации, строительство, реконструкция и модернизация семейных ферм, покупка строительных материалов, комплектующих, технологического оборудования, техники и племенных животных. 36 заявок поступило на поддержку начинающим ферме-

рам, 19 из которых в качестве победителей со стратегией создания КФХ, в т.ч. со специализацией на производстве молока, и обустройство их быта, причем за счет средств гранта могла покупаться земля, осуществлялись строительство и ремонт производственных и складских зданий, дорог и подъездов к ним, подключение их к инженерным сетям, покупались семена, племенные животные, удобрения и техника. С данными КФХ были заключены соответствующие Соглашения о целевом расходовании средств, средства из федерального бюджета в бюджет Орловской области поступили, а затем и на счета глав КФХ. Начиная фермеры получили поддержку в сумме до 1,5 млн. руб., КФХ на развитие семейных животноводческих ферм – до 5 млн. руб. За счет единовременной помощи на бытовое обустройство в размере до 250 тыс. руб. могло покупаться жилье, автомобиль, домашняя мебель и бытовая техника, компьютеры, электрические и газовые плиты и др.

Стратегия развития производства молока в крестьянских (фермерских) хозяйствах России, в т.ч. и Орловской области, за счет средств государственной поддержки будет реализовываться и в последующие годы – в 2014 г. и 2015 г. Повышению эффективности развития отрасли молочного скотоводства и конкурентоспособности крестьянских (фермерских) хозяйств будет способствовать исключительно рост продуктивности коров, внедрение инновационных технологий производства молока, снижение затрат труда на содержание и эксплуатацию молочного стада, совершенствование селекционно-племенной работы и оптимизация полноценности кормления животных. Четкое выполнение всех технологических операций и соблюдение процессов производства (содержания, кормления, доения, воспроизводства, мероприятий по контролю и поддержанию здоровья животных), управление процессами производства и человеческими ресурсами позволит максимально реализовать генетический потенциал животных в КФХ. Рацион кормления животных должен быть оптимально сбалансирован по составу и составлять в зависимости от физиологического состояния животных. Приоритетно искусственное осеменение коров ректоцервикально, спермой быков, проверенных по качеству потомства, при необходимости возможна случка коров посредством покрытия их быком-производителем (естественная случка). Надлежащий уход за коровами – привязное содержание коров в комфортабельных условиях при оптимальном микроклимате, выполнение мероприятий по контролю и поддержанию здоровья животных – в том числе обеспечивает высокое качество молока. Содержание скота в зимний период – стойловое, базирующее на кормлении животных сеном, силосом и др., в летний период целесообразна пастбищно-стойловая система содержания с использованием естественных пастбищ (май, июнь, сентябрь) в сочетании с зеленым кормом посевных кормовых культур зеленого конвейера (июль, август, сентябрь) с добавлением концентратов. В целом КФХ в перспективе целесообразно придерживаться применения гибкой политики установления взаимоотношений с молокоперерабатывающими комбинатами и цены на сырое молоко в зависимости от соотношения спроса и предложения на рынке в тот или иной временной период. В любом случае партнеры по бизнесу при установлении цены на молоко будут ориентироваться также на средние текущие цены на рынке сырого молока. Наряду с достижением градации качества молока на уровне первого сорта, конкурентным преимуществом крестьянских (фермерских) хозяйств перед другими производителями близлежащих районов может стать повышение содержания массовой доли жира в молоке и массовой доли белка в молоке, которое может влиять на рост цены реализации на молоко, это будет служить и дополнительным стимулом к приобретению молока, производимого крестьянскими (фермерскими) хозяйствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. В администрации Орловской области торжественно вручили сертификаты начинающим фермерам [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://orel.bezformata.ru/listnews/orlovskoj-oblasti-torzhestvenno-vruchili/12858798/>. [Дата обращения: 1.10.2013].
2. В Орловской области выдали гранты начинающим фермерам [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://rg.ru/2013/07/16/reg-cfo/granty-anons.html> [Дата обращения: 1.10.2013].
3. Кравченко Т.С., Сухочева Н.А. Стратегические направления развития КФХ в рамках государственной программы поддержки малых форм хозяйствования [Текст] / Т.С. Кравченко, Н.А. Сухочева // Экономика и предпринимательство. 2013. № 12-2 (41-2). С. 475-481.

Грудкина Татьяна Ивановна –
кандидат экономических наук, доцент кафедры
«Организация предпринимательской деятельности
и менеджмента в АПК» Орловского
государственного аграрного университета

Tatiana I. Grudkina –
Ph. D., Associate Professor
Department of Entrepreneurship and Management
in Agriculture,
Orel State Agrarian University

Статья поступила в редакцию 10.10.13, принята к опубликованию 15.12.14

А.В. Мендель, Н.П. Фадеева

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОНИТОРИНГ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Предложен методологический подход на основе оценки статистических данных для мониторинга развития муниципальных образований, позволяющий получить комплексную оценку социально-экономического положения муниципального образования, провести сравнительный анализ каждого муниципального образования и в дальнейшем выработать конкретные меры по устойчивому развитию социально-экономического положения муниципальных образований.

Устойчивое развитие муниципальных образований и сельских территорий, критерии и показатели устойчивого развития, система параметров, прямые и обратные частные показатели, пороговые значения

A.V. Mendel, N.P. Fadeeva

STATISTICAL METHODS AND MONITORING OF SOCIO-ECONOMIC COMMUNITY DEVELOPMENT

In the article is proposed a methodological approach based on an assessment of statistics for monitoring the of municipalities, allowing to obtain a comprehensive assessment of the socio-economic situation of the municipality, a comparative analysis of each municipality and further develop specific measures for sustainable development of socio-economic status of municipalities.

Sustainable development of municipalities and rural areas, criteria and indicators for sustainable development, system parameters, direct and reverse particular indicators, thresholds

В условиях Евразийской интеграции муниципальные образования, в особенности муниципальные образования в сельской местности оказываются в состоянии сильнейшего влияния различных интеграционных процессов. Вступление России в ВТО в 2012 году усиливает риск неустойчивого развития территорий, в частности сельских территорий, поскольку поддержка сельского хозяйства по условиям ВТО должна быть сокращена. Конечно же, этот факт отразится и на производителях сельскохозяйственной продукции, что, в свою очередь, плачевно скажется и на продовольственной безопасности территорий муниципальных образований. Особый риск для российских сельскохозяйственных товаропроизводителей составляет недостаточная конкурентоспособность российских товаров по сравнению с импортными аналогами. В первую очередь государственная поддержка необходима тем сельским территориям, которые непосредственно будут вовлечены в интеграционные процессы в рамках вступления России в ВТО, активизируя национальный процесс как на международном так и на региональном уровне. В этой связи огромное внимание уделяется проблеме устойчивости социально-экономического развития сельских территорий, которая, в свою очередь, требует новых подходов к методике её оценки. Необходимость такой оценки не вызывает сомнения. Такая оценка, должна базироваться на реальных статистических данных и мониторинге социально-экономической ситуации в сельской территории.

В последнее время различными авторами предлагаются различные подходы к оценке уровня устойчивого развития территории. Однако, к сожалению, до сих пор не выявлены критерии и показатели устойчивого развития сельских территорий, позволяющие определить уровень и интенсивность изменения устойчивости развития, не разработана методика оценки, учитывающая комплексное влияние всех факторов развития сельской местности. Существующие и предлагаемые авторами методики оценки устойчивости, ориентированы на макро-, в лучшем случае на мезоуровни. Предлагаемые

в последнее время методики основаны на сравнительной характеристике отдельных показателей социально-экономического развития муниципальных образований внутри определенной территории (региона). В таких методиках рассматриваются минимальные и максимальные значения показателей, что не позволяет выявить реальное социально-экономическое положение, а лишь определяет место муниципального образования внутри территории (региона).

Универсальность и отличительная особенность предлагаемой в статье методики [1] заключается в том, что частные показатели сравниваются с пороговыми значениями, а не с максимальными и минимальными значениями показателей по региону, что позволяет, во-первых, производить оценку не только в рамках одного субъекта РФ, а во-вторых, не требует большого объема статистических данных, то есть используются показатели лишь тех муниципальных образований, которые подлежат оценке. В Концепции устойчивого развития сельских территорий на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2010 г. № 2136-р [2], под «устойчивым развитием сельских территорий» понимается – стабильное социально-экономическое развитие сельских территорий, увеличение объема производства сельскохозяйственной и рыбной продукции, повышение эффективности сельского хозяйства и рыбохозяйственного комплекса, достижение полной занятости сельского населения и повышение уровня его жизни, а также рациональное использование земель.

«Устойчивое развитие – это непрерывный процесс, при котором общий вектор развития сельской территории характеризуется ростом возможностей удовлетворять потребности нынешнего и будущих поколений сельских жителей в длительной перспективе при сохранении баланса интересов, гармонии между экономической, социальной и экологической подсистемами» [3]. По нашему мнению, понятие устойчивое развитие должно рассматриваться в тесной взаимосвязи с понятиями экономической безопасности и с категорией риска. Критерии экономической безопасности диктуют выбор определенных показателей экономической безопасности объекта исследования, однако, важное значение имеют не сами показатели, а их пороговые значения. Под пороговыми значениями показателей уровня социально-экономической устойчивости надо понимать предельные величины, несоблюдение которых препятствует нормальному ходу развития и приводит к формированию кризисных тенденций в области производства и уровня жизни населения [1].

Таким образом, показатели, по которым определены пороговые значения, выступают системой показателей оценки уровня устойчивости социально-экономического развития территории. Система параметров (пороговых значений) социально-экономической устойчивости муниципального образования, на наш взгляд, должна основываться на принципиальных положениях Государственной стратегии экономической безопасности Российской Федерации, одобренных Указом Президента Российской Федерации от 29 апреля 1996 г. № 608. В этом документе отмечается: «для реализации Государственной стратегии должны быть разработаны количественные и качественные параметры (пороговые значения) состояния экономики, выход за пределы которых вызывает угрозу экономической безопасности страны» [4].

Каждый из основных индикаторов угроз экономической безопасности связан с оценкой ситуации в определенной сфере. Расчет показателей, рассматриваемых изолированно друг от друга, не позволяет получить объективную оценку. Только система показателей позволяет сделать выводы о реальной степени угрозы экономической безопасности и об оценке устойчивости социально-экономического развития.

Оценку устойчивости социально-экономического развития сельских территорий и муниципальных образований согласно предлагаемой методике можно получить с помощью расчёта сводного интегрального показателя, для вычисления которого осуществляется выбор частных показателей с определением пороговых значений для каждого частного показателя, с которыми сравниваются фактические данные [1]. Пороговое значение каждого частного показателя можно рассматривать как пороговую величину в конкретной изучаемой сфере. Все частные показатели делятся на «стимуляторы», мы их будем называть прямыми показателями и «дестимуляторы», их назовём обратными показателями. Прямые и обратные частные показатели сравниваются с пороговыми значениями, затем находятся сравнительные оценки для прямых и обратных показателей. На основе полученных оценок рассчитывается сравнительный интегральный показатель. Его отличительной особенностью является то, что он учитывает влияние всех частных показателей на результат и даёт сводную характеристику изучаемого процесса.

Выбор частных показателей может варьироваться в зависимости от типов муниципальных образований или сельских поселений, в зависимости от особенностей регионального (территориально-го) положения, в зависимости от целей исследования и др. Выбор частных показателей и их количество не изменяет методику расчёта вследствие её мобильности и подвижности.

С учётом прямых и обратных частных показателей рассчитывается сравнительный интегральный показатель [1]

$$СИП = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta_{np}^i + \sum_{j=1}^m \Delta_{обр}^j}{k + m},$$

где Δ_{np}^i – сравнительная оценка для каждого прямого показателя, $\Delta_{обр}^j$ – сравнительная оценка для каждого обратного показателя.

Пороговое значение каждого частного показателя является величиной, свидетельствующей о том, что именно при этом значении сохраняется относительная неустойчивость социально-экономических и политических процессов в муниципальных образованиях. Отклонение фактических значений от пороговых в совокупности влияет на сводный интегральный показатель.

Для оценки типа развития муниципального образования или сельского поселения мы предлагаем шкалу интервальных изменений интегрального показателя устойчивого развития, позволяющую определить уровень социально-экономического положения сельской территории и вектор развития данной сельской территории. Точка «ноль» означает равенство всех частных показателей их пороговым значениям. Отсюда близость интегрального показателя к нулю говорит об относительной социально-экономической неустойчивости изучаемой территории.

Соответственно предлагаемой шкале, выделены зоны, характеризующие уровень устойчивости социально-экономического развития муниципальных образований:

- от «-5,0%» до «+5,0%» – «зона относительной неустойчивости социально-экономического развития»;
- от «+5,0%» до «+15,0%» – «зона, близкая к устойчивому социально-экономическому развитию»;
- от «+15,0%» до «+25,0%» – «зона устойчивого социально-экономического развития»;
- от «+25,0%» и выше – «зона благоприятного социально-экономического развития»;
- от «-5,0%» до «-15,0%» – «зона предкризисного социально-экономического развития»;
- от «-15,0%» до «-25,0%» – «зона кризиса»;
- от «-25,0%» и ниже – «зона глубокого кризиса».

С целью апробации методики в качестве частных показателей были выделены следующие: уровень убытия населения в % к общему населению муниципального образования (сельского поселения); доля населения МО (СП) с заработной платой ниже прожиточного минимума (в%); уровень общей безработицы от всего трудоспособного населения МО (СП) (в%); доля зарегистрированных предпринимателей в общей численности трудоспособного населения МО (СП) в %; коэффициент демографического замещения (доля детей в численности людей пенсионного возраста) в МО (СП), в %.

Для 7 сельских поселений Базарнокарабулакского муниципального образования Саратовской области, был произведён расчёт сводного интегрального показателя. Результаты расчёта представлены в таблице.

Так, Большечучуйское и Свободинское сельские поселения со сравнительным интегральным показателем, равным -2%, относятся к зоне относительной неустойчивости социально-экономического развития.

При показателях сравнительного интегрального показателя – 16% в Алексеевском сельском поселении социально-экономическое развитие оценивается как кризисное, -40% в Липовском сельском поселении, социально-экономическое развитие оценивается как крайне неустойчивое, попадающее в зону глубокого кризиса.

Максимовское сельское поселение со сравнительным интегральным показателем +13%, попадает в зону, близкую к устойчивому социально-экономическому развитию, а Вязовское СП со значением +19%, относится к зоне устойчивого социально-экономического развития. В зону благоприятного социально-экономического развития попадает Базарнокарабулакское СП со значением сравнительного интегрального показателя +59%.

Результаты расчёта сравнительного интегрального показателя

Частный показатель	Сельские поселения						
	Алексеевское	Базарно-карабулакское	Большечучуйское	Вязовское	Липовское	Максимовское	Свободинское
Уровень убытия населения, в % к общему населению МО (СП)	0,57	0,1	0,98	0,3	-0,1	2,2	0,4
Доля населения МО (СП) с заработной платой ниже прожиточного минимума, в %	1,8	3,14	2,07	3,4	5,09	1,69	17,7
Уровень общей безработицы от всего трудоспособного населения МО (СП), в %	15,4	4,24	13,1	4,7	23,2	4,84	2,4
Доля зарегистрированных предпринимателей в общей численности трудоспособного населения МО (СП) в %	0,8	11,4	3,62	1,4	0,79	4,21	0,99
Коэффициент демографического замещения (доля детей в численности людей пенсионного возраста) в МО (СП), в %	54,5	55,5	58,1	51,5	58,9	50,9	55,3
Сравнительный интегральный показатель (СИП), в %	-16	+59	-2	+19	-40	+13	-2

Преимуществами предлагаемой методики, на наш взгляд, являются следующие:

- 1) Простота расчетов (простота методики может быть отражена в таблицах Excel и использоваться руководителями в режиме реального времени).
- 2) Учет прямых и обратных показателей
- 3) Возможность выбора и изменения состава частных показателей для каждого соответствующего периода развития сельского поселения и может быть для типов муниципальных образований
- 4) Расчеты ведутся в Excel, изменение каждого частного показателя, влияющего на итоговое значение сравнительного интегрального показателя, может быть отражено в программе, и показывать, какой частный показатель выходит за пределы порогового значения. Это даст наглядную картину социально-экономического положения конкретного муниципального образования (сельского поселения) в режиме реального времени.
- 5) Критическая величина некоторых экономических показателей устойчивости на определенной территории не всегда означает ситуацию полного краха социально-экономической сферы. Она, прежде всего, свидетельствует о необходимости оперативного вмешательства органов управления с целью изменения опасных тенденций.

Расчет сравнительного интегрального показателя по предлагаемой методике позволяет дать комплексную оценку социально-экономического положения сельских поселений любого муниципального образования, провести сравнительный анализ каждого муниципального образования и выработать конкретные меры по устойчивому развитию сельских территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистические методы расчета устойчивости развития сельских территорий / В.В. Герасимова, В.Н. Титаев, А.В. Мендель, Н.П. Фадеева // Роль государственной статистики в оценке соци-

ально-экономического развития регионов: сб. материалов науч.-практ. конф. Саратов, апрель 2013 г. Саратов, 2013. С. 5-7.

2. Концепция устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2010 г. № 2136-р) // <http://www.mcx.ru/documents/document/show/14914.77.htm>

3. Аяцков Д.Ф. Управление устойчивым развитием сельских территорий: учеб. пособие / Д.Ф. Аяцков, В.В. Герасимова, В.Н. Титаев. Саратов: Поволж. ин-т управления имени П.А. Столыпина, 2013. Ч. 1. С. 138.

4. Указ Президента Российской Федерации от 29.04.1996 г. № 608 «О Государственной стратегии экономической безопасности Российской Федерации (Основные положения)»

Мендель Анна Владимировна –
кандидат экономических н.наук, доцент кафедры
«Математика и статистика» Поволжского
института управления имени П.А. Столыпина

Anna V. Mendel –
Ph. D., Associate Professor
Department of Mathematics and Statistics
Volga Institute of Management named by Stolypin

Фадеева Наталья Петровна –
кандидат педагогических наук, доцент кафедры
«Математика и статистика» Поволжского
института управления имени П.А. Столыпина

Nataliya P. Fadeeva –
Ph. D., Associate Professor
Department of Mathematics and Statistics
Volga Institute of Management named by Stolypin

Статья поступила в редакцию 12.10.13, принята к опубликованию 15.12.13

УДК 338

С.А. Плотникова

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЛОГОВОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Статья посвящена проблемам дальнейшего развития системы налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий в РФ через введение специального налогового режима налогообложения инновационной деятельности и развития инвестиционного налогового кредитования, а также вопросам оценки эффективности такого стимулирования.

Инновационная деятельность, предприятие, налоговое стимулирование, специальный налоговый режим, инвестиционный налоговый кредит, эффективность

S.A. Plotnikova

ASSESSMENT ISSUES OF TAX STIMULATION EFFECTIVENESS REGARDING INNOVATION ACTIVITIES AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

The article is devoted to the problems of further development of the tax incentives system for innovation activities at enterprises in the Russian Federation through introduction of a special tax regime for innovation activity and development of the investment tax credit, as well as the issues of effectiveness evaluation of these incentives.

Innovative activity, enterprise, tax incentives, special tax treatment, investment tax credit, efficiency

Несмотря на значительные усилия, предпринимаемые со стороны государства в последние годы по стимулированию инновационной деятельности (существенное увеличение финансирования фундаментальной науки, введение новых налоговых льгот для субъектов инновационной деятельности, принятие законодательства о технико-внедренческих зонах, реализацию мега-проекта «Сколково», расширение мер поддержки малого инновационного бизнеса и т.д.) существенных результатов добиться не удалось, инновационная активность российских предприятий остается низкой по сравнению с ведущими странами. Это наглядно отражено в табл. 1 и 2 [1, 2].

Таблица 1

Показатели инновационной активности предприятий РФ в 2009, 2011 гг.

Категория бизнеса / Наименование показателя	Доля предприятий, осуществлявших технологические инновации в отчетном году, в общем числе обследованных предприятий		Доля инновационных товаров, работ, услуг, в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг предприятий, %		Затраты на технологические инновации предприятий, млн. руб.	
	2009	2011	2009	2011	2009	2011
Малый бизнес	4,1	5,1	1,38	1,48	6793,5	9479,3
Средний и крупный бизнес	7,7	8,9	4,5	6,3	399122,0	733816,0

Таблица 2

Показатели инновационной активности предприятий ЕС, занятых в производственном секторе и секторе услуг, осуществлявших технологические и нетехнологические инновации в период 2008-2010 гг.

Категория бизнеса / Наименование показателя	Доля предприятий, осуществлявших инновации, в общем числе предприятий, %	Доля выручки предприятий, осуществлявших инновации, в общей выручке предприятий, %	Доля занятых на предприятиях, осуществлявших инновации, в общей численности занятых, %
Производственный сектор	66,0	90,8	82,4
Сектор услуг	55,9	71,1	73,8
Предприятия всех категорий			
Малый бизнес	54,8	61,8	57,3
Средний бизнес	76,2	81,8	78,3
Крупный бизнес	85,2	83,4	85,8
Всего	59,5	78,0	77,2

Одной из важнейших составляющих системы господдержки инновационной сферы является налоговое стимулирование. Преимущества данного метода давно доказаны международным опытом и в рамках данной статьи мы не будем на них останавливаться.

В нашей стране до сих пор применяемые методы налогового регулирования являются недостаточно действенными, хотя, начиная с 90-х годов прошлого века налоговым законодательством предусматривался ряд различных льгот и преференций для субъектов инновационной деятельности. Перечислим ключевые из них:

- с 1 января 2009 года начал действовать порядок, в соответствии с которым налогоплательщик вправе расходы на НИОКР включать в затраты с повышающим коэффициентом 1,5,
- принят закон, направленный на повышение эффективности государственных программ
- предусмотрено совершенствование амортизационной политики, в частности, Росстат осуществляет разработку новой версии классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы,
- совершенствуется порядок предоставления отсрочки (рассрочки) по уплате налога и инвестиционного налогового кредита, практика показывает, что принятые меры не увеличили доступности такой отсрочки для налогоплательщиков.

Казалось бы, использован достаточно широкий спектр налоговых инструментов, однако существенного эффекта достигнуть не удалось, в основе этого лежит целый комплекс причин, ключевыми из которых, по мнению автора статьи, являются:

- наличие в российской экономике значительного теневого сектора, не уплачивающего никаких налогов, поэтому для российского бизнеса инструменты налогового воздействия, безусловно, важны, но не столь значимы, как для инновационно-развитых стран с устоявшейся налоговой системой;
- предлагаемые меры налоговой поддержки носят несистемный характер и распределены по разным главам Налогового Кодекса;
- в налоговом законодательстве отсутствуют четко сформулированные понятия «инновационная деятельность», «субъект инновационной деятельности», что затрудняет их понимание, как со стороны налогоплательщиков, так и со стороны налоговых органов;
- налоговые органы не заинтересованы в предоставлении каких-либо льгот налогоплательщиков, поскольку их главной задачей является реализация фискальной функции, а не стимулирование инновационной деятельности.

Для преодоления ряда указанных проблем высказывалась и обосновывалась идея о введении специального налогового режима налогообложения инновационной деятельности [3, 4].

Данная идея заключалась в том, чтобы выделить инновационную деятельность в качестве специального объекта налогообложения и выделить две группы налогоплательщиков:

1) субъекты инновационной деятельности (предприятия, организации, осуществляющие инновационную деятельность, но выручка от которой составляет менее 70% от объема общей выручки);

2) специализированных субъектов инновационной деятельности (предприятия, организации, выручка от инновационной деятельности которых составляет более 70% от объема общей выручки).

Соответственно, предлагалось и два способа налогообложения:

– для неспециализированных субъектов – выделение прибыли от инновационной деятельности из общей массы, и обложение ее по более низким ставкам;

– для специализированных субъектов – применение принципа упрощенной системы налогообложения, но, опять же, с применением более низких ставок налогообложения, иным составом расходов, учитывающим специфику инновационной деятельности, а так же, предусмотрение механизма возврата НДС для потребителей продукции и услуг специализированных субъектов инновационной деятельности, о чем будет сказано далее.

Следует подчеркнуть, что ставки налогообложения должны быть не номинально, а существенно ниже обычных с тем, чтобы стимулировать субъектов инновационной деятельности, во-первых, официально отражать таковую, а, во-вторых, развивать ее.

Преимуществами предлагаемого налогового режима являются:

– повышение статуса инновационной деятельности, как специального объекта налогообложения, что должно стать значительным мотивирующим моментом для участников инновационного процесса;

– концентрация всех налоговых инструментов стимулирования инновационной деятельности (кроме инвестиционного налогового кредита) в одном разделе Налогового Кодекса, что облегчает понимание предоставляемых льгот, как налогоплательщиками, так и налоговыми органами;

– прописывается роль регионов в реализации данного инструмента, что расширяет их возможности в области инновационной политики;

– реальное снижение нагрузки для субъектов инновационной деятельности, что позволяет сформировать им дополнительные инвестиционные ресурсы для инвестирования в инновации, следует четко осознавать, что предоставление льгот по основному корпоративному налогу – налогу на прибыль является более существенным, чем единичные льготы по элементам других налогов;

– рассматриваемый режим предусматривает механизма возмещения рассчитанной суммы НДС потребителям продукции и услуг специализированных субъектов инновационной деятельности, которые, при этом, не являются его плательщиками, эта мера в значительной степени снижает недостатки упрощенной системы налогообложения, предусмотренной для обычных плательщиков;

– предлагаемый налоговый режим является действенным инструментом повышения инновационной активности малого бизнеса, являющегося одним из ключевых генераторов инновационных идей и разработок;

– специальный налоговый режим, в определенной степени, дисциплинирует субъектов инновационной деятельности, поскольку побуждает их к заполнению необходимых форм статистической отчетности, учету и отображению результатов и затрат от инновационной деятельности.

Безусловно, введение данного режима сопряжено с целым рядом трудностей.

Во-первых, предоставление любых льгот по налогам связано с выпадением определенных сумм доходов бюджетом различных уровней, на что крайне болезненно реагирует Правительство РФ, в первую очередь Министерство финансов. По этому поводу хотелось бы заметить следующее, приведенные выше цифры удельного веса инновационно-активных организаций, а так же выручки от инновационной деятельности в общей массе наглядно свидетельствуют о том, что такое выпадение, по крайней мере, на первых порах, не будет столь масштабным. Затем должен проявиться налоговый эффект от стимулирования инновационной деятельности в виде роста налоговых поступлений от дополнительно полученной прибыли, роста дохода работников, дополнительно введенного имущества. Кроме того, не будем забывать, что существуют определенные резервы за счет корректировки налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ) и введения разумной (не более 25%) прогрессивной ставки для сверхдоходов, обложение которых в настоящее время не соответствует фундаментальным принципам налоговой справедливости и эффективности.

Во-вторых, в настоящее время отсутствует специальный Федеральный закон, где были бы прописаны основные понятия в сфере инновационной деятельности. Вместе с тем, каждый регион Российской Федерации имеет собственное законодательство, посвященное инновационной сфере.

Для того, чтобы воспользоваться специальным режимом налогообложения, субъекты инновационной деятельности должны в установленные сроки встать на учет в налоговом органе, предоставив соответствующую справку их органа управления инновационной деятельностью региона. Последний, предоставляет такую справку при наличии заполненных форм статистического наблюдения за инновационной деятельностью, иных документов, предусмотренных региональным инновационным законодательством и нормативными актами.

В-третьих, для предоставления условий специального режима неспециализированным субъектам инновационной деятельности необходимо, чтобы последние вели отдельный учет затрат и выручки от инновационной деятельности, что не предусмотрено действующей финансовой отчетностью. Кроме того, существует опасение нецелевого использования (не на инновационное развитие) средств, полученных от снижения налоговой нагрузки. Безусловно, потребуются изменение и дополнение форм финансовой отчетности для субъектов инновационной деятельности. Необходимо внести соответствующие поправки в отчет о прибылях и убытках, предусмотреть специальную форму приложения к балансу, раскрывающую результаты и затраты инновационной деятельности, которые должны коррелировать с соответствующими статистическими данными. Что касается возможности нецелевого использования средств, полученных в результате снижения налоговой нагрузки, то государство не может заставить собственников и менеджмент негосударственных предприятий стремиться к повышению конкурентоспособности и эффективности на основе инноваций, а лишь создает условия для стимулирования инновационного развития.

Эффективным, но недоиспользованным инструментом налогового стимулирования является инвестиционный налоговый кредит (ИНК), заключающийся в предоставлении рассрочки по уплате налога на прибыль и региональных налогов. Ряд субъектов Российской Федерации приняли на своей территории специальные законопроекты об инвестиционном налоговом кредите и в целом это можно считать позитивным. Существуют объективные предпосылки для появления такого законопроекта на территории Саратовской области. Тенденции развития в области инвестиционной и инновационной деятельности налицо: Саратовская область является достаточно инвестиционно-привлекательным регионом, на территории которого имеются достаточные ресурсы для инвестирования не только резидентами РФ, но и иностранными компаниями, что способствует развитию самого региона по всем экономическим параметрам. Несмотря на то, что на территории Саратовской области действует целый ряд законодательно-нормативных актов, поддерживающих инвесторов и субъектов инновационной деятельности, до сих пор детально не прописаны условия и необходимые документы для предоставления инвестиционного налогового кредита. Общие положения Налогового Кодекса не могут предусмотреть всей ситуации на региональном уровне и в него необходимо внести нормы, расширяющие полномочия регионов в данном вопросе. Исходя из исследования положительных моментов отечественного опыта, можно предполагать для Саратовской области обязательное наличие в законопроекте условий предоставления инвестиционного налогового кредита, отражающих социально-экономическое положение региона и добросовестность налогоплательщиков. Данным положением может регулироваться экономическая безопасность выдачи инвестиционных налоговых кредитов и возврат сумм по кредитам с начислением процентов. Законом Саратовской области следовало бы расширить временной промежуток времени срока предоставления кредита до 10 лет и рамки процентной ставки от, в связи с тем, что на территории области реализуются крупноформатные инвестиционные проекты, требующие значительных финансовых, трудовых и временных затрат. Таким образом, инвестиционная деятельность на территории Российской Федерации регулируется различными налоговыми инструментами – общим снижением налоговой нагрузки посредством снижения ставки налогов, предоставлением льгот отдельным налогоплательщикам. К сожалению, самым плохо законодательно разработанным из них является инвестиционный налоговый кредит, регламентация которого необходима в Саратовской области. Оценка эффективности использования такого инструмента стимулирования, по мнению автора статьи, должна исходить из следующих посылок. Предоставление ИНК повышает инвестиционные возможности субъектов инновационной деятельности, что в свою очередь должно привести к росту выручки за счет увеличения объемов производства и реализации продукции и (или) за счет предложения продукции более высокого качества по повышенной цене. При этом произойдет увеличение объема прибыли за счет эффекта масштаба (обуславливается наличием в затратах условно-постоянной части) и сокращения затрат по обслуживанию кредита (процент по банковскому кредиту выше, чем по ИНК). Кроме того, происходит увеличение притока амортизационных отчислений по приобретаемым основным средствам. Тогда эффективность предоставления ИНК с позиций хозяйствующего субъекта инновационной деятельности может быть определена по следующим критериям:

1) прирост чистого дисконтированного дохода по проекту (ЧДД (NPV)), рассчитываемый как:

$$\Delta \text{ЧДД (NPV)} = (\text{ЧДД (NPV)}_2 - \text{ЧДД (NPV)}_1) > 0,$$

где ЧДД (NPV)1, ЧДД (NPV)2 – чистый дисконтированный доход от реализации инвестиционного проекта, соответственно до и после предоставления ИНК, руб.

В свою очередь ЧДД (NPV)2 может быть рассчитан как

$$\text{ЧДД}_2 = \sum_{t=1n}^{tk} (B_{2t} - \frac{B_{2t}}{B_{1t}} - S_{непт} - S_{носмт} - S_{нт} + \Delta S_{от} + A_t) * Kgt - \sum_{t=1n}^{tk} (I_{2t}) * Kgt$$

где B_{1t}, B_{2t} – сумма выручки по годам реализации проекта до и после предоставления ИНК, руб., $S_{непт}$ – переменная часть затрат по годам реализации проекта, руб., $S_{носмт}$ – условно-постоянная часть затрат по годам реализации проекта, руб., $S_{нт}$ – сумма платежей по ИНК по годам реализации проекта, руб., $\Delta S_{от}$ – снижение платежей по рассчитанному банковскому кредиту и ИНК по годам реализации проекта, руб., A_t – дополнительный приток амортизационных отчислений по годам реализации проекта, руб., I_{2t} – сумма инвестиций по годам реализации проекта после предоставления ИНК, руб., Kgt – коэффициент дисконтирования, который рассчитывается как

$$Kgt = \frac{1}{(1 + \frac{Eg}{100})^t},$$

где Eg – ставка дисконтирования, %;

2) увеличение индекса доходности проекта $ИД(PI)$

$$ИД(PI)2 / ИД(PI)1 > 1,$$

где $ИД(PI)2, ИД(PI)1$ – индексы доходности проекта до и после предоставления ИНК.

При этом $ИД(PI)2$ рассчитывается как:

$$ИД_2 = \frac{\sum_{t=1n}^{tk} (B_{2t} - \frac{B_{2t}}{B_{1t}} - S_{непт} - S_{носмт} - S_{нт} + \Delta S_{от} + A_t) * Kgt}{\sum_{t=1n}^{tk} (I_{2t}) * Kgt}$$

3) сокращение срока окупаемости проекта $Ток (PB)$

$$Ток (PB)1 > Ток (PB)2,$$

где $Ток (PB)1, Ток (PB)2$ – сроки окупаемости проекта до и после предоставления ИНК. Расчет $Ток (PB)2$ осуществляется по формуле:

$$\sum_{t=1n}^{T_{ок}} (B_{2t} - \frac{B_{2t}}{B_{1t}} - S_{непт} - S_{носмт} - S_{нт} + \Delta S_{от} + A_t) * Kgt = \sum_{t=1n}^{T_{ок}} (I_{2t}) * Kgt$$

С позиций государства эффект от предоставления ИНК будет выражаться в последующем росте налоговых поступлений за счет расширения налоговой базы при успешной реализации инвестиционного проекта: – выручки и соответственно прибыли (налог на прибыль); – имущества предприятия (налог на имущество организаций, транспортный, земельный налог); – доходов работников (налог на доходы физических лиц). Тогда бюджетный эффект от предоставления ИНК можно оценить по формуле:

$$Б = \sum_{t=1n}^{tk} ((H_{it} + C_{нкт}) - (П_{jt})) * Kgt$$

где H_{it} – дополнительные поступления по i -м видам налогов по годам реализации проекта, руб., платежи по ИНК по годам реализации проекта, руб., $П_{jt}$ – потери по j -м видам налогов (по которым предоставлялся ИНК) по годам реализации проекта, руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наука и инновации [Электронный ресурс]. Москва: Росстат. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/# (дата обращения: 12.09.2013).
2. Инновационная активность МСП в России и Евросоюзе и факторы ее развития http://www.nisse.ru/business/article/article_2085.html (дата обращения: 12.09.2013).
3. Плотников А.П. Современные проблемы и подходы к стимулированию инновационной деятельности / А.П. Плотников. Саратов: СГТУ, 2005. 123 с.
4. Абиева С.А. Налоговые инструменты повышения инновационной активности бизнеса // Современные проблемы экономики и управления инновациями: монография / С.А. Абиева, С.А. Плотникова, Э.А. Барсегян и др.; под общей ред. проф. О.Ю. Гордашниковой. Саратов: КУБиК, 2013. 321 с.

Плотникова Светлана Александровна – аспирант кафедры «Прикладная экономика и управление инновациями» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Svetlana A. Plotnikova – Postgraduate Department of Applied Economics and Innovations Management, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 25.11.13, принята к опубликованию 10.12.13

УДК 004.05

А.Н. Плотников, Д.А. Плотников, И.А. Опанасенко

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СТАНДАРТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Статья посвящена проблеме качества технологии разработки программного продукта и его оценки, созданию новых стандартов, методик и методологий оценки качества программных продуктов.

Программное обеспечение, технологии и процесс разработки программного продукта, методики модернизации, стандарты ISO-9001 и SPICE

A.N. Plotnikov, D.A. Plotnikov, I.A. Opanasenko

THE EXISTING STANDARDS OF QUALITY ASSESSMENT TECHNOLOGIES SOFTWARE DEVELOPMENT

The article is devoted to the problem of the quality of technology of software development and its evaluation, the creation of new standards, practices and methodologies for the assessment of quality of software products.

Software, technologies and the process of software development, methods of modernization, ISO-9001 and SPICE

Каждый программный продукт имеет определенные характерные черты и особенности, которые обеспечивают преимущества той или иной программы.

Вследствие этого, для обеспечения требуемого качества и достоверности конечного результата необходимо осуществлять выбор программного продукта в соответствии с поставленными целями и задачами исследования.

В этой связи становится актуальной проблема качества технологии разработки программного продукта и его оценки.

Существуют различные подходы к процессу обеспечения требуемого качества программного обеспечения, каждый из которых имеет те или иные преимущества.

Одной из основных моделей обеспечения качества программных продуктов являются стандарты ISO-9000, выпускаемые с 1987 года. Несмотря на то, что данные стандарты сохраняют свою распространенность и универсальность и имеют всемирное признание, методики, заложенные в основу стандартов этой серии, имеют некоторые недостатки, перечисленные на рис. 1.

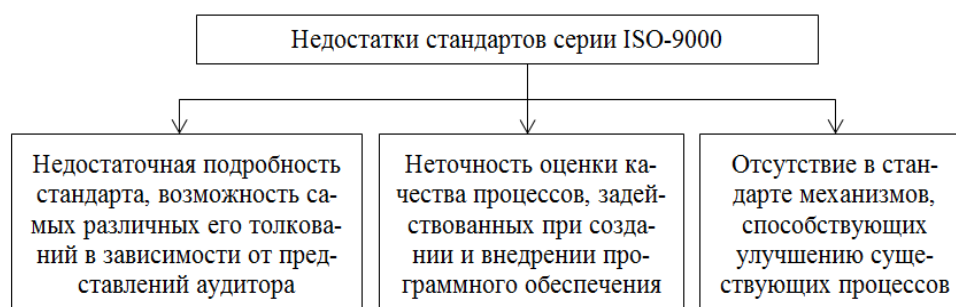


Рис. 1. Основные недостатки стандартов серии ISO-9000

Наличие у стандартов серии ISO-9000 недостатков, представленных на рисунке 1, стало предпосылкой к разработке более совершенных решений в сфере обеспечения и оценки качества программного обеспечения – созданию новых стандартов, методик и методологий оценки качества программных продуктов. Разработано несколько довольно развитых методик, но наиболее содержательными из них являются стандарты Capability Maturity Model (CMM) и ISO/IEC 15504 (SPICE).

В качестве главной цели при разработке стандарта CMM рассматривалось создание методологии, которая позволяла бы организациям осуществлять выбор наилучшего поставщика программного обеспечения. Данная цель была реализована за счет создания исчерпывающего описания способов оценки качества технологии и процесса разработки программного продукта и методик их модернизации.

Данный стандарт включает критерии зрелости организации и способы усовершенствования текущих процессов. Этот факт принципиально отличает данный стандарт от модели, которая принята в ISO-9000, поскольку в последней описаны только условия, которые требуются при достижении минимума организованности процесса разработки программного обеспечения, и не даны никакие рекомендации по их совершенствованию.

Однако при использовании стандарта CMM существуют некоторые ограничения, представленные на рис. 2.

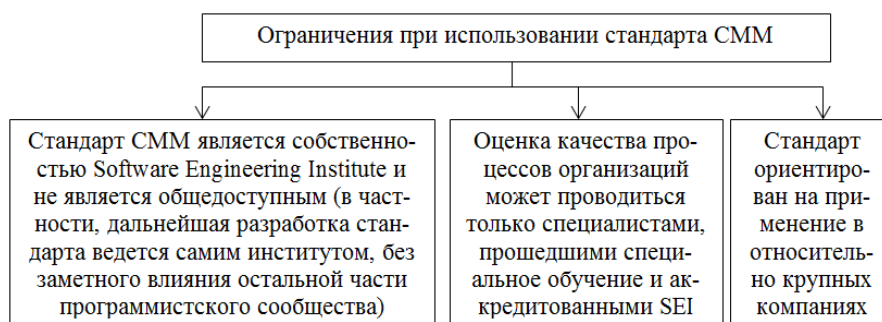


Рис. 2. Ограничения при использовании стандартов CMM

Стандарт SPICE разработан с целью создания международного стандарта, главной задачей которого является агрегирование накопленного опыта в сфере разработки и оценки качества программного обеспечения. Основные предшественники данного стандарта перечислены на рис. 3.

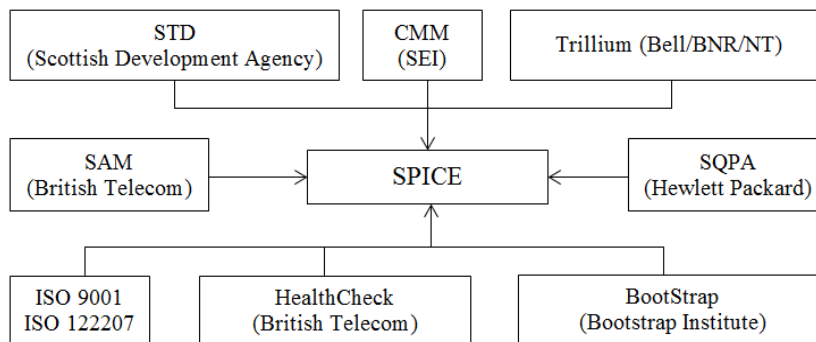


Рис. 3. Стандарты, использованные при разработке SPICE

Бесспорными преимуществами стандарта SPICE являются его открытость и возможность свободного распространения. Сравнительный анализ стандартов SPICE и ISO-9001, представленный в таблице, показывает, что в стандарте SPICE рассматривается более подробный и полный набор средств, направленных на обеспечение качества и улучшение процессов разработки программного обеспечения, чем в ISO-9001.

Вследствие этого с целью обеспечения необходимого качества технологий разработки программного обеспечения целесообразнее применять стандарт SPICE. Это позволит предприятиям не только усовершенствовать существующие процессы, но и получить возможность приобрести сертификат ISO-9001.

Как CMM, так и SPICE начинали свое функционирование как средство для выбора лучшего поставщика и разработчика программного обеспечения. Однако, с течением времени, данные модели качества из исследовательских разработок превратились в полноценные международные стандарты оценки качества технологий разработки программного обеспечения.

Сравнительный анализ стандартов SPICE и ISO-9001

Характеристика	SPICE	ISO-9001
Объем	Объемный и подробный документ	Краткий документ
Степень детализации	Детальная модель	Абстрактная модель
Содержание	Улучшение процесса разработки программного обеспечения и определение возможностей	Только сертификация
	Шесть уровней возможностей процесса разработки программного обеспечения	Сертификация/отказ
	Требования к оценке качества процесса разработки программного обеспечения, руководство по применению	Только модель
Взаимосвязь с другими стандартами	Дополняет ISO-9001	Может быть детализирован с помощью SPICE

Поэтому сегодня они являются хорошо развитыми моделями качества, которые нашли свое практическое применение. Это свидетельствует о том, что рассмотренные стандарты стали достаточно серьезной альтернативой стандартам ISO серии 9000, привлекающей большее количество пользователей за счет своих возможностей усовершенствования и модернизации сертифицируемых процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление инновационной деятельностью на основе информационных технологий / О.А. Горленко, В.В. Мирошников, В.И. Галкин, И.В. Федоров, А.В. Шевелев. М.: Машиностроение-1, 2007. 155 с.
2. Яковец Ю. Перестройка структуры научно-технического потенциала / Ю. Яковец // Вопр. экономики. 1986. Т. 6. С. 33.

Плотников Анатолий Николаевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экономика и управление инновациями» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anatoly N. Plotnikov – Dr. Sc., professor, Head of the Department of Applied Economics and Management of Innovation Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Плотников Денис Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика предприятий, инженерная экономика и логистика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Denis A. Plotnikov – Ph.D., Associate Professor Department Business Economics, Engineering Economics and Logistics Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Опанасенко Игорь Александрович – студент кафедры «Экономика предприятий, инженерная экономика и логистика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor A. Opanasenko – student Department Business Economics, Engineering Economics and Logistics Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 25.11.13, принята к опубликованию 10.12.13

УДК 336.012.24

О.Ю. Рыжков, Л.К. Бобров

ТАРИФИКАЦИЯ ДОГОВОРА СТРАХОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО АКТУАРНОГО БАЗИСА

Предложен численный алгоритм определения размера страхового тарифа по договору страхования на основе обобщенного актуарного базиса. При помощи компьютерного моделирования установлено, что, по крайней мере, для некоторых

типичных страховых рисков как в страховании жизни, так и в страховании ином, чем страхование жизни, результаты, полученные с применением предложенного алгоритма, согласуются с результатами, полученными при помощи общепринятых методик.

Страховые тарифы, актуарные расчеты, моделирование, алгоритмизация

O.Yu. Ryzhkov, L.K. Bobrov

PRICING INSURANCE USING THE GENERALIZED ACTUARIAL RATE

The article offers a numerical algorithm for the premium determination of the insurance contract based on the generalized actuarial rate. Using the computer simulation it was established that, at least, for some typical insurance risks both in life insurance and other types of insurance, the results received by means of the offered algorithm, perfectly agree with the results received using the standard techniques.

Insurance tariffs, actuarial calculations, modeling, algorithmization

Постановка задачи

Как показано в [1, 2], между договорами страхования жизни и договорами страхования ином, чем страхование жизни («общее страхование», страхование «не-жизни», non-life insurance – в дальнейшем будем именовать его общим страхованием), не существует принципиальных правовых и экономических различий, что делает возможным синтез актуарных подходов, применяемых к этим классам договоров. В [1, 2] предложен обобщенный актуарный базис договора страхования, который применим для описания обоих классов договоров страхования.

Практическое значение всякого актуарного базиса, очевидно, заключается в том, что на его основе с применением актуарных методов рассчитываются страховая премия по договору страхования, страховые резервы, дается оценка финансовой устойчивости и определяется потребность в собственных средствах для обеспечения требуемой вероятности неразорения, рассчитывается бюджет страховщика [3]. Ключевой задачей при этом, без сомнения, является определение суммы страховой премии (тарификация договора страхования).

Существующие подходы к определению страховой премии в страховании жизни и в общем страховании значительно различаются между собой [4-6], и их адаптация к обобщенному актуарному базису вряд ли возможна. Таким образом, возникает задача разработки самостоятельного подхода к тарификации договоров страхования на основе обобщенного актуарного базиса.

Потребуем, чтобы разработанный подход основывался на обобщенном актуарном базисе, обеспечивал тарификацию договоров как страхования жизни, так и общего страхования, и при этом полностью и с наименьшими искажениями использовалась бы информация, содержащаяся в актуарном базисе. Последнее особенно важно, если учесть, что известные подходы к тарификации зачастую используют аппроксимацию закона распределения суммы убытка, а также его редукцию к моментам распределения, не учитывают вариации сумм расходов на ведение дела и т.п.

В данной статье мы будем рассматривать задачу формирования базовой страховой премии, то есть страховой премии без учета деления риска. Задача учета деления риска в страховой премии достаточно обширна, имеет самостоятельное значение и потому является темой отдельного исследования. Аналогично в настоящей статье не рассматривается проблема оценивания показателей, составляющих обобщенный актуарный базис. Указанные аспекты ранее частично нашли отражение в [7].

Алгоритм тарификации на основе обобщенного актуарного базиса

Задача заключается в том, чтобы при определенных выше условиях договора страхования найти сумму страховой премии V , которая с заданной вероятностью \mathcal{U} не превысит сумму страховых выплат и прямых расходов по портфелю из N договоров с учетом изменения стоимости денег во времени. Такая постановка задачи, как можно видеть, является обобщением стандартных постановок задачи определения страховой премии для договора страхования жизни и для договора общего страхования.

Поскольку многие функции и законы распределения в составе обобщенного актуарного базиса заранее неизвестны и, по существу, могут оказаться любыми, то универсальным будет являться решение, основанное на применении численных методов.

Решение строится с учетом принципа эквивалентности и использует приведение потоков денежных средств к одному моменту времени, в качестве которого предлагается рассматривать момент

заключения договора страхования. Выбор момента заключения договора страхования в качестве точки отсчета продиктован содержательными соображениями. Все существенные условия договора должны быть согласованы сторонами при заключении договора, поэтому для целей анализа условий договора как страховщиком, так и страхователем необходимы модели, представляющие условия договора страхования на момент его заключения. Для расчета будем использовать стационарный страховой портфель, то есть такой портфель, количество договоров в котором не изменяется с течением времени. Модель стационарного страхового портфеля используется, например, в [6]. В перспективе предложенный алгоритм после некоторых усовершенствований может быть использован для тарификации нестационарного страхового портфеля.

Введем понятие приведенной страховой премии:

$$\hat{V}^{(qr)} = \sum_{t=t_1}^{t_2} \frac{V^{(qr)}_t}{(1+i)^t} \equiv \hat{V}(V^{(qr)}, t_1, t_2, i, \dots).$$

Здесь $\hat{V}^{(qr)}$ – приведенная страховая премия по r -му договору из q -го портфеля; $V^{(qr)}_t$ – страховой взнос по r -му договору из q -го портфеля в t -м периоде, рассчитываемый по функции страховых взносов, заданной в актуарном базисе, $V^{(qr)} = \sum_{t=t_1}^{t_2} V^{(qr)}_t$; $[t_1; t_2]$ – период уплаты страховых взносов, заданный актуарным базисом; i – ставка доходности, заданная актуарным базисом.

Соответственно, сумму страховой премии V без учета фактора времени будем именовать номинальной.

Будем полагать, что существует обратная функция, позволяющая определить $V^{(qr)}$ по известному $\hat{V}^{(qr)}$: $V^{(qr)} = \hat{V}^{-1}(\hat{V}^{(qr)}, t_1, t_2, i, \dots)$. Для практически применимых случаев линейной зависимости $v^{(qr)}_t$ от $V^{(qr)}$ такая обратная функция, очевидно, существует.

Например, при наиболее распространенном в практике случае равномерной функции страховых взносов (k взносов с периодичностью 1 взнос в p периодов, $v^{(qr)}_t = V^{(qr)}/k = const$):

$$\hat{V}^{(qr)} = \frac{V^{(qr)}}{k} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{1}{(1+i)^{t_1+(j-1)p}} = \frac{V^{(qr)}}{k} \cdot \frac{1}{(1+i)^{t_1+(k-1)p}} \cdot \frac{1 - (1+i)^{pk}}{1 - (1+i)^p}.$$

Отсюда очевидно:

$$V^{(qr)} = \frac{\hat{V}^{(qr)}}{k} \cdot \frac{1}{(1+i)^{t_1+(k-1)p}} \cdot \frac{1 - (1+i)^{pk}}{1 - (1+i)^p}.$$

Если выполнено условие существования указанной обратной функции, то задача сводится к нахождению приведенной страховой премии и определению на ее основе номинальной страховой премии.

Приведенная страховая премия находится из уравнения эквивалентности:

$$\hat{V}^{(qr)} = \hat{S}^{(qr)} + \hat{D}^{(qr)}.$$

Здесь $\hat{S}^{(qr)} = \sum_{\tau} \sum_{t=\tau+c^{(qr)}}^{\min\{\tau+c^{(qr)}+\delta^{(qr)}; t_5\}} \frac{S^{(qr\tau)}_t}{(1+i)^t}$ – приведенная сумма страховых выплат (аналогично

приведенной страховой премии), в которой τ – период, в котором наступил страховой случай; $c^{(qr)}$ – период отсрочки страховой выплаты для договора, определенный в соответствии с актуарным базисом; $\delta^{(qr)}$ – период рассрочки страховой выплаты для договора, определенный в соответствии с актуарным базисом; t_5 – период, в котором заканчивается срок действия договора страхования, определенный с учетом вероятного наступления отменительного события; $S^{(qr\tau)}_t$ – денежный платеж страховщика в t -м периоде по наступившему в момент τ страховому случаю, определяемый исходя из убытка $S^{(qr\tau)}$ по r -му договору из q -го портфеля в τ -м периоде в соответствии с функцией платежей по страховым выплатам, заданной актуарным базисом; убыток $S^{(qr\tau)}$ генерируется по методу Монте-Карло на основе функции распределения индивидуального убытка $P = F_S(t, S, U, Z \dots)$, заданной актуарным базисом; наступление страхового случая в момент τ определяется по методу Монте-Карло на основе интенсивности наступления страховых случаев $\lambda_{\tau}^{(L)}$, заданной актуарным базисом; $\hat{D}^{(qr)} = \sum_{t=0}^{t_5} \frac{D^{(qr)}_t}{(1+i)^t}$ – приведенные расходы страховщика по r -му договору из q -го портфеля; $D^{(qr)}_t$ – расходы страховщика по договору в t -м периоде, определяемые с помощью функции расходов, заданной актуарным базисом.

Вычисление последней из названных величин по методу Монте-Карло сопряжено с определенными трудностями. Практика страхования такова, что заметная часть расходов (в частности, агентское вознаграждение и взносы на социальное страхование с него, плата за инкассацию и перечисление страховых взносов,

прибыль, нормируемая от суммы страховой премии) зависит от номинальной величины страховой премии, которая на момент вычисления по предлагаемому методу расчета еще не известна. Использование же рекурсивных алгоритмов существенно увеличит время расчета. Разработка соответствующего вычислительного алгоритма представляет собой отдельную исследовательскую задачу.

Для обеспечения практической применимости алгоритма до решения этой задачи потребуется модифицировать обобщенный актуарный базис [1] следующим образом. Все слагаемые $D^{(qr)}_t$, в которых участвует $V^{(qr)}$, выделяются в самостоятельную группу. На эту группу налагаются следующие ограничения. Во-первых, слагаемые по этой группе должны зависеть не от номинальной страховой премии $V^{(qr)}$, а от $\hat{V}^{(qr)}$ – страховой премии, приведенной к моменту вступления в силу договора страхования. Такое требование представляется вполне уместным, поскольку при планировании расходов их всегда целесообразно сопоставлять к величине единовременной страховой премии, а она и есть $\hat{V}^{(qr)}$. Во-вторых, слагаемые расходов по этой группе должны быть связаны с $\hat{V}^{(qr)}$ не произвольной, а исключительно прямо пропорциональной зависимостью. Именно такого рода зависимость наиболее распространена в практике страхования (хотя, конечно же, существуют ступенчатые и иные нелинейные схемы вознаграждения агентов). В актуарном базисе указывается формула не общей суммы расходов по данной группе, а уровня расходов на единицу приведенной страховой премии.

Иными словами, в результате указанной модификации должны быть выделены группа 1 (расходы, не зависящие от $V^{(qr)}$) и группа 2 (расходы, зависящие от $V^{(qr)}$), причем

$$D^{(qr)}_t = (D_1^{(qr)})_t + (D_2^{(qr)})_t = (D_1^{(qr)})_t + (d_2^{(qr)})_t \cdot \hat{V}^{(qr)},$$

где $(d_2^{(qr)})_t$ – уровень расходов группы 2 в t -м периоде на единицу приведенной страховой премии.

Отсюда

$$\hat{D}^{(qr)} = \sum_{t=0}^{t_5} \frac{(D_1^{(qr)})_t + (d_2^{(qr)})_t \cdot \hat{V}^{(qr)}}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^{t_5} \frac{(D_1^{(qr)})_t}{(1+i)^t} + \hat{V}^{(qr)} \sum_{t=0}^{t_5} \frac{(d_2^{(qr)})_t}{(1+i)^t} \equiv \hat{D}_1^{(qr)} + \hat{V}^{(qr)} \cdot \hat{d}_2^{(qr)}.$$

Тогда условие эквивалентности примет вид:

$$\hat{V}^{(qr)} = \hat{S}^{(qr)} + \hat{D}_1^{(qr)} + \hat{V}^{(qr)} \cdot \hat{d}_2^{(qr)},$$

или

$$\hat{V}^{(qr)} = \frac{\hat{S}^{(qr)} + \hat{D}_1^{(qr)}}{1 - \hat{d}_2^{(qr)}} \equiv \hat{G}^{(qr)}.$$

Из условия однородности страховых портфелей следует, что общая сумма приведенных страховых премий по каждому портфелю одинакова и равна \hat{V} . просуммировав правую часть по r (то есть по договорам, включенным в портфель), то получим уравнение эквивалентности в следующем виде:

$$\hat{V} = \hat{G}^{(q)}.$$

Здесь $\hat{G}^{(q)} = \sum_{r=1}^R \hat{G}^{(qr)}$, где R – общее число договоров в портфеле.

Но величина $\hat{G}^{(q)}$ является случайной. Поэтому, поскольку страховая премия должна обеспечить достаточность средств страховщика с надежностью γ , то:

$$\hat{V} = \hat{G}^{(q)*} | [P(\hat{G}^{(q)*}) = \gamma]$$

Блок-схема численного алгоритма для нахождения закона распределения случайной величины $\hat{G}^{(q)}$ в табличной форме представлена на рис. 1. После того, как установлен закон распределения, правая часть уравнения находится линейной интерполяцией.

Если распределение $\hat{G}^{(q)}$ хорошо аппроксимируется нормальным законом с параметрами m и σ , то величина \hat{V} может быть найдена в аналитической форме:

$$\hat{V} = m + \Phi^{-1}(\gamma) \cdot \sigma,$$

где $\Phi^{-1}(\cdot)$ – обратная функция нормированного нормального распределения в интегральной форме.

Страховой тариф, соответственно, будет равен $\psi = \hat{V}/U_0$, где U_0 – средняя совокупная страховая сумма по портфелю. Страховая премия по одному договору составит $\Psi = \hat{V}/R$. Таким образом, задача сводится к нахождению закона распределения приведенных страховых выплат $\hat{G}^{(q)}$.

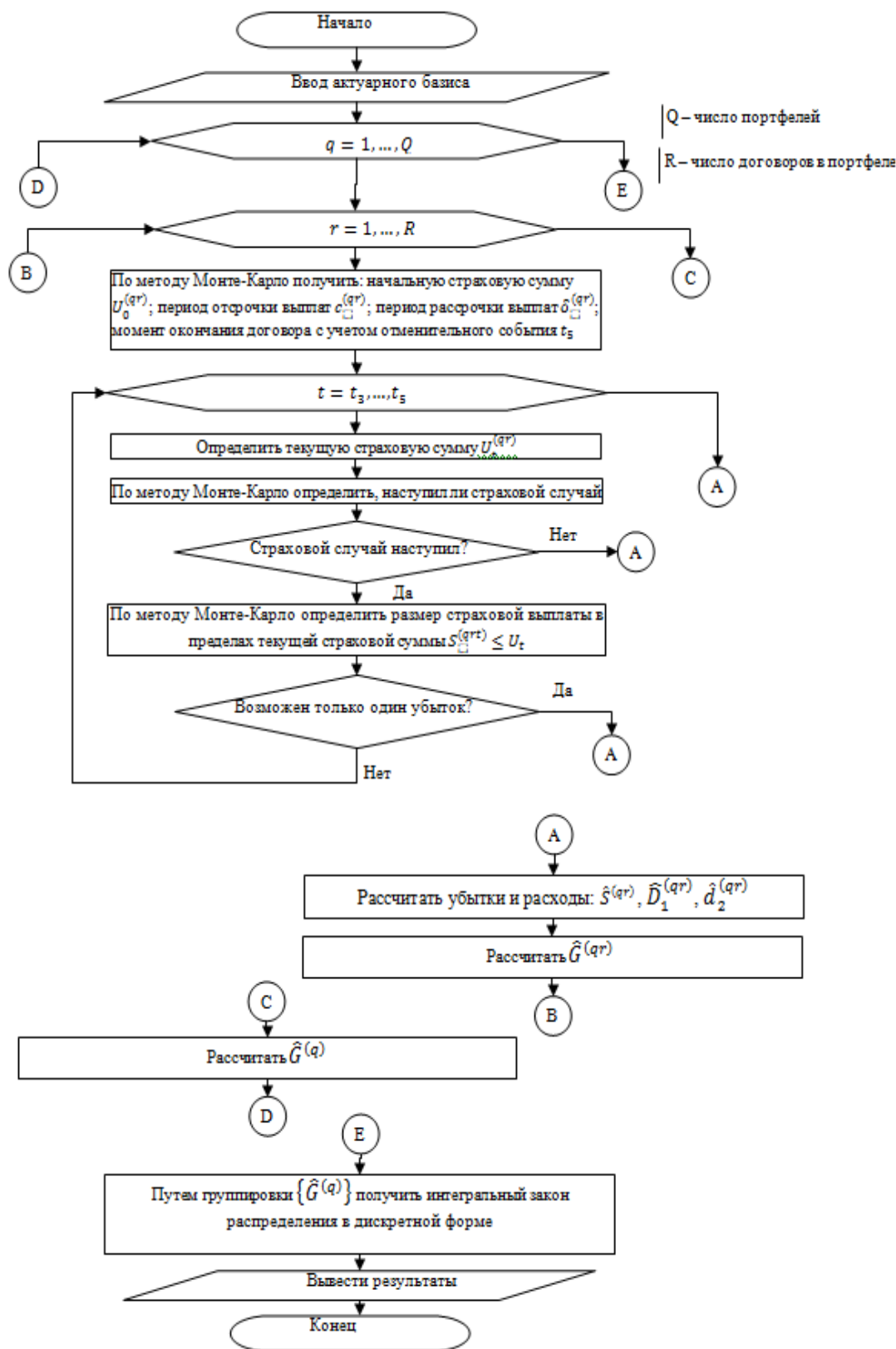


Рис. 1. Блок-схема алгоритма нахождения закона распределения приведенных выплат

В достаточно простых случаях предложенный алгоритм может быть приведен к уравнениям в аналитической форме. Вообще говоря, по мнению автора, аналитическое решение задач тарификации имеет скорее теоретическое значение (хотя и немалое), помогая формированию ясного представления о влиянии различных параметров на формирование страхового тарифа. Однако с развитием компьютерных технологий технически проще выполнять расчеты на ЭВМ. Здесь напрашивается аналогия с арифметическими действиями: правила арифметики и технику вычислений изучают все, но для практических расчетов всё же пользуются калькулятором.

Апробация

Для расчета страховых тарифов по предложенной методике разработано программное обеспечение на платформе 1С 8.2 [8]. Выбор платформы обусловлен необходимостью дальнейшей интеграции предлагаемой методики тарификации в систему учета и планирования деятельности страховой компании, а также достаточной степенью приспособленности платформы 1С 8.2 для решения сложных вычислительных задач. Разумеется, предлагаемый алгоритм может быть реализован и в любой другой программной среде.

Разработанная конфигурация 1С 8.2 поддерживает ввод и хранение данных обобщенного актуарного базиса, поддерживает как табличное, так и аналитическое задание функций. С использованием разработанной конфигурации выполнен расчет страховых тарифов по следующим страховым рискам:

1. Страхование жизни:
 - «Дожитие»;
 - «Смерть»;
 - «Выплата страховой ренты»;
2. Иное страхование:
 - «Пожар»;
 - «Повреждение транспортного средства».

Целью расчета являлось сравнение страховых тарифов по классической [4, 6] и предложенной методикам как в страховании жизни, так и в общем страховании. Поэтому тарифный базис выбран достаточно простым и не содержит условий, которые не могут быть учтены в расчете страховых тарифов по классическим методикам.

Подробное описание актуарного базиса и промежуточных результатов расчетов является достаточно громоздким и не может быть приведено в настоящей статье из-за недостатка места. Соответствующая информация представлена в сети Интернет на сайте <http://www.ryzhkov-insur.ucoz.ru>.

Для перечисленных выше страховых рисков произведено сравнение страховых тарифов, полученных по классической и предлагаемой методикам. Для этого с использованием метода Монте-Карло по описанному выше алгоритму, на основе актуарного базиса были сгенерированы 100 новых страховых портфелей по 100 договоров страхования в каждом, по каждому портфелю была определена общая сумма дисконтированных убытков по всем входящим в него договорам.

К каждому из страховых портфелей были последовательно применены страховые тарифы по классической и предлагаемой методикам, был рассчитан андеррайтерский результат (разность между суммой дисконтированных страховых премий и дисконтированных страховых выплат по портфелю). Вычислено математическое ожидание андеррайтерского результата.

Для страховых тарифов по классической и предлагаемой методикам определено число *убыточных* портфелей (портфелей с отрицательным андеррайтерским результатом), вычислена эмпирическая вероятность неразорения, равная доле портфелей, не являющихся убыточными.

Компьютерное моделирование выполнено в специальной конфигурации на платформе 1С 8.2, в разработанном для этой цели документе «Сравнение тарифов», реализующем указанный здесь алгоритм. Итоговые данные представлены в табл. 1.

Сравнение страховых тарифов по классической и предложенной методикам

Страховой риск	Запланированная гарантия безопасности	Классическая методика			Предлагаемая методика		
		страховой тариф, %	эмпирическая гарантия безопасности	математическое ожидание андеррайтерского результата по одному портфелю	страховой тариф, %	эмпирическая гарантия безопасности	математическое ожидание андеррайтерского результата по одному портфелю
Дожитие	0,5	36,1425	0,48	22 719	36,17	0,48	37 719
Смерть	0,5	3,78	0,54	9 971	3,76	0,54	-29
Дожитие с выплатой страховой ренты	0,5	284,41	0,46	2 545	284,63	0,5	13 545
Пожар	0,95	0,57	0,89	440 749	0,81	0,96	680 749
Повреждение транспортного средства	0,95	5,27	0,94	3 913 441	5,83	0,95	5 033 441

Для страховых рисков, относящихся к страхованию жизни, запланированная гарантия безопасности принята равной 0,5, поскольку классическая методика [6] определения страхового тарифа по страхованию жизни не предусматривает формирования рискованной надбавки.

Результаты расчетов показывают следующее:

1) во всех случаях эмпирическая гарантия безопасности, достигаемая при страховом тарифе по предлагаемой методике, не ниже, чем при страховом тарифе по классической методике;

2) в четырех случаях из пяти страховые тарифы по предлагаемой методике обеспечивают эмпирическую гарантию безопасности не ниже запланированной, тогда как классическая методика позволяет достичь соответствия эмпирической и планируемой гарантии безопасности только в трех случаях из пяти; данный факт объясняется возможностью учета в предлагаемой методике информации обо всем законе распределения, тогда как в классической методике используется только математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение.

Сходные результаты были получены, когда применялась более ранняя версия модели тарификации с использованием обобщенного актуарного базиса на платформе 1С 8.1 [2].

Выводы

1. Предложен численный алгоритм определения размера страхового тарифа по договору страхования на основе обобщенного актуарного базиса, который позволяет получить оценки страхового тарифа (страховой премии) как по договору страхования жизни, так и по договору иного страхования.

2. Проведенная апробация показывает, что, по крайней мере, для рассмотренных типичных страховых рисков страховые тарифы, полученные по предложенному алгоритму, согласуются с тарифами по классическим моделям. Данный факт свидетельствует в пользу корректности построения алгоритма.

Полученные результаты могут быть применены в следующих направлениях:

1. Доказательное определение страховых тарифов на основе всей информации, содержащейся в актуарном базисе, с учетом фактора времени, вероятности отменительного события, отсрочки и рассрочки страховых взносов и выплат.

2. Тарификация новых видов страхования и страховых рисков: накопительное медицинское страхование, накопительное страхование от несчастных случаев и болезней и т.д.

3. Унификация и уточнение моделей формирования страховых резервов, возможность перехода от технических резервов в ином страховании к математическим резервам.

Проведенная работа позволяет наметить следующие направления дальнейших исследований:

– разработка методики оценивания погрешности страховых тарифов, рассчитанных с применением численных методов;

– дальнейшая экспериментальная проверка страховых тарифов по страховым рискам, позволяющим использовать все возможности обобщенного актуарного базиса: нестандартные законы распределения случайных величин, изменяющиеся вероятности наступления страхового случая, отсрочки и рассрочки страховых взносов и выплат, изменяющуюся страховую сумму, отменительные события, динамические расходы и т.д.;

– моделирование нестационарного страхового портфеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков О.Ю. Обобщенный актуарный базис страхового риска / О.Ю. Рыжков // Вестник НГУЭУ. 2011. № 2. С. 166-178.

2. Рыжков О.Ю. Обобщенный договор страхования и применение численных методов при его тарификации [Доклад на научно-практической конференции «Социально-экономическое развитие и перспективы России: исследования молодых ученых», Новосибирск, ИЭОПП, 12-14 октября 2009 г.] / О.Ю. Рыжков // Сетевой ресурс: <http://ryzhkov-insur.ucoz.ru> (дата обращения 12.01.2014).

3. Рыжков О.Ю. Финансовая устойчивость страховщиков: оценка и управление: дис. ... канд. экон. наук : 08.00.10 : защищена 05.12.2008 / Рыжков Олег Юрьевич. Новосибирск: ИЭОПП, 2008.

4. Приказ Росстрахнадзора от 28 июня 1996 г. № 02-02/18 «О методике расчета страховых тарифов по видам страхования, относящимся к страхованию жизни».

5. Письмо Росстрахнадзора от 12 сентября 1996 г. № 08/5-71р/05 «О порядке расчета тарифов по страхованию жизни с условием выплаты страховой ренты».

6. Методики расчета тарифных ставок по рисковому виду страхования (утв. распоряжением Росстрахнадзора от 8 июля 1993 г. № 02-03-36).

7. Бобров Л.К. Расчет страхового тарифа на основе обобщенного актуарного базиса с учетом деления риска / Л.К. Бобров, О.Ю. Рыжков // Вестник НГУЭУ. 2012. № 1. С. 188-196.

8. Рыжков О.Ю. Комплексная автоматизация деятельности актуария страховой организации // Сетевой ресурс: <http://ryzhkov-insur.ucoz.ru> (дата обращения 12.01.2014).

Рыжков Олег Юрьевич –
кандидат экономических наук, консультант
Сибирской Межрегиональной Ассоциации
Страховщиков

Oleg Yu. Ryzhkov –
Ph. D., Consultant
Siberian Inter-regional Association for Insurers

Бобров Леонид Куприянович –
доктор технических наук, профессор кафедры

Leonid K. Bobrov –
Dr. Sc., Professor

УДК 331.101; 331.106; 331.5.024.54

Е.В. Янченко

КОНТРАКТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ ТРУДА ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ИННОВАЦИОННОМУ ТИПУ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Показаны изменения, которые происходят при переходе к инновационному типу экономического роста: в интересах субъектов социально-трудовых отношений, в содержании и типах контрактов занятости, роли государства на рынке труда. Обоснованы направления институциональной политики в данный период.

Инновационная экономика; социально-трудовые отношения; рынок труда; контракт найма; институциональная политика

E.V. Yanchenko

CONTRACT CHANGES IN THE LABOR SPHERE UNDER TRANSITION TO INNOVATIVE TYPE OF ECONOMIC GROWTH

The article shows the changes of interests between the social and labor relations actors, the content and types of employment contracts, the role of a state on a labor market, which occur while transition to innovative type of economic growth. The directions of institutional policy during the given period are proved.

Innovative economy; social and labor relations; contract of hiring; labor market; institutional policy

Контракт структурирует отношения, складывающиеся в процессе труда, выступая инструментом согласования интересов участников производства. Теоретические основы контрактации излагаются в трудах зарубежных экономистов – представителей институционального течения, в частности, новой институциональной теории [1-3]. Предметом исследования институционалистов в экономике труда выступает эффективный найм, использование рабочей силы с минимальными издержками (Дженсон М., Меклинг У., Стиглиц Дж., Фама Ю.).

В анализе развития сферы труда и отношений ее участников будем считать институциональный фактор базовой детерминантой. Институты-организации, разрабатывая правила функционирования, формируют организационную культуру, ценности и традиции – рамки, в которых происходит взаимодействие работника, работодателя, организаций-посредников [4]. Институты права, культуры, морали, будучи системообразующими, выступают внешними ограничителями деятельности институтов-организаций. Доминирование тех или иных форм организации труда, видов деятельности на различных этапах общественного развития определяют институциональную специфику этих этапов, а значит, и траекторию дальнейшего развития общества: от доиндустриального, индустриального этапов к постиндустриальному – инновационному обществу [5].

Вклад в формирование контрактной парадигмы рынка труда осуществлялся отечественными учеными: Беляевой М.Г. [6], Белокрыловой О.С., Колосовой Р.П., Курбатовой М.В. [7]. Вольчик В.В., Вишневецкой Н.Т., Смирных Л.И. [8], Санковой Л.В. Однако новая стратегия социально-экономического развития апеллирует к более глубоким исследованиям в области контрактации занятости.

Поскольку при переходе к инновационному типу экономического роста происходит изменение интересов участников трудового процесса, иными становятся варианты их институционализации и контрактного регулирования.

В традиционной индустриальной экономике трудовой процесс, трудовые операции, обязанности работника жестко детерминированы технологией. Функции в основном стандартизированы, преобладает специализированный труд. Есть хорошие возможности контроля рутинных (нетворческих) трудовых процессов. На следующем этапе развития производства при переходе к инновационному типу экономического роста возрастает количество сложных, неалгоритмизируемых операций. Расширяются сфера самостоятельного принятия решений работником, поле для творчества и генерации идей. Потребность в инновациях реализуется в изобретательстве, рационализаторстве – в труде интеллектуальном, который слабо поддается контролю и регламентации. На производстве разворачиваются тенденции демократизации управления и флексибилизации занятости [9].

В нашей стране изменение интересов сторон социально-трудовых отношений (СТО) обуславливается не только глобальной информатизацией, сетевизацией, интеллектуализацией и ростом открытости экономики, но и существенной трансформацией институциональной среды в результате рыночных реформ. Организованные по типу государственного патернализма, «фордизма», СТО становятся менее формализованными, более конкурентными и субсидиарными (таблица).

Переход к инновационному типу экономического роста сопровождается флексибилизацией трудового контракта, правил контрактации, механизма контрактного инфорсmenta (рис. 1).

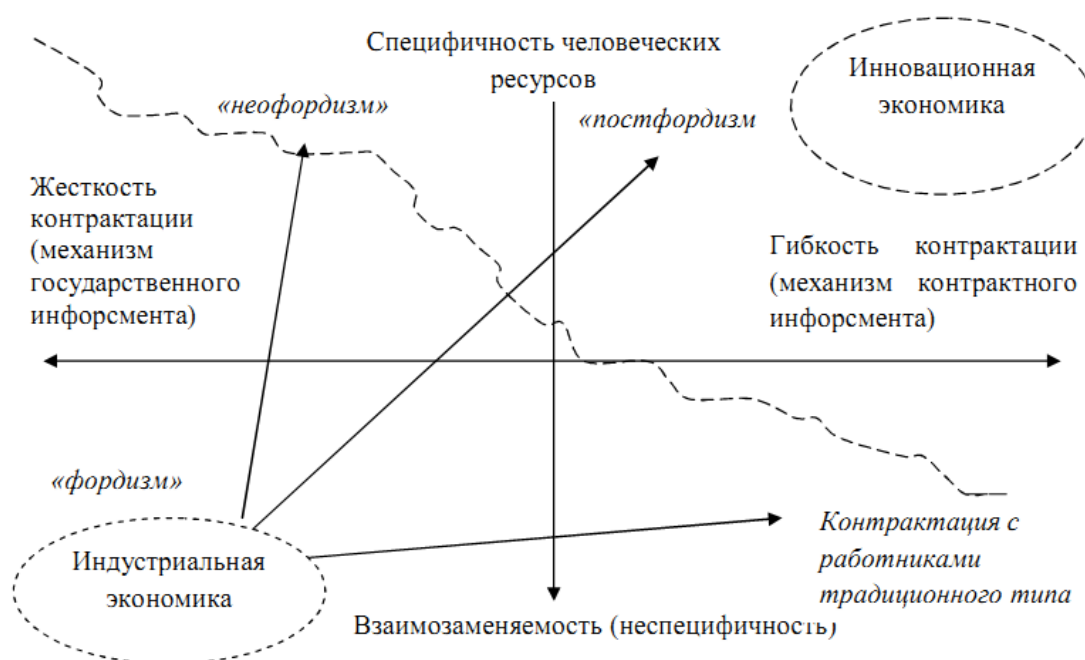


Рис. 1. Векторы развития институциональной контрактации (авт.)

Горизонтальная ось на графике отражает объем внешней формальной регламентации в использовании труда, вертикальная – шкалу взаимозаменяемости труда и возможностей работодателя манипулировать его запасами.

В режиме *фордистской* контрактации СТО гарантии занятости сильный внешний инфорсмент ограничивали «власть» работодателя и его возможности по созданию запасов труда, защищали работника. Это оправданно с социальной точки зрения в условиях низкой специфичности человеческого капитала. Однако развитие экономики идет по пути расширения свободы найма и увольнения, роста контрактной гибкости.

Для *неофордистского* режима контрактации характерно сохранение гарантий занятости, возможностей как внешнего, так и внутреннего инфорсmenta для специфических человеческих ресурсов. *Постфордистский* режим контрактации сопровождается сокращением внешнего инфорсmenta, ростом свободы найма и увольнения, следовательно, возможностей работодателя по манипулированию запасами труда. Это – следствие увеличения специфичности человеческих ресурсов и гибкости СТО. Отпадает необходимость внешнего государственного регулирования потока занятости, которая в институциональном контракте проявлялась в виде согласия работника на строгое подчинение, жесткий режим труда в обмен на социальные гарантии.

Изменение интересов участников трудового контракта при переходе к инновационному типу экономического роста

Тип экономики	Область основных интересов работника	Область основных интересов работодателя	Характеристики рынка труда	Тип СТО	Особенности институционального контракта	Политика государства
Индустриальная экономика	<ul style="list-style-type: none"> стабильная занятость; концентрация на процессе труда; объективная оценка затрат труда; рост оплаты труда и преимущественно материальное стимулирование; социальные гарантии; комфортные и безопасные условия труда; облегчение физического труда. 	<ul style="list-style-type: none"> увеличение дохода; высокая производительность труда и рост производства; снижение издержек, в том числе на труд; стабильность трудового коллектива; снижение конфликтности СТО; снижение конфликтности СТО; подконтрольность, дисциплина трудового коллектива; 	<ul style="list-style-type: none"> высокое предложение труда; ориентация на работника средней квалификации («хорошего, дисциплинированного исполнителя»); особое внимание к качеству его биофизического капитала (здоровье, выносливость, трудолюбие); жесткие условия найма 	Противостояние (конфликт – в ранней индустриальной экономике), элементы эксплуатации и партнерства (в поздней индустриальной экономике); «фордизм», «неофордизм» (в позднем индустриальном обществе)	Передача работниками работодателю и частично государству функции контроля над мерой использования труда и воспроизводством рабочей силы в обмен на гарантии занятости, стабильного роста доходов, развития государственного сектора производства социальных услуг. Жесткая контрактация; формализация СТО.	Государство активно воздействует на рынок труда в направлении достижения баланса интересов. <i>Кейнсианская</i> макроэкономическая политика, стимулирующая совокупный спрос, расширила возможности работодателей нанимать работников на жестких, не всегда благоприятных для них условиях, но и возможности профсоюзов
	<i>Наиболее действенные инструменты реализации интересов</i>					
	<ul style="list-style-type: none"> стачки, забастовки; протесты; обращения в суд, диалог (в позднем индустриальном обществе) 	<ul style="list-style-type: none"> простые схемы оплаты труда; штрафы; наказания, дисциплинарные взыскания; увольнение (угроза увольнения); социальная помощь, корпоративные программы (в позднем индустриальном обществе) 				
Инновационная экономика	<ul style="list-style-type: none"> гибкая занятость; концентрация на результате труда; объективная оценка результата труда; рост оплаты труда и значимости нематериальных стимулов; 	<ul style="list-style-type: none"> стабильный доход; высокая производительность труда и производство такого объема и качества, которое в наибольшей степени соответствует интересам потребителя; 	<ul style="list-style-type: none"> рост спроса на знаниеемкие профессии, креативные кадры; ориентация на работника высокой квалификации; 	Партнерство, элементы конкуренции (горизонтальные СТО); субсидиарность; «постфордизм», «японизм»	<i>Работник берет на себя основную долю контроля за мерой использования труда и воспроизводством рабочей силы. Обязуясь обеспечить ее развитие, взамен он</i>	Государство, освобождаясь от функции гаранта занятости, реорганизует производство социальных услуг (децентрализация и адресность, точечность социального

	<ul style="list-style-type: none"> самостоятельное построение карьеры; объективный «дизайн» работы; получение новых знаний; образовательный и личностный рост; благоприятная «ноосфера» на рабочем месте; права интеллектуальной собственности 	<ul style="list-style-type: none"> увеличение отдачи от вложений в человеческий капитал работников; улучшение самоорганизации работников и трудового процесса; воспитание «профессионалов»; получение интеллектуальной ренты, ренты инноватора 	<ul style="list-style-type: none"> особое внимание к качеству его интеллектуального капитала (креативность, нестандартное мышление); гибкие условия найма 		<p>получает более широкие возможности для мобильности, гарантии защиты интеллектуальных прав. <i>Работодатель</i> в результате увеличения гибкости занятости и заработной платы получает возможность экономии на труде, но приобретает обязательства инвестирования в человеческий капитал.</p> <p>Гибкая контрактация, усиление неформальных практик СТО</p>	<p>вспомоществования). <i>Неоконсервативная</i> политика на рынке труда; либерализация и дерегулирование</p>
	<i>Наиболее действенные инструменты реализации интересов</i>					
	<ul style="list-style-type: none"> социальный диалог; угроза увольнения (со стороны «сильно-ресурсных работников»); обращение в суд 	<ul style="list-style-type: none"> сложные схемы оплаты и стимулирования труда; корпоративные программы, в частности, обучение; программы участия в доходах; программы и тренинги по укреплению лидерских качеств, коучинг 				

На рис. 1 ломаная пунктирная линия условно разделяет систему контрактации в секторе инновационной экономики и секторе индустриальной экономики. В период становления инновационной экономики сохраняются *контракты и с работниками традиционного типа* – носителями неспецифических человеческих ресурсов. Они оказываются в наиболее невыгодном положении на рынке труда, поскольку колебания запаса труда происходят именно за их счет, а социальных гарантий для них практически нет. Это – контракты *неформальной, временной, случайной* занятости, в основном на небольшой срок (до 1 года).

Смена режимов контрактации сопровождается дезинтеграцией рынка труда. Происходит не только расширение спектра контрактных форм, но и *дифференциация содержания* контрактов: для сильно-ресурсных и слабо-ресурсных работников. Первый регулирует отношения с носителями специфических человеческих ресурсов (высококвалифицированные работники). Его содержание построено так, чтобы активизировать интеллектуальный и творческий потенциал, структурно интегрировать в активы организации, закрепить на фирме. Наем носит интернализированный характер. Вместо относительно равномерного и социально справедливого распределения «излишка» – соучастие в доходах пропорционально вкладу в их прирост, возможность разделить интеллектуальную ренту или ренту инноватора. Второй тип контракта – для неквалифицированных работников – основан на принудительном регулировании труда самим процессом производства и экстернализацией найма (рис. 1).

Объективные предпосылки дифференциации видов контрактов – информационная асимметрия, транзакционные издержки, специфические инвестиции, разная степень «нейтральности» работников к риску. В мире, где царит асимметричность информации, только работник наилучшим образом информирован о своей склонности к мобильности, следовательно, принимает решения по формированию специфического человеческого капитала (связи, опыт, лояльность, стаж). Работник может либо осуществлять, либо избегать инвестирования в специфический капитал, что отразится в конечном итоге на продолжительности его отношений занятости и уровне заработной платы. Таким образом, продолжительность трудовых контрактов будет короче для работников, склонных к мобильности и не заинтересованных в инвестициях в специфический капитал. С другой стороны, работники, не склонные к мобильности, охотнее инвестируют в специфический капитал, в результате чего будут иметь трудовые периоды на одном месте работы более длительные. Можно предположить, что на длительность контракта влияет предыдущая трудовая биография работника [8].

Любой контракт, в том числе трудовой, содержит встроенный механизм снижения рисков. В современных условиях риски колебания дохода в разной степени, но усиливаются у всех субъектов СТО. Для фирм возрастает неопределенность ведения бизнеса и риски, связанные с вложением в человеческий капитал. В сегменте высококвалифицированного труда растут требования к качеству интеллектуального капитала, мобильности кадров. Следовательно, у сильно-ресурсных работников должна повыситься ответственность за обновление знаний, за выбор сферы деятельности и работодателя ввиду высокой специфичности ресурсов. У слабо-ресурсных – работников традиционного типа – увеличивается неопределенность занятости как таковой, возрастают риски безработицы. Меняется характер системных рисков как объекта государственной институциональной политики. Если в условиях фордизма она была направлена на повышение социальной и макроэкономической устойчивости, поддержку прав работника и снижение безработицы, то в постфордистской системе большой объем рисков переносится на микроуровень посредством социальных программ, социального партнерства, стратегии обеспечения достойного качества трудовой жизни, социальной ответственности бизнеса. Регулирование переориентируется на стимулирование инвестиций в человеческий капитал и в его развитие (графа 7 табл. 1).

В российских условиях, слабо способствующих мобильности (несовершенный рынок жилья, низкие реальные доходы и большая территория), занятость на одном рабочем месте 10 лет и более преобладает во всех сферах экономики. Только в сфере оптовой и розничной торговли численность занятых со стажем на последнем месте работы от 5 до 10 лет оказывается на период 2012 г. выше (рис. 2). Если рассматривать динамический ряд 2000-2012 гг., то менее длительные периоды занятости будут свойственны сфере сельского хозяйства (от 1 месяца до года) и сфере торговли и ремонта автотранспортных средств (стаж от 1 года до 3 лет).

Предложение рабочей силы на современном рынке труда довольно неэластично. Работников, мало склонных к мобильности, смене места работы, но стремящихся к постоянной занятости и длительным трудовым контрактам, – большинство. В общей массе преобладают стандартные контракты найма (на рис. 3 постоянная занятость в 2012 г. – 93,6 %). Однако нефордистский режим контрактации, по многим признакам наиболее характерный для российской экономики периода перехода к инновационному типу экономического роста, сопровождается увеличением числа заключаемых нестандартных трудовых контрактов: разового найма, случайной, дополнительной, краткосрочной занятости.

ров и договоров подряда апеллирует к смене статуса работника в системе СТО: с наемного работника, стремящегося к стабильности и не склонного к риску, на автономного «подрядчика», вынужденного нести риски и страховать от неопределенности. Положение работников становится менее стабильным (особенно с точки зрения доходов и режима занятости). Усиливаются их социальная незащищенность, возможно, социальное неравенство.

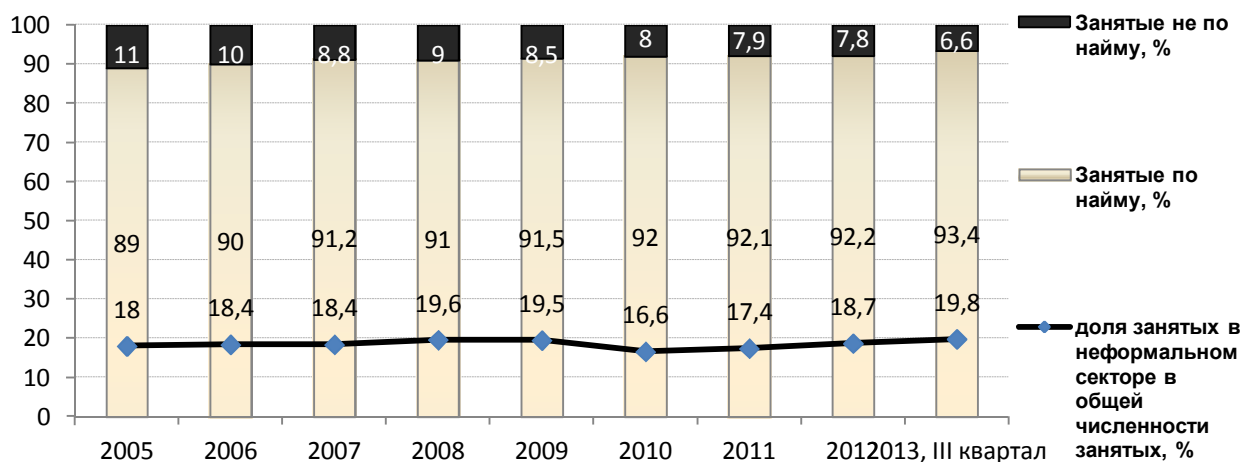


Рис. 4. Занятое население по статусу на основной работе и по доли занятых в неформальном секторе, в % от общей численности занятых [11]

Наиболее слабые позиции на рынке труда – у молодежи и работников невысокой квалификации. В группе нестандартно занятых чаще других оказываются именно представители молодежной возрастной категории – до 24 лет (рис. 5).

Многие работодатели не рискуют нанимать неопытных работников на неопределенный срок в связи с достаточно высокими издержками выполнения требований трудового законодательства, но и молодых людей нередко устраивает не постоянная, а временная работа, которую можно совмещать с учебой. Однако следует признать отрицательным с точки зрения социального аспекта рынка труда тот факт, что примерно 9 % лиц до 24 лет начинают свою трудовую деятельность вне правового поля, будучи занятыми на основе устного соглашения (рис. 5). Наряду с растущей долей неформально занятых (на рис. 4 в III квартале 2013 г. – 19,8 %) это свидетельствует о расширении масштабов деформализации социально-трудовых отношений.

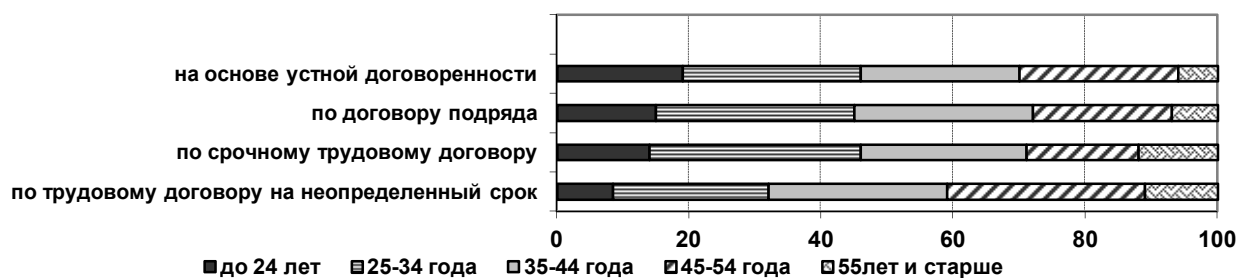


Рис. 5. Возрастная структура занятых по различным формам контракта в 2012 г. (в %) [11]

На выбор формы контракта влияет образовательный и профессиональный уровень работника. Среди руководителей и специалистов высшего уровня квалификации менее 1% занятых по договору подряда или на основе устной договоренности. Доля занятых по устному контракту квалифицированных рабочих составляет 2,7%, неквалифицированных – 10,3%.

В условиях российской экономики на «периферии» рынка труда оказываются, прежде всего, занятые по нестандартным трудовым контрактам (трудовым договорам на срок, договорам подряда, на основе устного соглашения, частично занятые, сезонные работники). При кризисном падении спроса на труд они первыми пополняют армию безработных. Тенденция роста гибкости рынка труда, обусловленная нестабильностью и цикличностью рыночной конъюнктуры, только способствует укреплению позиций работодателей, разобщению работников. Возрастает степень дифференциации интересов последних. Сужается сфера деятельности профессиональных союзов, сокращаются их ле-

гальные возможности в оказании давления на администрацию в плане защиты интересов трудящихся. С учетом данных обстоятельств возрастает значимость механизмов государственного, коллективно- и индивидуально-договорного регулирования в сфере труда.

Государственная институциональная политика при переходе на инновационный тип экономического роста должна быть направлена на:

- внутри российскую интеграцию инновационного сектора и взаимодействие с традиционным индустриальным сектором [12];
- повышение уровня развития институциональной среды индустриального типа в целях снижения институционального конфликта;
- модернизацию институтов в новом индустриальном секторе («постфордистский» подход – укрепление социального партнерства, гибкая занятость и оплата труда, разумный контроль соблюдения прав).

При этом следует признать преждевременной тотальную либерализацию трудовой сферы. Институционализация должна происходить постепенно, пошагово и поддерживаться более прогрессивным инфорсментом прав, возможно, более жестким именно на этапе перехода, в период кризиса и институционального конфликта «инновационного» и «традиционного».

Предлагаются следующие правовые меры, нацеленные на улучшение «встраивания» сферы труда в институциональную структуру инновационной экономики:

- 1) совершенствование трудового законодательства:
 - расширение понятия «рабочее место», «надомный труд», чтобы ввести в правовое поле дистанционную занятость;
 - урегулирование занятости нестандартного типа, направленное на снижение асимметричности в правах работников стандартного и нестандартного типа (например, «аутстаффинг»; работы по гибким графикам, по срочным договорам, временных и заштатных сотрудников);
 - ужесточение ответственности за незаконное использование гражданско-правовых договоров и заемного труда;
 - укрепление договорных начал в согласовании противоположных интересов работника и работодателя;
- 2) совершенствование организации системы разрешения трудовых конфликтов:
 - модернизация институциональной структуры досудебного рассмотрения трудовых конфликтов;
 - создание специализированных судов по трудовым делам, которые обеспечили бы оперативность восстановления нарушенных трудовых прав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Commons D. Institutional Economics / D. Commons. N.Y.: Madison, 1959. 234 p.
2. Фуруботн Э.Г. Институты и экономическая теория: достижения новой институциональной экономической теории: пер. с англ. / Э. Фуруботн, Р. Рихтер. СПб: Изд. дом СПб гос. ун-та, 2005. 702 с.
3. Кларк С. Новые формы трудового договора и гибкость труда в России / С. Кларк // Вопросы экономики. 1999. № 11.
4. Янченко Е.В. Социально-трудовые отношения: институционализация и регулирование в условиях становления экономики знаний: монография / Е.В. Янченко. Саратов: КУБиК, 2011. 218 с.
5. Санкова Л.В. Инновационная модель трудовых отношений в современных организациях через призму институтов / Л.В. Санкова // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2009. № 53. С. 72-76.
6. Беляева М.Г. Институциональные механизмы регулирования отношений работника и работодателя: автореф. дис. ... д-ра экон. наук / М.Г. Беляева. М., 2009. URL <http://www.dissers.ru/avtoreferati-dissertatsii-ekonomika/a830.php>
7. Курбатова М.В. Проблема институциональной среды постиндустриальной экономики в современной России / М.В. Курбатова // Журнал институциональных исследований. 2010. Т. 2. №1. С. 54-66.
8. Смирных Л.И. Разнородность рынка труда и асимметричность информации – последствия для продолжительности занятости / Л.И. Смирных // Сборник докладов международной конференции ASPE. СПб., 2002. С. 3-18.
9. Янченко Е.В. Институциональный контракт в социально-трудовых отношениях на российских предприятиях / Е.В. Янченко // Вестник СГТУ. 2009. №2 (39). С. 270-276.

10. Занятое население по полу, видам экономической деятельности и стажу на основной работе. Обследование населения по проблемам занятости, 2012 // Федеральная служба государственной статистики: [сайт]. URL http://www.gks.ru/bgd/regl/b11_30/Main.htm

11. Обследование населения по проблемам занятости, 2005-2013 // Федеральная служба государственной статистики: [сайт]. URL http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_30/Main.htm

12. Янченко Е.В. Развитие институтов труда при переходе к инновационной экономике / Е.В. Янченко // Инновационная деятельность. 2013. №1 (23). С. 54-62.

Янченко Елена Викторовна –
доктор экономических наук, профессор кафедры
«Экономическая теория и экономика труда»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Elena V. Yanchenko –
Dr. Sc., Professor
Department of Economic Theory
and Labor Economy,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 10. 09.2013, принята к опубликованию 10.12.13