

**ВЕСТНИК**  
**САРАТОВСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**  
**2010**

**№ 1 (44)**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

Выходит один раз в квартал

Март 2010 г.

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

**Главный редактор**

д.и.н., профессор И.Р. Плеве

**Зам. главного редактора**

д.т.н., профессор А.А. Сытник

**Ответственный секретарь**

д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

**Редакционный совет:** д.э.н. В.Р. Атоян, 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. Ян Аврейцевич (Польша),  
д.э.н. Улли Арнольд (Германия), д.ф.-м.н. Энтони 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. К.П. Андрейченко, д.т.н. Ю.С. Архангельский,  
д.ф.н. А.С. Борщов, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. Ю.Г. Иващенко, д.т.н. Ю.Н. Климошкин,  
д.т.н. В.А. Коломейцев, д.т.н. А.В. Королев, д.т.н. В.А. Крысько, д.и.н. Г.В. Лобачева,  
д.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. А.И. Финаенов, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор О.А. Панина

Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой

Перевод на английский язык А.М. Руста

Адрес редакции:  
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
Телефон: (845 2) 52 74 02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 12.03.10  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 37,5 Уч.-изд. л. 37,0  
Тираж 500 экз. Заказ 104  
Отпечатано в Издательстве СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

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

**Подписной индекс 18378**

(каталог «Газеты. Журналы» на 2-е полугодие 2010 г.)

ISSN 1999-8341

© Саратовский государственный  
технический университет, 2010

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2010**

**№ 1 (44)**

Scientific Journal

Since 2003  
Once in a quarter  
March 2010

*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*

<b>Editor-in-chief</b>	Doctor of Historical Sciences, Pr. I.R. Pleve
<b>Editor-in-chief assistant</b>	Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Sytnik
<b>Executive secretary</b>	Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Ignatyev

**Drafting committee:** Pr. V.R. Atoyan, Pr. V.I. Volchihin, Pr. V.A. Golenkov, Pr. V.A. Dines, Pr. V. Zelensky (Poland), Pr. V.A. Ignatyev, Pr. V.V. Kalashnikov, Pr. I.A. Novakov, Pr. I.R. Pleve (Chairman), Pr. A.F. Rezchikov, Pr. A.A. Sytnik (Vice of the Chairman), Pr. S.B. Surovov, Pr. Yan Avreytsevich (Poland), Pr. Ulli Arnold (Germany), Pr. Anthony Merseer (UK), Pr. E. D'Sousa Ferreira (Portugal), Pr. T. Chermak (Chezh Republic), Pr. Y.V. Shlenov.

**Editorial board:** Pr. K.P. Andreychenko, Pr. Y.S. Arkhangelsky, Pr. A.S. Borshov, Pr. A.S. Denisov, Pr. Y.G. Ivashenko, Pr. Y.N. Klimochkin, Pr. V.A. Kolomeitsev, Pr. A.V. Korolyov, Pr. V.A. Krysko, Pr. G.V. Lobatcheva, Pr. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. A.I. Finaenov, Pr. M.A. Sherbakov.

Editor O.A. Panina  
Computer-based page-proof J.L. Zhupilova  
Rendering A.M. Rust

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street  
Saratov, 410054  
Russia  
Telephone: +8452/52-74-02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 12.03.10  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 37,5 Acc.-pbl. l. 37,0  
Edition 500 psc. Order 104  
Printed in EPC of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

- Гавва С.П., Сальников А.Н.** Аналитические модели в колебательной спектроскопии многоатомных молекул. Часть I.....7
- Тарануха Н.А., Лейзерович Г.С.** О влиянии начальных неправильностей и малой присоединенной массы на расщепление изгибного частотного спектра тонких круговых цилиндрических оболочек .....18

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

- Барановская Л.В.** Использование метода проекций градиента при оптимальном проектировании металлоконструкций тяжелых козловых кранов .....24
- Барац Я.И., Милованова Л.Р.** Метод расщепления уравнения теплопроводности при решении теплофизических задач, возникающих при механической обработке .....28
- Годунов Н.Б.** Обоснование объема перемещаемого металла при восстановлении профиля шлица раскаткой.....34
- Годунов Н.Б., Рудик Ф.Я., Богатырев С.А., Магомедов Р.Я.** Восстановление внешних шлицевых поверхностей пластической деформацией .....38
- Горшков Е.А.** Оценка виброударного нагружения и начальных технологических остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования шатунов форсированных дизелей.....43
- Казинский А.А., Игнатъев А.А.** Исследование устойчивости фронта дендритной кристаллизации сварочно-наплавочного шва как динамической системы .....48
- Королев А.В., Аничкин А.Н.** Остаточные напряжения в многослойных кольцевых деталях.....53
- Никитин А.А., Цимбалов Г.М.** Метод автоматизированной вибродиагностики механических систем на основе исследования колебаний внешнего кольца подшипника .....59
- Полянчиков Ю.Н., Крайнев Д.В., Норченко П.А., Ингеманссон А.Р.** Улучшение параметров шероховатости при обработке резанием с опережающим пластическим деформированием .....67
- Савельев М.А., Рыжко Д.В., Козлов Д.Ю.** Методика получения и обработки осциллограмм давления топлива перед форсункой при экспериментальных исследованиях .....71
- Сивяков Б.К., Трюбер С.С.** Диагностика многоцилиндровых двигателей с помощью моделирования неравномерности частоты вращения .....76

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

- Лясникова А.В., Лепилин А.В., Лясников В.Н., Смирнов Д.А., Мостовая О.С.** Комплексные исследования физико-химических и медико-биологических свойств антимикробных биокомпозиционных покрытий дентальных имплантатов.....83
- Пономарёва Г.П., Артёмов А.А., Сладков О.М.** Энергосберегающая сэндвич-конструкция из слоистого пластика.....91
- Таратанов Н.А., Юрков Г.Ю., Кособудский И.Д.** Синтез ренийсодержащих наночастиц на поверхности микрогранул политетрафторэтилена .....95

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

- Дрогайцев В.С., Ушаков В.А., Пименов М.Ю.** Диагностирование дефектов сложных технических объектов в условиях влияния факторов внешней среды. Часть I .....102
- Отений Я.Н., Эпов А.А., Ломкова Е.Н., Казначеева А.А.** Разработка имитационной модели функционирования станочного металлообрабатывающего участка.....112

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

- Васин А.Н.** Информационная образовательная среда – путь к повышению эффективности образовательного процесса .....121
- Иванникова О.А.** Ситуационный подход в создании математической модели интеллектуального здания.....126
- Сингатулин Р.А.** Проблемы информации и информационные возможности археологической керамики.....131
- Слепцов Н.В., Щербакова С.В.** Автоматическая оптимизация структуры нейросетей .....139
- Элькин П.М., Степанович Е.Ю., Пулин В.Ф., Можаяева Н.А., Булатов М.Ф.** Использование компьютерной технологии «Gaussian» для моделирования колебательных состояний полимеров .....149

---

## ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

---

- Байбурин В.Б., Деревягин Г.А., Кац Б.М.** Датчик для ультразвуковой системы измерения расхода химически агрессивных газов.....156
- Деревягин Г.А.** Исследование пьезодатчика мембранного типа.....159
- Пронин В.П., Панова И.С.** Определение поверхностного электрического заряда и параметров гетерогенных структур методом электростатической индукции .....162
- Скворцов А.А., Сидоров Г.И.** Особенности приближенно-аналитического расчета коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройств на двугребневом волноводе с элементами связи сложных сечений .....168

---

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

---

- Козлитин П.А.** Методы нечеткого анализа риска аварий в системах теплоснабжения .....175
- Симонов В.Ф., Прелатов В.Г.** Оценка группового состава смолы полукоксования сланцев по волжья как основы для термокаталитического преобразования .....183

---

## АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

---

- Кочетков А.В., Ермолаева В.В., Ермолаев Б.В., Мырзахметов Б.А.** Новые инструментальные средства изыскания и проектирования объектов транспортного строительства .....189
- Мещеряков Д.В., Смилевцев О.Д., Хаюк Н.В., Спиричева Д.С.** Исследование коцебинского месторождения с целью производства композиционных строительных материалов на основе энерготехнологической переработки горючих сланцев .....194

---

## ЭКОЛОГИЯ

---

- Яковлев Б.Н., Джураев О.Р., Белов А.В.** Исследование загрязнения воздушной среды канализационными очистными сооружениями предприятий химической промышленности.....200

---

## ЭКОНОМИКА

---

- Горячева Т.В.** Инструменты реализации промышленной политики .....204
- Макулов А.С., Галиева А.Ф., Харрасов Р.Р.** Стратегические направления инновационного социально-экономического развития региона.....212
- Мальшина Н.А.** Специфика трудовых ресурсов и динамика трудовых потоков социально-культурного сервиса и туристической сферы .....221
- Орлова Н.В.** Финансовый рынок – элемент воспроизводственной структуры.....228
- Павлов М.Ю.** Системное соотношение мезо- и микрологистики в организации функционирования метрополитена .....236
- Решетникова Н.В.** Особенности взаимосвязи экономического роста и дифференциации доходов населения.....240
- Семёнов К.М.** Качество жизни населения как фактор инвестиционной привлекательности территории.....245
- Семенов К.М.** Повышение инвестиционной привлекательности территории на основе совершенствования региональных систем управления качеством и конкурентоспособностью .....248
- Сердюкова Л.О.** Проблемы типизации региональных инновационных систем (РИС) .....250
- Трегубов В.Н., Рулев К.В.** Экономическое исследование и классификация маршрутов общественного транспорта с использованием технологии логистической синхронизации.....258

---

## СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

---

- Демчук О.А.** Молодёжные субкультуры социально опасного типа в контексте региональной молодёжной политики .....266
- Живлакова А.Е.** Теоретические подходы к социолингвистическому анализу социально-политической дифференциации языка.....274
- Звоновский В.Б.** О влиянии пространственной локализации на формы социального поведения .....280
- Нелюбова Я.К.** Образование детей-сирот в условиях национального проектирования: региональный аспект .....283
- Резник И.Ю.** Современные технологии реализации социальных программ – важнейший фактор обеспечения социальной безопасности общества.....293

---



---

**CONTENTS**
**PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES**

- 
- 
- Gavva S.P., Salnikov A.N.** Analytical models in the vibrational spectroscopy of multiatomic molecules. Part I.....7
- Taranukha N.A., Leyzerovich G.S.** Initial imperfections and a small apparent mass influence on thin circular cylindrical shells flexural frequency spectrum splitting .....18

**MACHINE-BUILDING**

- 
- 
- Baranovskaya L.V.** Gradient projection method application in heavy angle cranes optimal designing .....24
- Baratz Ya.I., Milovanova L.R.** Thermo-conduction equation fission method at thermophysic task solutions arising up at mechanical treatment .....28
- Godunov N.B.** Relocatable metal's volume substantiation at splineway profile reconstruction by flaring.....35
- Godunov N.B., Rudik F.Ya., Bogatyryov S.A., Magomedov R.Ya.** External splineway surfaces renovation by plastic deformation.....39
- Gorshkov E.A.** Vibration stress and initial residual pressure estimation after superficial technologic plastic deformation of rods of the forced diesel engines ..... 43
- Kazinskiy A.A., Ignatyev A.A.** Kinetics of homogenous nucleus growth in the zone of concentrated oversaturation before the front of dendritic crystallization of welding – surfacing bath .....48
- Korolyov A.V., Anichkin A.N.** Residual stresses in multilayer ring detail .....54
- Nikitin A.A., Tsimbalov G.M.** Automated vibration-based diagnostics method of mechanical systems on the bases of bearings' external ring vibration research .....59
- Polyanchikov Yu.N., Kraynev D.V., Norchenko P.A., Ingemansson A.R.** Improvement of the roughness parametr at machining by cutting with advancing plastic deformation .....68
- Savelyev M.A., Ryzhko D.V., Kozlov D.Yu.** Application and processing method of fuel pressure oscillograms before burner at experimental researches .....72
- Siviyakov B.K., Tryuber S.S.** Multicylinder engine diagnostics methods based on rotational speed non-uniformity simulation.....76

**NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES**

- 
- 
- Lyasnikova A.V., Lepilin A.V., Lyasnikov V.N., Smirnov D.A., Mostovaya O.S.** Complex researches of physical-chemical and biomedical properties biocomposite antimicrobial coating on dental implants .....83
- Ponomaryova G.P., Artyomenko A.A., Sladkov O.M.** Layered plastic energy-efficient construction.....91
- Taratanov N.A., Yurkov G.Yu., Kosobudskiy I.D.** Synthesis of the rhenium-containing nanoparticles on microgranules surface of polytetrafluoroethylene.....95

**AUTOMATION AND MANAGEMENT**

- 
- 
- Drogaytsev V.S., Ushakov V.A., Pimenov M.Yu.** Faults diagnosing of complex technical objects being under the influence of environmental factors. Part I .....102
- Oteniy Ya.N., Epov A.A., Lomkova E.N., Kaznacheyeva A.A.** Imitational model elaboration of machine-tool metal-working section functioning.....112

**INFORMATION TECHNOLOGIES**

- 
- 
- Vasin A.N.** Information educational environment – the way to educational process efficiency increase.....121
- Ivannikova O.A.** The situational approach in creation of mathematical model of an intellectual building .....126
- Singatulin R.A.** Archeological ceramics information problems and opportunities.....132
- Sleptsov N.V., Tsherbakova S.V.** Automatic neural network optimization.....139
- Elkin P.M., Stepanovich E.Yu., Pulin V.F., Mozhaeva N.A., Bulatov M.F.** Computer technologies in vibration spectra modelling of polyacrylonitrile.....149

---

---

**ELECTRONICS, RADIOENGINEERING AND INSTRUMENT MARKING**

---

<b>Bayburin V.B., Derevyagin G.A., Kats B.M.</b> Sensor for ultrasonic metering of chemically aggressive gas flow rate.....	156
<b>Derevyagin G.A.</b> Diaphragm piezoelectric sensor research.....	159
<b>Pronin V.P., Panova I.S.</b> Definition of the surface electric charge and parameters of heterogeneous structures by the method of the electrostatic induction.....	162
<b>Skvortsov A.A., Sidorov G.I.</b> Peculiarities of approximate calculation of transmission coefficients of stub branchings of microwave devices on double-ridged waveguides with complex cross section shaped coupling elements .....	168

---

---

**POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING**

---

<b>Kozlitin P.A.</b> Fuzzy accidents risk analysis Methods within heat supply systems.....	175
<b>Simonov V.F., Prelatov V.G.</b> Group structure estimation of sulfur shale oil semicarbonization of the Volga area as bases for termocatalytic transformation.....	183

---

---

**ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

---

<b>Kochetkov A.V., Ermolaeva V.V., Ermolaev B.V., Myrzakhmetov B.A.</b> New tool means of research and designing of objects of transport building.....	189
<b>Mescheryakov D.V., Smilevets O.D., Khayuk N.V., Spiricheva D.S.</b> Kotebinsk deposit research with composite construction material production aim on the base of energy technological processing of shale oil .....	195

---

---

**ECOLOGY**

---

<b>Yakovlev B.N., Dzhuraev O.R., Belov A.V.</b> Air pollution research by chemical industry enterprises sewer treatment facilities.....	200
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

---

---

**ECONOMICS**

---

<b>Goryacheva T.V.</b> Enterprises' industrial policy tools.....	204
<b>Makulov A.S., Galiyeva A.F., Kharrasov R.R.</b> Strategic directions of innovative and social economic development of a region.....	212
<b>Malshina N.A.</b> Labor resources specifics and labor streams dynamics of social cultural service and tourism.....	221
<b>Orlova N.V.</b> Financial market – reproducing structure component.....	228
<b>Pavlov M.Yu.</b> Relationship of meso- and micrologistics in underground railway system.....	236
<b>Reshetnikova N.V.</b> Specific features of interdependence between economic growth and population income differentiation .....	240
<b>Semyonov K.M.</b> Population life quality as a factor of a territory's investment attractiveness .....	245
<b>Semyonov K.M.</b> Territory's investment attractiveness increase based on the improvement of the regional systems of quality and competitiveness management .....	248
<b>Serdyukova L.O.</b> regional innovation systems typification problems (RIS) .....	250
<b>Tregubov V.N., Rulev K.V.</b> Economic research and classification of public transport routes using logistics synchronization.....	258

---

---

**SOCIAL PROBLEMS OF THE PRESENT**

---

<b>Demchuk O.A.</b> Youth subcultures of socially dangerous type within the regional youth policy context.....	266
<b>Zhivlakova A.Ye.</b> Theoretical approaches to sociolinguistic analysis of socio-political language differentiation .....	274
<b>Zvonovskiy V.B.</b> Space's localization influence on social behavior forms .....	280
<b>Nelyubova Ya.K.</b> Of orphan children education within national projects: regional aspect .....	284
<b>Reznik I.Yu.</b> Modern technologies of social programs realization – a society's social safety basic factor .....	293

---

---

# ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

---

---

УДК 534.19:519.86

**С.П. Гавва, А.Н. Сальников**

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ Часть I**

*Предложены аналитические методы матричной теории возмущений для собственных значений и соответствующих собственных векторов. На основании этих методов получены формулы для вкладов в изменения частот и элементов формы возбужденных и высоковозбужденных колебательных состояний молекул, которые позволяют применить результаты метода спектрального анализа матричной теории возмущений к моделированию возбужденных колебаний многоатомных молекул и исследованию влияния возмущений на особенности внутримолекулярной динамики и смещения центров полос в ИК-спектрах поглощения молекул.*

Теория возмущений, собственные значения, собственные векторы, частота колебаний, элементы формы колебаний, возбужденные колебательные состояния молекул.

**S.P. Gavva, A.N. Salnikov**

## **ANALYTICAL MODELS IN THE VIBRATIONAL SPECTROSCOPY OF MULTIATOMIC MOLECULES PART I**

*The analytical methods of matrix perturbation theory for Eigen values and the corresponding eigenvectors have been proposed. These methods became the basis for obtaining the formulae for contributions to the changes in frequencies and elements of the form of excited and highly-excited vibration states of the molecule, those formulae allowing the results of the method of spectral analysis of the matrix perturbation theory to be used for modeling the multi-atomic molecules excited vibrations and for studying the perturbations effect on the peculiarities of intermolecular dynamics and the bands centers shifts in the IR absorption spectra of molecules.*

Perturbation theory, Eigen values, eigenvectors, vibration frequency, elements of vibration form, excited vibration states of the molecules.

**Введение.** Современные молекулярная физика и спектроскопия успешно используют теоретические и экспериментальные методы колебательной спектроскопии в многочисленных задачах, относящихся к исследованию строения, внутри- и межмолекулярных взаимодействий, а также структурных изменений, происходящих при физических и химических процессах в органических и неорганических многоатомных молекулярных системах. Высокая эффективность методов колебательной спектроскопии основывается на классической и квантово-механической теориях колебаний молекул и модельных представлениях, позволяющих установить взаимную связь между молекулой и ее спектром и описать реальные оптические свойства, достоверность которых подтверждается спектроскопическим экспериментом.

Теория колебаний молекул, изложенная в [1-5], основывается на механической модели молекулы как системы, состоящей из  $N$  числа материальных точек, на которые наложены голономные связи, а действующие между ними силы являются потенциальными. Число  $N$  совпадает с количеством атомов в молекуле, совершающих малые гармонические колебания относительно положения равновесия. Процесс колебаний в молекулах моделируется уравнениями Лагранжа второго рода. Для этой системы уравнений М.А. Ельяшевичем [1] и, независимо от него, Е. Вильсоном [2] впервые было предложено в качестве обобщенных координат использовать естественные колебательные координаты, которые определяются изменением межатомных расстояний по химическим связям, валентных углов внутреннего вращения. В системе естественных колебательных координат было получено фундаментальное уравнение теории колебаний молекул [1, 2]; записанное в матричной форме оно имеет вид

$$(GF)L = \Lambda L \quad \text{или} \quad DL = \Lambda L,$$

где  $G$  – матрица коэффициентов кинематического взаимодействия;  $F$  – матрица силовых постоянных, матрица  $D$  определяется произведением  $D = GF$ ;  $\Lambda$  – диагональная матрица с элементами, пропорциональными квадратам частот нормальных колебаний атомов в молекуле;  $L$  – матрица, столбцы которой состоят из элементов формы соответствующего колебания. Элементы формы колебаний – это относительные амплитуды естественных колебательных координат, соответствующие заданному нормальному колебанию.

Все теоретические исследования в колебательной спектроскопии основываются на решении фундаментальных задач, которые разделяются на прямую механическую задачу по вычислению частот и элементов формы колебаний, а также обратные спектральные задачи по определению силовых постоянных на основании экспериментальных частот и расчету электрооптических параметров при использовании измеренных интегральных интенсивностей инфракрасных (ИК) спектров поглощения молекул.

Следовательно, прямая механическая задача определяется решением фундаментального колебательного уравнения, которое относится к типу уравнений по определению собственных значений  $\lambda_s$  и соответствующих собственных векторов  $\mathbf{L}_s$  ( $s = 1, 2, \dots, 3N-6$ ), а решается методами численного спектрального анализа матричной алгебры [6]. Это обеспечивает разработку надежных алгоритмов по решению прямой механической задачи для вычисления частот, элементов формы колебаний и смещений атомов относительно положения равновесия. Такие алгоритмы описаны в [5, 7-9] и реализованы в виде расчетных программ, по которым выполнены расчеты при решении прямой механической задачи для большого числа органических и неорганических многоатомных молекул Л.М. Свердловым и М.А. Ковнером [4], Л.А. Грибовым и В.А. Дементьевым с сотрудниками [7-9]. Таким образом, теория нормальных колебаний молекул, методы решения ее спектральных задач вместе с библиотеками алгоритмов и расчетных программ уже в 1980-е годы определяли успешное применение математического моделирования как эффективного метода фундаментальных исследований в колебательной спектроскопии многоатомных молекул. Однако все теоретические исследования и вычислительный эксперимент в колебательной спектроскопии молекул [1-5, 7-9] были выполнены только для фундаментальных нормальных колебаний.



Современные высокочувствительные экспериментальные методы молекулярной оптической спектроскопии являются мощными и эффективными. Состояние экспериментальных исследований характеризуется тенденциями быстрого увеличения разрешающей способности и перехода к наблюдению более тонких эффектов в ИК-спектрах поглощения молекул. Применение методов внутривибрационной, лазерной и оптико-акустической спектроскопии позволяет использовать спектрометры с пороговой чувствительностью коэффициента поглощения  $10^{-9} \text{ см}^{-1}$ , а погрешность определения интенсивностей линий составляет 2-3%. Поэтому в последнее время благодаря интенсивному развитию инфракрасной и микроволновой спектроскопии, разработке новых экспериментальных методов стали возможными исследования слабых спектров молекул, определяемых возбужденными и особенно высоковозбужденными переходами, интенсивности которых на несколько порядков меньше интенсивностей фундаментальных нормальных колебаний, а для частот наблюдаются изменения в тысячные доли обратных сантиметров. Такой эксперимент необходим в фундаментальных исследованиях для получения информации о строении молекул и границах применимости моделей возбужденных колебаний, а также для решения прикладных задач в астрофизике по идентификации спектров солнечного излучения, межзвездных сред, планетарных атмосфер, мониторинга климатических и экологических систем и выяснения механизмов образования и распада молекул в высокотемпературных газовых средах. Однако для возбужденных и высоковозбужденных колебательных состояний молекул существуют свои трудности анализа ИК-спектров поглощения, которые проявляются с хаотическим поведением молекул при возбуждении их высокой температурой или мощным оптическим излучением. Кроме этого, существуют многочисленные резонансы, связывающие высоковозбужденные колебательные состояния с другими состояниями, образуя диады, триады и полиады исследуемых полос, внутри которых также наблюдаются взаимодействия колебательных уровней.

Перечисленные проблемы определяют актуальность теоретических исследований возбужденных и высоковозбужденных колебательных состояний и разработку новых методов в теории колебаний молекул, достоверно описывающих и позволяющих моделировать процессы, происходящие в молекулах, которые определяют изменения частот, структурно-геометрических, динамических, колебательно-вращательных и электрооптических параметров при возмущении колебаний атомов в молекулярных системах. Отметим, что в теории колебаний многоатомных молекул [1-5] такие исследования никогда не осуществлялись, поскольку в литературе полностью отсутствуют публикации по их решению.

Содержанием настоящей работы являются новые аналитические методы колебательной спектроскопии молекул, полученные на основании матричной аналитической теории возмущений, которые применяются для построения аналитических моделей возбужденных и высоковозбужденных колебательных состояний многоатомных молекул с целью исследования влияния возмущений на особенности изменения внутримолекулярной динамики и спектроскопических параметров.

**Основные положения метода теории возмущений.** Матричная форма записи основного колебательного уравнения, переход от него к вековому уравнению и способы решения этих уравнений определяют целесообразность применения в теоретических исследованиях по решению важной и актуальной проблемы спектроскопии о влиянии возмущений колебаний молекул на изменение частот, элементов формы колебаний с использованием результатов спектрального анализа матричной теории возмущений для собственных значений и соответствующих собственных векторов.

Теоретические положения и утверждения матричной теории возмущений собственных значений и соответствующих собственных векторов, численные методы решения этой алгебраической проблемы, анализ и оценки погрешностей результатов, полученных при вычислениях, впервые в таком комплексном подходе были изложены в [10]. Исследуемая алгебраическая проблема матричного спектрального анализа состоит в следующем: невозму-

щенная матрица  $A$  имеет простые собственные значения  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) и соответствующие им собственные векторы  $\mathbf{x}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ); если матрица  $A_1$  является возмущением  $A$ , то как изменяются собственные значения  $\lambda_i(\varepsilon)$  и векторы  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) возмущенной матрицы  $(A + \varepsilon A_1)$ ? В алгебраической теории возмущений эта задача решается в терминах характеристического полинома, на основании которого записывается характеристическое уравнение для невозмущенной матрицы

$$\det(\lambda I - A_0) = \lambda^n + C_{n-1}\lambda^{n-1} + C_{n-2}\lambda^{n-2} + \dots + C_0 = 0, \quad (1)$$

тогда характеристическое уравнение для возмущенной матрицы  $(A + \varepsilon A_1)$  определяется аналогичным способом, только с коэффициентами, зависящими от  $\varepsilon$  – параметра малости теории возмущений

$$\det(\lambda I - A_0 - \varepsilon A_1) = \lambda^n + C_{n-1}(\varepsilon)\lambda^{n-1} + C_{n-2}(\varepsilon)\lambda^{n-2} + \dots + C_0(\varepsilon) = 0, \quad (2)$$

в котором  $C_r(\varepsilon)$  – полином степени  $(n-r)$  от  $\varepsilon$  и  $C_r(0) = C_r$

$$C_r(\varepsilon) = C_r + C_{r1}\varepsilon + C_{r2}\varepsilon^2 + \dots + C_{r, n-r} \varepsilon^{n-r}. \quad (3)$$

На основании теоретических утверждений алгебраической теории возмущений [10] в случае, если  $\lambda_i$  – простой корень уравнения (1), для достаточно малого  $\varepsilon$  существует простое собственное значение  $\lambda_i(\varepsilon)$ , которое определяется сходящимся степенным рядом

$$\lambda_i(\varepsilon) = \lambda_i + k_1\varepsilon + k_2\varepsilon^2 + k_3\varepsilon^3 + \dots + k_n\varepsilon^4 + \dots, \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

и для него выполняется условие  $\lambda_i(\varepsilon) \rightarrow \lambda_i$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$  с оценкой порядка погрешности

$$|\lambda_i(\varepsilon) - \lambda_i| = O(\varepsilon) \quad (5)$$

независимо от кратности остальных собственных значений [10]. В [11] определены верхние границы изменений собственных значений; если  $|A_1| \leq \varepsilon|A|$ , то

$$|\lambda_i(\varepsilon) - \lambda_i| \leq \varepsilon |y'_i| |A| \sum_{j=1}^n |x_j|, \quad (6)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n),$$

где  $y_i$  – левый собственный вектор матрицы  $A$ .

Для определения соответствующего возмущенного собственного вектора  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  получают сначала явные выражения координат невозмущенного собственного вектора  $\mathbf{x}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). В алгебраической теории собственных значений и собственных векторов [10] показано, если  $\lambda_i$  – простое собственное значение, то матрица  $(A - \lambda_i I)$  имеет, по крайней мере, один отличный от нуля минор порядка  $(n-1)$ . Без ограничения общности можно предположить, что он лежит в первых  $(n-1)$  строках  $(A - \lambda_i I)$ . Из теории линейных уравнений известно, что в качестве координат собственного вектора  $\mathbf{x}_i$  можно взять вектор, координатами которого являются алгебраические дополнения

$$(A_{n1}, A_{n2}, \dots, A_{nn}), \quad (7)$$

здесь в качестве  $i$ -й координаты взято  $A_{ni}$  – алгебраическое дополнение  $(n, i)$ -го элемента матрицы  $(A - \lambda_i I)$ . Каждое  $A_{ni}$  в (7) является полиномом от  $\lambda_i$  степени не выше  $(n-1)$ .

Применим эти утверждения для возмущенной матрицы  $(A + \varepsilon A_1)$ . Если обозначить соответствующие собственные векторы через  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), то из (7) следует, что координаты вектора  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  – это полиномы от  $\lambda_i(\varepsilon)$  и  $\varepsilon$ . Поскольку степенной ряд для  $\lambda_i(\varepsilon)$  (4) сходится для достаточно малых  $\varepsilon$ , каждая координата вектора  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  представима сходящимся степенным рядом по  $\varepsilon$ , а постоянный член равен  $\mathbf{x}_i$ , который является собственным вектором невозмущенной матрицы  $A$ , поэтому имеет место представление

$$\mathbf{x}_i(\varepsilon) = \mathbf{x}_i + \varepsilon \mathbf{z}_1 + \varepsilon^2 \mathbf{z}_2 + \dots + \varepsilon^n \mathbf{z}_n + \dots, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (8)$$

в котором  $\mathbf{x}_i(\varepsilon) \rightarrow \mathbf{x}_i$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$ , а погрешность имеет порядок  $|\mathbf{x}_i(\varepsilon) - \mathbf{x}_i| = O(\varepsilon)$  [10]. В [11] для собственных векторов получены строгие оценки границы изменений

$$|\mathbf{x}_i(\varepsilon) - \mathbf{x}_i| \leq \varepsilon |T| (I - \varepsilon D_i |T^{-1}| |A| |T|)^{-1} D_i |T^{-1}| |A| |\mathbf{x}_i|, \quad (9)$$

где  $T$  – матрица, которая диагонализует матрицу  $A$ :  $T^{-1}AT = \Lambda$ . Матрица  $D_i$  равна  $D_i = \text{diag} \left( \frac{1}{|\lambda_1 - \lambda_i| - |\delta\lambda_i|}, \dots, 0_i, \dots, \frac{1}{|\lambda_n - \lambda_i| - |\delta\lambda_i|} \right)$ . Заметим, что если  $\varepsilon$  совпадает с компьютерной точностью, то (6) и (9) можно использовать для оценки влияния погрешностей промежуточных вычислений на точность решения рассматриваемой задачи.

Теперь каждый вектор  $\mathbf{z}_i$  из (8) записывается через линейную комбинацию векторов  $\mathbf{x}_j$  матрицы  $A$

$$\mathbf{z}_i = \sum_{j=1}^n C_{ji} \mathbf{x}_j \quad (10)$$

и подставляется опять в (8), тогда для возмущенного собственного вектора  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$ , собрав члены с  $\mathbf{x}_i$ , получается выражение

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i(\varepsilon) = & (\varepsilon C_{11} + \varepsilon^2 C_{12} + \dots) \mathbf{x}_1 + (\varepsilon C_{21} + \varepsilon^2 C_{22} + \dots) \mathbf{x}_2 + \dots \\ & + (1 + \varepsilon C_{i1} + \varepsilon^2 C_{i2} + \dots) \mathbf{x}_i + (\varepsilon C_{n1} + \varepsilon^2 C_{n2} + \dots) \mathbf{x}_n. \end{aligned} \quad (11)$$

Степенные ряды, стоящие в скобках (11), сходятся. Это утверждение следует из абсолютной сходимости рядов (8). Поскольку вектор  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  определяется с точностью до множителя, то разделив обе части выражения (11) на  $i$ -ю скобку, так как при достаточно малых  $\varepsilon$  она не равна нулю, преобразованный таким способом вектор  $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$  можно записать теперь следующим образом

$$\mathbf{x}_i(\varepsilon) = \mathbf{x}_i + (\varepsilon t_{11} + \varepsilon^2 t_{12} + \dots) \mathbf{x}_1 + \dots + (\varepsilon t_{n1} + \varepsilon^2 t_{n2} + \dots) \mathbf{x}_n. \quad (12)$$

Выражения, стоящие в скобках (12), также являются сходящимися степенными рядами для достаточно малых  $\varepsilon$ . Заметим, что представление (12) справедливо для нормированных собственных векторов  $\mathbf{x}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

**Изменения частот и элементов в формы возмущенных колебаний молекул.** Основное уравнение классической теории колебаний молекул, записанное в матричной форме, по своему типу относится к уравнению по определению собственных значений и собственных векторов матрицы  $D = GF$ . Собственные значения матрицы  $D$  пропорциональны квадратам частот нормальных колебаний  $\lambda_i = 4\pi^2 c^2 \omega_i^2$  ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ), где  $N$  – число атомов в молекуле. Собственные векторы  $\mathbf{L}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ), соответствующие  $\lambda_i$ , определяются элементами столбцов матрицы формы нормальных колебаний  $L$ . Алгебраический метод определения изменений частот  $\omega_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ) и элементов формы колебаний молекул основывается на теоретических утверждениях матричной теории возмущений Уилкинсона [10] о существовании представлений в виде степенных сходящихся рядов для собственных значений и собственных векторов возмущенной матрицы  $(D + \varepsilon D_1)$ , где матрица  $D_1$  является возмущением для  $D$ . Применять алгебраическую теорию возмущений к исследованию изменений частот и элементов формы возбужденных колебаний молекул впервые было предложено в [12]. Если записать сходящиеся ряды, аналогичные (4), для возмущенных собственных значений ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ )

$$\lambda_i(\varepsilon) = \lambda_i + \varepsilon k_1^{\lambda_i} + \varepsilon^2 k_2^{\lambda_i} + \dots + \varepsilon^n k_n^{\lambda_i} + \dots, \quad (13)$$

а для собственных векторов, аналогичных ряду (12),

$$\mathbf{L}_i(\varepsilon) = \mathbf{L}_i + (\varepsilon t_{11}^{\lambda_i} + \varepsilon^2 t_{12}^{\lambda_i} + \dots) \mathbf{L}_i + \dots + (\varepsilon t_{3N-6,1}^{\lambda_i} + \varepsilon^2 t_{3N-6,2}^{\lambda_i} + \dots) \mathbf{L}_{3N-6}, \quad (14)$$

где  $i$  – номер нормального колебания,  $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ , то задача сводится к определению коэффициентов возмущения  $k_j^{\lambda_i}$  и  $t_{ij}^{\lambda_i}$  соответственно из (13) и (14).

В рамках алгебраического метода Уилкинсон ввел параметры  $S_i$  и  $\beta_{ij}$  [10]. Величина  $S_i$  равна скалярному произведению транспонированного  $i$ -го левого собственного вектора на правый. В теории колебаний такими векторами для матрицы  $D$  являются  $\mathbf{L}_i^{-1}$  и  $\mathbf{L}_i$ , поэтому для них выполняются равенства

$$S_i = |(\mathbf{L}_i^{-1})' \mathbf{L}_i| = 1, \quad (i = 1, 2, \dots, 3N-6), \quad (15)$$

в силу ортогональности матрицы формы колебаний  $L$ . Величины  $\beta_{ij}$  определяются соотношениями

$$\beta_{ij} = (\mathbf{L}_i^{-1})' D_1 \mathbf{L}_j, \quad (i, j = 1, 2, \dots, 3N-6) \quad (16)$$

с матрицей возмущения  $D_1$ .

На основании матричного уравнения нормальных колебаний после подстановки в него введенных матриц получают уравнение

$$(D + \varepsilon D_1) \mathbf{L}_i(\varepsilon) = \lambda_i(\varepsilon) \mathbf{L}_i(\varepsilon), \quad (i = 1, 2, \dots, 3N-6). \quad (17)$$

Подставляя в (17) степенные ряды для собственных векторов (14) и собственных значений (13) и приравнивая коэффициенты слева и справа, при одинаковых степенях параметра  $\varepsilon$  записывают систему равенств

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} (\lambda_j - \lambda_i) t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j + D_1 \mathbf{L}_i = k_1^{\lambda_i} \mathbf{L}_i \quad (i = 1, 2, \dots, 3N-6). \quad (18)$$

После умножения (18) слева на вектор  $(\mathbf{L}_i^{-1})'$  и учета  $(\mathbf{L}_i^{-1})' \mathbf{L}_j = 0$  ( $i \neq j$ ) определяют коэффициент для первого порядка теории возмущений разложения (13)

$$k_1^{\lambda_i} = \beta_{ii} / S_i. \quad (19)$$

Выражение для возмущения первого порядка собственного вектора  $\mathbf{L}_i^{-1}$  получается, если (18) умножить слева на  $(\mathbf{L}_i^{-1})'$  и записать уравнение

$$(\lambda_j - \lambda_i) t_{j1}^{\lambda_i} S_j + \beta_{ij} = 0, \quad (i \neq j; j = 1, 2, \dots, 3N-6), \quad (20)$$

из которого находят коэффициент первого порядка возмущений в разложении (14)

$$t_{j1}^{\lambda_i} = \frac{\beta_{ij}}{(\lambda_i - \lambda_j) S_j} \quad (i \neq j; j = 1, 2, \dots, 3N-6). \quad (21)$$

Тогда вклад первого порядка теории возмущений для собственного вектора  $\mathbf{L}_i$  определяется выражением

$$\mathbf{L}_i^{(1)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} \frac{\beta_{ij}}{(\lambda_i - \lambda_j)} \mathbf{L}_j, \quad (i = 1, 2, \dots, 3N-6). \quad (22)$$

Из формулы (22) видно, что собственный вектор, соответствующий собственному значению  $\lambda_i$  по величине, чувствителен к возмущениям, если  $\lambda_i$  по величине будет достаточно близким к какому-либо другому собственному значению, то есть при колебательном резонансе первого порядка  $\omega_i \approx \omega_j$ .

Формулы для возмущений собственных значений и собственного вектора второго порядка получаются, если в (17) приравнять коэффициенты при  $\varepsilon^2$  и записать уравнение

$$D \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j2}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) + D_1 \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) = k_2^{\lambda_i} \mathbf{L}_i + k_1^{\lambda_i} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) + \lambda_i \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j2}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right), \quad (23)$$

из которого после преобразований с учетом  $D\mathbf{L}_i = \lambda_j \mathbf{L}_j$  получается матричное равенство

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j2}^{\lambda_i} (\lambda_j - \lambda_i) \mathbf{L}_j + D_1 \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) = k_2^{\lambda_i} \mathbf{L}_i + k_1^{\lambda_i} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right). \quad (24)$$

Умножение (24) слева на  $(\mathbf{L}_i^{-1})'$  дает возможность получить определяющие выражения для вкладов второго порядка теории возмущений  $k_2^{\lambda_i}$  ряда (14) и после умножения (24) слева на  $\mathbf{L}$  определяем  $t_{j2}^{\lambda_i}$  из (12), и также выражение для  $\mathbf{L}_i^{(2)}$  векторов соответственно

$$k_2^{\lambda_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \beta_{ji}, \quad (25)$$

$$t_{j2}^{\lambda_i} = t_{ji} \frac{k_1^{\lambda_i} - \beta_{jj}}{\lambda_j - \lambda_i}, \quad (26)$$

$$\mathbf{L}_i^{(2)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j2}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j, \quad (j \neq i; j = 1, 2, \dots, 3N-6). \quad (27)$$

При рассмотрении возмущений  $n$ -го порядка для собственных значений и собственных векторов в уравнения (17) после подстановки в него степенных рядов и приравнивания коэффициентов при  $\varepsilon^n$  получают уравнения для величин  $k_n^{\lambda_i}$  и  $t_{jn}^{\lambda_i}$ , определяющих возмущения  $\lambda_i^{(n)}$  и  $\mathbf{L}_i^{(n)}$  для членов  $n$ -го порядка

$$k_n^{\lambda_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{jn-1}^{\lambda_i} \beta_{ji}, \quad (28)$$

$$t_{jn}^{\lambda_i} = (t_{jn-1}^{\lambda_i} (k_1^{\lambda_i} - \beta_{jj}) + \dots + k_{n-1}^{\lambda_i} t_{j1}^{\lambda_i}) / (\lambda_i - \lambda_j), \quad (29)$$

$$\mathbf{L}_i^{(n)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{jn}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j, \quad (j \neq i; j = 1, 2, \dots, 3N-6). \quad (30)$$

Поскольку координаты  $i$ -го собственного вектора  $\mathbf{L}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ) являются элементами  $i$ -го столбца матрицы  $\mathbf{L}$  формы нормальных колебаний колебательного уравнения, то существует представление возмущенной матрицы  $\mathbf{L}(\varepsilon)$  сходящимся матричным рядом

$$\mathbf{L}(\varepsilon) = \mathbf{L} + \varepsilon \mathbf{L}^{(1)} + \varepsilon^2 \mathbf{L}^{(2)} + \dots + \varepsilon^n \mathbf{L}^{(n)} + \dots, \quad (31)$$

для которого выполняется условие  $\mathbf{L}(\varepsilon) \rightarrow \mathbf{L}$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$ . В формуле (31) каждая матрица  $n$ -го порядка возмущений  $\mathbf{L}^{(n)}$  определяется координатами векторов  $\mathbf{L}^{(n)}$  ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ) (30), которые являются элементами ее столбцов.

Таким образом, полученные по схеме алгебраического метода матричной теории возмущений [10] формулы (28)-(31) определяют вклады изменений частот в (13) и элементов формы в (14) возбужденных колебаний молекул.

**Алгоритмы определения аналитических возмущений спектроскопических параметров.** В матричной теории численного спектрального анализа [10] исследуются возмуще-

ния собственных значений и собственных векторов при условии, что для исходной матрицы существует возмущение только первого порядка  $A(\varepsilon) = (A + \varepsilon A_1)$ . Современное состояние этой проблемы предполагает существование для матрицы  $A(\varepsilon)$  аналитического возмущения, согласно определению которого, она представляется в виде степенного сходящегося ряда по параметру возмущений от  $\varepsilon$ . Такое представление матрицы  $A(\varepsilon)$  способствует дальнейшему развитию метода матричной теории возмущений, предложенного Уилкинсоном [10], делает его эффективным и обеспечивает более точные численные расчеты в прикладных задачах колебательной спектроскопии. В настоящей работе, исходя из аналитического возмущения матрицы  $D(\varepsilon)$ , получены новые формулы для изменений собственных значений и соответствующих собственных векторов, начиная со второго порядка теории возмущений. Возмущенная матрица  $D(\varepsilon)$  представляется сходящимся матричным рядом

$$D(\varepsilon) = D + \varepsilon D_1 + \varepsilon^2 D_2 + \dots + \varepsilon^n D_n + \dots \quad (32)$$

Для этой матрицы  $D(\varepsilon)$  запишем уравнение возмущенных колебаний молекул  $D(\varepsilon)L(\varepsilon) = \Lambda(\varepsilon)L(\varepsilon)$ . Подставив в него ряд матрицы  $D(\varepsilon)$  (32), а для каждого  $\mathbf{L}_i(\varepsilon)$  (14) и  $\lambda_i(\varepsilon)$  (13) ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ), получим равенство

$$\begin{aligned} & (D + \varepsilon D_1 + \varepsilon^2 D_2 + \dots)(\mathbf{L}_i + \varepsilon \mathbf{L}_i^{(1)} + \varepsilon^2 \mathbf{L}_i^{(2)} + \dots) = \\ & = (\lambda_i + \varepsilon \lambda_i^{(1)} + \varepsilon^2 \lambda_i^{(2)} + \dots)(\mathbf{L}_i + \varepsilon \mathbf{L}_i^{(1)} + \varepsilon^2 \mathbf{L}_i^{(2)} + \dots). \end{aligned} \quad (33)$$

Если приравнять коэффициенты слева и справа в (33) при степени  $\varepsilon^2$ , то имеем

$$D_2 \mathbf{L}_i + D_1 \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) + D \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j2}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) = k_2^{\lambda_i} \mathbf{L}_i + k_1^{\lambda_i} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right) + \lambda_i \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j2}^{\lambda_i} \mathbf{L}_j \right). \quad (34)$$

Умножим (34) слева на вектор  $(\mathbf{L}_i^{-1})$ ; после преобразований и использования введенных обозначений

$$\begin{aligned} \beta_{ij} &= \beta_{ij}^{(1)} = (\mathbf{L}_i^{-1})' D_1 \mathbf{L}_j, \\ \beta_{ij}^{(n)} &= (\mathbf{L}_i^{-1})' D_n \mathbf{L}_j, \quad (n = 2, 3, \dots) \end{aligned} \quad (35)$$

определяем коэффициент возмущения второго порядка для собственного значения следующим образом

$$k_2^{\lambda_i} = \beta_{ii}^{(2)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} t_{j1}^{\lambda_i} \beta_{ij}^{(1)}. \quad (36)$$

Если теперь умножить (34) слева на вектор  $(\mathbf{L}_j^{-1})$ , то имеем уравнение

$$\beta_{ji}^{(2)} + t_{j1}^{\lambda_i} \beta_{jj}^{(1)} + \lambda_j t_{j2}^{\lambda_i} = k_1^{\lambda_i} t_{j1}^{\lambda_i} + \lambda_i t_{j2}^{\lambda_i},$$

из которого находим коэффициенты возмущения второго порядка для собственных векторов

$$t_{j2}^{\lambda_i} = ((k_1^{\lambda_i} - \beta_{jj}^{(1)}) t_{j1}^{\lambda_i} - \beta_{ji}^{(2)}) / (\lambda_j - \lambda_i). \quad (37)$$

Для коэффициентов возмущений третьего порядка получим следующие выражения

$$\begin{aligned} k_3^{\lambda_i} &= \beta_{ii}^{(3)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} \beta_{ij}^{(2)} t_{j1}^{\lambda_i} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} \beta_{ij}^{(1)} t_{j2}^{\lambda_i}, \\ t_{j3}^{\lambda_i} &= ((k_1^{\lambda_i} - \beta_{jj}^{(1)}) t_{j2}^{\lambda_i} + (k_2^{\lambda_i} - \beta_{jj}^{(2)}) t_{j1}^{\lambda_i} - \beta_{ji}^{(3)}) / (\lambda_j - \lambda_i), \end{aligned} \quad (38)$$

$$j \neq i.$$

$$j = 1, 2, \dots, 3N - 6.$$

Коэффициенты, определяющие вклады в возмущения  $n$ -го порядка, для  $\lambda_j$  и элементов тензора формы колебаний соответственно равны

$$k_n^{\lambda_i} = \beta_{ii}^{(n)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3N-6} (\beta_{ij}^{(n-1)} t_{j1}^{\lambda_i} + \dots + \beta_{ij}^{(1)} t_{j(n-1)}^{\lambda_i}); \quad (39)$$

$$t_{jn}^{\lambda_i} = ((k_{n-1}^{\lambda_i} - \beta_{ij}^{(n-1)}) t_{j1}^{\lambda_i} + \dots + (k_{n-1}^{\lambda_i} - \beta_{ij}^{(1)}) t_{j(n-1)}^{\lambda_i}) - \beta_{ji}^{(n)} / (\lambda_j - \lambda_i)^{-1}. \quad (40)$$

Для аналитически возмущенной матрицы элементов формы колебаний  $\mathbf{L}(\varepsilon)$  получился сходящийся ряд вида (31), но с другими возмущенными членами  $L^{(n)}$ , начиная со второго порядка, элементами каждой матрицы  $L^{(n)}$  теперь являются координаты векторов  $\mathbf{L}^{(n)}$ , которые представляются выражением, аналогичным (30), но с другими коэффициентами, вычисляемыми для  $n$ -го порядка возмущений согласно формуле (40).

Применим полученные результаты для исследования аналитических возмущений длин межатомных связей, валентных углов и других структурно-геометрических параметров молекул, происходящих при возбужденных колебаниях. В теории колебаний молекул [4, 5] соотношения между естественными колебательными координатами, столбец которых обозначается через  $R = \{q_1, q_2, \dots, q_{3n-6}\}'$ , координатами симметрии  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{3n-6}\}'$  и нормальными координатами  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{3n-6}\}'$  записываются в матричной форме следующим образом

$$R = LQ, \quad S = ULQ = ZQ, \quad (41)$$

где  $U$  – матрица преобразования естественных колебательных координат, элементы которой вычисляются по правилам теоретико-группового анализа для неприводимых представлений точечных групп симметрии и соответствующих типов симметрии [4, 5].

Аналитические возмущения и соответствующие изменения внутримолекулярных параметров возмущенных нормальных колебаний определяются изменениями элементов столбца  $R(\varepsilon)$ , для которого в исходное выражение необходимо подставить матрицу  $L(\varepsilon)$  и получить матричный ряд

$$R(\varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n L^{(n)} Q. \quad (42)$$

Линейные комбинации изменений длин межатомных связей, валентных углов и других структурно-геометрических параметров, определяемые на основании правил теории симметрии для соответствующих неприводимых типов нормальных колебаний, представлены возмущенными элементами столбца координат симметрии  $S(\varepsilon)$ . Для возбужденных колебательных состояний их аналитические представления получают в результате подстановки в определяющее выражение для  $S(\varepsilon)$  возмущенной матрицы элементов формы колебаний, и можно записать матричное выражение

$$S(\varepsilon) = U \left( \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n L^{(n)} \right) Q = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n UL^{(n)} Q, \quad (43)$$

содержащее возмущенные члены до  $n$ -го порядка.

В теории нормальных колебаний молекул [4, 5] существует формула

$$G = L\tilde{L}, \quad (44)$$

определяющая матрицу коэффициентов кинематического взаимодействия через произведение матриц элементов формы колебаний  $L$  и транспонированную для нее  $\tilde{L}$  для невозмущенных нормальных колебаний молекул.

Для выполнения теоретических исследований, определяющих влияние возмущений на матрицу коэффициентов кинематического взаимодействия  $G(\varepsilon)$  возбужденных колебательных состояний, запишем на основании (44) для возмущенной матрицы элементов формы колебаний  $L(\varepsilon)$  и транспонированной  $\tilde{L}(\varepsilon)$  выражение

$$G(\varepsilon) = L(\varepsilon)\tilde{L}(\varepsilon). \quad (45)$$

Аналитическое разложение матрицы коэффициентов кинематического взаимодействия возбужденных колебательных состояний молекул  $G(\varepsilon) = \sum_{n=0} \varepsilon^n G^n$  определяется, если подставить в (45) вместо  $L(\varepsilon) = \sum_{n=0} \varepsilon^n L^{(n)}$  полученное аналитическое представление матрицы элементов формы колебаний по степеням параметра, которое имеет место для транспонированной возмущенной матрицы  $\tilde{L}(\varepsilon)$ . Оно существует на основании определения операции транспонирования матрицы. После подстановки степенных рядов в (45) имеем равенство

$$\sum_{n=0} \varepsilon^n G^{(n)} = \left( \sum_{n=0} \varepsilon^n L^{(n)} \right) \left( \sum_{n=0} \varepsilon^n \tilde{L}^{(n)} \right), \quad (46)$$

здесь  $G^o = G$ , определенной в (44). Приравниваем матричные выражения в (46) слева и справа при одинаковых степенях параметра  $\varepsilon$  и получаем записанные в матричной форме определяющие формулы аналитического разложения возмущенной матрицы коэффициентов кинематического взаимодействия.

Для первого порядка теории возмущений матрица  $G^{(1)}$  имеет вид

$$G^{(1)} = L\tilde{L}^{(1)} + L^{(1)}\tilde{L}, \quad (47)$$

во втором порядке определяющим является матричное соотношение

$$G^{(2)} = L\tilde{L}^{(2)} + L^{(1)}\tilde{L}^{(1)} + L^{(2)}\tilde{L}, \quad (48)$$

а третьему порядку возмущений соответствует выражение

$$G^{(3)} = L\tilde{L}^{(3)} + L^{(1)}\tilde{L}^{(2)} + L^{(2)}\tilde{L}^{(1)} + L^{(3)}\tilde{L}. \quad (49)$$

Вклад в возмущение  $n$ -го порядка матрица  $G^{(n)}$  имеет вид

$$G^{(n)} = L\tilde{L}^{(n)} + L^{(1)}\tilde{L}^{(n-1)} + \dots + L^{(n-1)}\tilde{L}^{(1)} + L^{(n)}\tilde{L}. \quad (50)$$

Влияние возмущений на электрооптические параметры основных колебательных переходов определяется согласно формуле

$$\frac{\partial \boldsymbol{\mu}}{\partial Q_i} = \sum_{j=1}^{3N-6} \frac{\partial \boldsymbol{\mu}}{\partial S_j} L_{ij}(\varepsilon) = \sum_{j=1}^{3N-6} \frac{\partial \boldsymbol{\mu}}{\partial S_j} \left( \sum_{n=0} \varepsilon^n L_{ij}^{(n)} \right) = \sum_{j=1}^{3N-6} \sum_{n=0} \varepsilon^n \left( \frac{\partial \boldsymbol{\mu}}{\partial S_j} L_{ij}^{(n)} \right), \quad (51)$$

в которой  $L_{ij}(\varepsilon)$  – координаты возмущенного вектора  $\mathbf{L}_{ij}(\varepsilon)$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 3N-6$ );  $\boldsymbol{\mu}$  – дипольный момент молекулы. Каждое слагаемое в (51) определяет вклад в электрооптические параметры при возбужденных колебаниях до соответствующего  $n$ -го порядка теории возмущений.

**Выводы.** Статья посвящена решению фундаментальной проблемы колебательной спектроскопии молекул методом математического моделирования по исследованию возбужденных колебательных состояний и установлению взаимной связи между молекулой и ее свойствами. Для этой цели предложены аналитические методы исследования изменений частот и элементов тензора формы возбужденных колебаний молекул и алгоритмы определения аналитических возмущений спектроскопических параметров. Основными результатами работы являются полученные формулы (36)-(40), которые определяют вклады возмущений частот и элементов формы возбужденных колебаний молекул до  $n$ -го порядка аналитической теории возмущений. Сравнивая их с выражениями (25)-(29), полученными в рамках первого метода, предложенного Уилкинсоном, следует отметить, что, начиная со второго порядка, для коэффициентов  $k_n^{\lambda_i}$  и  $t_{j_n}^{\lambda_i}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) появляются дополнительные члены, позволяющие учитывать все вклады, соответствующие рассматриваемому порядку теории возмущений в выражениях для  $\lambda_i^{(n)}$  и  $\mathbf{L}_i^{(n)}$  ( $i = 1, 2, \dots, 3N-6$ ). Отметим, что формулы (36)-(44), полученные при аналитическом возмущении матрицы



$D(\epsilon)$  основного колебательного уравнения, обеспечивают однозначное и точное решение проблемы определения смещений центров полос и элементов формы возмущенных колебаний молекул.

Выполнены теоретические исследования, определяющие влияние аналитических возмущений элементов тензора формы колебаний на структурно-геометрические параметры молекул (42) и (43). Получены определяющие выражения возмущенных вкладов  $G^{(n)}$  (47)-(50) матрицы коэффициентов кинематического взаимодействия. Для электрооптических параметров возбужденных одноквантовых переходов (51) получены явные выражения дополнительных вкладов, которые являются определяющими величинами в изменениях интенсивностей ИК-спектров поглощения молекул. Таким образом, предложенный метод аналитической теории возмущений позволяет исследовать нелинейные возмущения до любого высокого  $n$ -го порядка и моделировать соответствующие изменения внутримолекулярных и спектроскопических параметров возбужденных и высоковозбужденных колебательных состояний многоатомных молекулярных систем. Экспериментальные методы современной колебательной спектроскопии, позволяющие измерять с высоким разрешением интенсивности слабых полос и наблюдать тонкие эффекты в ИК-спектрах молекул, подтверждают актуальность выполненных теоретических исследований по разработке новых аналитических методов для описания реальных оптических свойств многоатомных молекул.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А. Ельяшевич. М.: Физматгиз, 1962. 890 с.
2. Вильсон Е. Теория колебательных спектров молекул / Е. Вильсон, Дж. Дешиус, П. Кросс. М.: Наука, 1960. 357 с.
3. Грибов Л.А. Теория интенсивностей в инфракрасных спектрах многоатомных молекул / Л.А. Грибов. М.: АН СССР, 1963. 155 с.
4. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1972. 700 с.
5. Колебания молекул / М.В. Волькенштейн, Л.А. Грибов, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. М.: Наука, 1972. 700 с.
6. Гантмахер Р.Ф. Теория матриц / Р.Ф. Гантмахер. М.: Наука, 1998. 350 с.
7. Грибов Л.А. Введение в теорию и расчет колебательных спектров многоатомных молекул / Л.А. Грибов. М.: ЛГУ, 1965. 124 с.
8. Эляшберг Е. Молекулярный спектральный анализ и ЭВМ / Е. Эляшберг, Л.А. Грибов, В.В. Серов. М.: Наука, 1980. 307 с.
9. Грибов Л.А. Моделирование колебательных спектров сложных соединений на ЭВМ / Л.А. Грибов, В.А. Дементьев. М.: Наука, 1989. 160 с.
10. Уилкинсон Дж.Х. Алгебраическая проблема собственных значений / Дж.Х. Уилкинсон. М.: Наука, 1970. 564 с.
11. Deif A.S. Rigorous perturbation bounds for eigenvalues and eigenvectors of a matrix / A.S. Deif // Journal of Computational and Applied Mathematic. 1995. Vol. 57. P. 403-412.
12. Гавва С.П. Алгебраический метод исследований возбужденных колебательных переходов / С.П. Гавва // Известия вузов. Физика. 2001. № 6. С. 58-61.

**Гавва Светлана Павловна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная физика» Саратовского государственного технического университета

**Gavva Svetlana Pavlovna** – Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Assistant Professor of the Department of «Applied Physics» of Saratov State Technical University

**Сальников Александр Николаевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Прикладная физика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Salnikov Aleksandr Nikolayevich** –  
Doctor of Technical Science, Professor,  
Head of the Department of «Applied Physics»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 10.11.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 539.3:534.1

**Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович**

**О ВЛИЯНИИ НАЧАЛЬНЫХ НЕПРАВИЛЬНОСТЕЙ  
И МАЛОЙ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ НА РАСЩЕПЛЕНИЕ ИЗГИБНОГО  
ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ТОНКИХ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

*Изучается влияние динамической асимметрии в виде начальных неправильностей и малой присоединенной массы на собственные изгибные колебания тонкой бесконечно длинной круговой цилиндрической оболочки (кольца, находящегося в условиях плоской деформации). Уравнения движения кольца получены из уравнений теории пологих оболочек. Предлагается новый подход к построению конечномерной модели кольца. Полученные результаты позволяют уточнить ряд фундаментальных представлений об изгибных колебаниях тонкой круговой цилиндрической оболочки конечной длины с динамической асимметрией.*

Круговая цилиндрическая оболочка, начальные неправильности, малая присоединенная масса, расщепление изгибного частотного спектра.

**N.A. Taranukha, G.S. Leyzerovich**

**INITIAL IMPERFECTIONS AND A SMALL APPARENT MASS INFLUENCE  
ON THIN CIRCULAR CYLINDRICAL SHELLS FLEXURAL FREQUENCY  
SPECTRUM SPLITTING**

*An effect of dynamic asymmetry in view initial imperfections and a small apparent mass on free flexural vibrations of a thin infinitely long circular cylindrical shell (ring located in conditions of plane deformation) is studied. The equations of motion for a ring are obtained from equations of the theory of shallow shells. The new approach to construction of finite-dimensional model of a ring is offered. Received results are permitting to state a series of fundamental representations about flexural vibrations of circular cylindrical shell of finite length with dynamic asymmetry.*

Circular cylindrical shell, initial imperfections, small apparent mass, flexural frequency spectrum splitting.

**Введение.** Известно, что начальные неправильности, неизбежные у реальной оболочки, расщепляют изгибный частотный спектр. Удвоение частотного спектра, имеющее большое теоретическое и практическое значение, наблюдается и у оболочки, несущей малую массу. Вследствие того, что начальные неправильности, согласно [1, 2], увеличивают частоту основного тона, а присоединенная масса ее уменьшает, считается, что соответствующим подбором величины и точки крепления массы к несовершенной оболочке, нежелательный эффект расщепления изгибного частотного спектра может быть полностью устранен [1].

В настоящей работе эта возможность подвергается дополнительному анализу. Для изучения особенностей движения оболочки с упомянутой динамической асимметрией рассматривается более простая, но близкая к обсуждаемой проблеме задача о совместном влиянии начальных неправильностей и малой массы, равномерно распределенной вдоль образующей, на собственные изгибные колебания тонкой бесконечно длинной оболочки (кольца, находящегося в условиях плоской деформации).

## 1. Математическая модель

**1.1. Уравнения движения.** Анализ основан на уравнениях теории пологих оболочек [3], которые использованы и в [1]. Для кольца, находящегося в условиях плоской деформации, радиуса  $R$  и толщиной  $h$ , имеющего начальные неправильности  $w_0(y)$  и несущего малую массу  $M$ , эти уравнения принимают вид

$$\frac{\partial N_y}{\partial y} = 0; \quad D \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = N_y \left( \frac{1}{R} + \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \right) - [\rho h + M \delta(y - y_0)] \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где  $w(y, t)$  – динамический прогиб;  $D = Eh^3 / (12(1 - \mu^2))$  – цилиндрическая жесткость;  $E$  – модуль Юнга;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\rho$  – массовая плотность;  $y$  – окружная координата;  $y_0$  – координата точки крепления массы;  $\delta$  – функция Дирака;  $t$  – время.

Из первого уравнения (1) следует, что окружное погонное динамическое усилие в оболочке  $N_y$  зависит только от времени:

$$N_y(t) = Eh [\partial v / \partial y - w / R + (\partial w / \partial y)(\partial w_0 / \partial y)] / (1 - \mu^2) = Eh \alpha(t) / (1 - \mu^2). \quad (2)$$

Точность уравнений (1) ограничена теми же пределами, что и точность уравнений теории пологих оболочек. При малом числе окружных волн  $n$  второе уравнение (1) можно уточнить, заменив изгибный член  $D(\partial^4 w / \partial y^4)$  на  $D(\partial^2 / \partial y^2 + 1/R^2)(\partial^2 w / \partial y^2 + w/R^2)$ , как это сделано в [4]. Однако мы этого делать не будем, поскольку целью настоящего исследования является получение не столько количественной, сколько качественной оценки влияния динамической асимметрии на изгибные колебания кольца при соблюдении условия  $n^2 \gg 1$ , которое, как известно, всегда выполняется при колебаниях оболочки конечной длины.

**1.2. Условие «возврата».** Все величины, определяющие напряженно-деформированное состояние кольца, должны возвращаться к своим прежним значениям после обхода его контура. Для окружного перемещения  $v(y, t)$  условие «возврата», с учетом (2), записывается в виде

$$\int_0^{2\pi R} \frac{\partial v}{\partial y} dy = \int_0^{2\pi R} \left[ \frac{w}{R} - \frac{\partial w_0}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} + \alpha(t) \right] dy = 0. \quad (3)$$

**1.3. Начальные неправильности.** Будем считать, что кольцо имеет синусоидальные начальные отклонения от идеальной круговой формы:

$$w_0(y) = ha_0 \sin(\beta y + \varphi_0); \quad \beta = n/R, \quad (4)$$

где  $a_0$  – безразмерная амплитуда;  $\varphi_0$  – фазовый угол.

**1.4. Конечномерная модель кольца.** При использовании вариационных методов одним из ключевых моментов является построение конечномерной модели кольца или, иными

словами, выбор аппроксимирующего выражения для его прогиба  $w(y, t)$ . Экспериментально установлено [1], что начальные неправильности и (или) присоединенная масса приводят к взаимодействию сопряженных изгибных форм (форм, сдвинутых в окружном направлении на угол  $\pi/2$ ). Поэтому традиционно считается, что в первом приближении прогиб кольца может быть аппроксимирован выражением

$$w(y, t) = h[a_1(t) \sin \beta y + a_2(t) \cos \beta y]. \quad (5)$$

Сопряженные формы  $\sin \beta y$  и  $\cos \beta y$  в (5) являются формами собственных изгибных колебаний динамически симметричного кольца. Они отвечают одному и тому же числу окружных волн  $n$ . Этим формам соответствует одна и та же собственная частота.

В настоящей работе предлагается иной подход к построению конечномерной модели кольца. Считается, что возбуждение изгибных колебаний кольца с динамической асимметрией по одной из собственных форм неизбежно приводит к возникновению радиальных колебаний. Радиальные колебания, в свою очередь, генерируют сопряженную изгибную форму [5-7]. Таким образом, в отличие от традиционного подхода, предполагается, что динамическая асимметрия связывает сопряженные изгибные формы не «напрямую», а через радиальные колебания, выступающие в качестве своеобразной инерционной связи. Аппроксимирующее выражение для прогиба при таком подходе представляется в виде

$$w(y, t) = h[a(t) \sin(\beta y + \varphi) + b(t)] = h[a_1(t) \sin \beta y + a_2(t) \cos \beta y + b(t)], \quad (6)$$

где  $a_1(t) = a(t) \cos \varphi$ ;  $a_2(t) = a(t) \sin \varphi$ , а координата  $b(t)$  отвечает радиальным колебаниям.

Заметим, что в новом подходе движение кольца с динамической асимметрией напоминает описанное Х. Гюйгенсом явление самосинхронизации двух маятников, установленных на общем податливом основании, когда колебания одного маятника вызывает некоторое движение основания, а последнее, в свою очередь, возбуждает колебания второго маятника.

## 2. Традиционное решение

Сначала решим задачу, используя традиционную конечномерную модель (5). Подстановка (4) и (5) в (2) позволяет найти функцию  $\alpha(t)$ , а затем и усилие  $N_y$ . Ортогонализация второго уравнения (1) к форме прогиба (5) приводит к системе двух связанных модальных уравнений:

$$\begin{aligned} \ddot{a}_1 + (1 + 6a_0^2 \cos^2 \varphi_0) a_1 + 3a_0^2 \sin 2\varphi_0 a_2 + 2\gamma_k \sin \psi &= 0; \\ \ddot{a}_2 + 3a_0^2 \sin 2\varphi_0 a_1 + (1 + 6a_0^2 \sin^2 \varphi_0) a_2 + 2\gamma_k \cos \psi &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Точками в (7) обозначено дифференцирование по безразмерному времени  $\tau = \lambda t$ , где  $\lambda = \sqrt{Dn^4 / \rho h R^4}$  –  $n$ -я собственная частота динамически симметричного кольца ( $n^2 \gg 1$ );  $\gamma_k = M(\ddot{a}_1 \sin \psi + \ddot{a}_2 \cos \psi) / M_0$ , где  $M_0$  – масса кольца, а индекс « $k$ » означает, что решение является традиционным;  $\psi = \beta y_0$ .

Уравнения, аналогичные (7), могут быть получены, например, из уравнений работы [1] при устремлении длины оболочки к бесконечности.

Из частотного уравнения

$$\Omega_{0k}^4 (1 + 2M/M_0) - \Omega_{0k}^2 [2 + 6a_0^2 + 2M/M_0 + 12Ma_0^2 \cos^2(\varphi_0 + \psi) / M_0] + 1 + 6a_0^2 = 0, \quad (8)$$

соответствующего системе (7), могут быть найдены две безразмерные собственные частоты кольца с динамической асимметрией  $\Omega_{01k} = \lambda_{01k} / \lambda$  и  $\Omega_{02k} = \lambda_{02k} / \lambda$ , которые в общем случае не равны между собой. Следовательно, изгибный частотный спектр кольца с начальными неправильностями и (или) присоединенной массой расщепляется.

Изучим сначала влияние каждого из факторов динамической асимметрии в отдельности. Пусть кольцо имеет только начальные отклонения ( $M \equiv 0$ ). Тогда из (8) можно найти

$$\Omega_{01k}^2 = 1; \quad \Omega_{02k}^2 = 1 + 6a_0^2. \quad (9)$$

Согласно (9), первая из расщепленных частот  $\Omega_{01k}$  не зависит от амплитуды начальных отклонений, а вторая частота  $\Omega_{02k}$  существенно возрастает по сравнению со случаем идеального кольца. Расстройка квадратов собственных частот  $\Delta_k = \Omega_{02k}^2 - \Omega_{01k}^2 = 6a_0^2$  в традиционном решении может оказаться очень значительной, что противоречит известным опытным данным [1], согласно которым расщепление изгибного частотного спектра невелико. Причина такого, вероятно, ошибочного, результата кроется, на наш взгляд, в конечно-мерной модели (5).

Рассмотрим теперь случай, когда идеальное кольцо ( $w_0(y) \equiv 0$ ) несет малую массу  $M$ . Тогда квадраты собственных частот, согласно (8), равны

$$\Omega_{01k}^2 = 1/(1 + 2M/M_0); \quad \Omega_{02k}^2 = 1. \quad (10)$$

Теперь изучим совместное влияние начальных неправильностей и присоединенной массы на расщепление изгибного частотного спектра. Рассмотрим частный случай, когда, например,  $\psi = -\varphi_0$ . Тогда из (8) находим

$$\Omega_{01k}^2 = 1; \quad \Omega_{02k}^2 = (1 + 6a_0^2)/(1 + 2M/M_0). \quad (11)$$

Из второй формулы (11) видно, что при присоединенной массе, равной  $M = 3a_0^2M_0$ , частоты  $\Omega_{01k} = \Omega_{02k} = 1$ . Следовательно, нежелательный эффект расщепления частотного спектра, согласно традиционному решению, может быть полностью устранен.

Ниже этот вывод будет поставлен под сомнение.

### 3. Новое решение

Подстановка (6) и (4) в (3) позволяет найти усилие  $N_y$ . Ортогонализация второго уравнения (1) к форме прогиба (6) приводит к модальным уравнениям, описывающим связанные изгибно-радиальные колебания кольца с динамической асимметрией:

$$\begin{aligned} \ddot{a}_1 + a_1 + \varepsilon^{0.5} a_0 \cos \varphi_0 \ddot{b} + \gamma(\varepsilon^{0.5} a_0 \cos \varphi_0 + 2 \sin \psi) &= 0; \\ \ddot{a}_2 + a_2 + \varepsilon^{0.5} a_0 \sin \varphi_0 \ddot{b} + \gamma(\varepsilon^{0.5} a_0 \sin \varphi_0 + 2 \cos \psi) &= 0; \\ \ddot{b} + 12b/\varepsilon - 6a_0(a_1 \cos \varphi_0 + a_2 \sin \varphi_0)/\varepsilon^{0.5} + \gamma &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\gamma = M(\ddot{a}_1 \sin \psi + \ddot{a}_2 \cos \psi + \ddot{b})/M_0$ ;  $\varepsilon = (n^2 h/R)^2$ .

Частотное уравнение, соответствующее (12), определяет три собственные частоты. Первым двум частотам  $\Omega_{01}$  и  $\Omega_{02}$  соответствуют преимущественно изгибные, а третьей  $\Omega_{03}$  – преимущественно радиальные колебания кольца.

Изучим сначала влияние каждого из факторов динамической асимметрии в отдельности. Пусть кольцо имеет только начальные неправильности ( $M \equiv 0$ ). Тогда квадраты собственных частот определяются по формулам:

$$\Omega_{01}^2 \approx 1 - \varepsilon a_0^2/2; \quad \Omega_{02}^2 = 1; \quad \Omega_{03}^2 \approx 12/\varepsilon + 6a_0^2. \quad (13)$$

Из (12) следует, что в новом решении начальные неправильности уменьшают низшую частоту  $\Omega_{01}$  по сравнению со случаем идеального кольца. Расстройка квадратов частот преимущественно изгибных колебаний несовершенного кольца очень незначительна и равна  $\Delta = \Omega_{02}^2 - \Omega_{01}^2 = \varepsilon a_0^2/2$ . В отличие от традиционного решения она зависит не только от амплитуды начальных неправильностей, но и от малого параметра  $\varepsilon$ .

Рассмотрим теперь идеальное кольцо ( $w_0(y) \equiv 0$ ), несущее малую массу  $M$ . Квадраты собственных частот, соответствующие (12), в этом случае равны

$$\Omega_{01}^2 \approx 1 - 2M/M_0; \quad \Omega_{02}^2 = 1; \quad \Omega_{03}^2 \approx 12(1 - M/M_0)/\varepsilon. \quad (14)$$

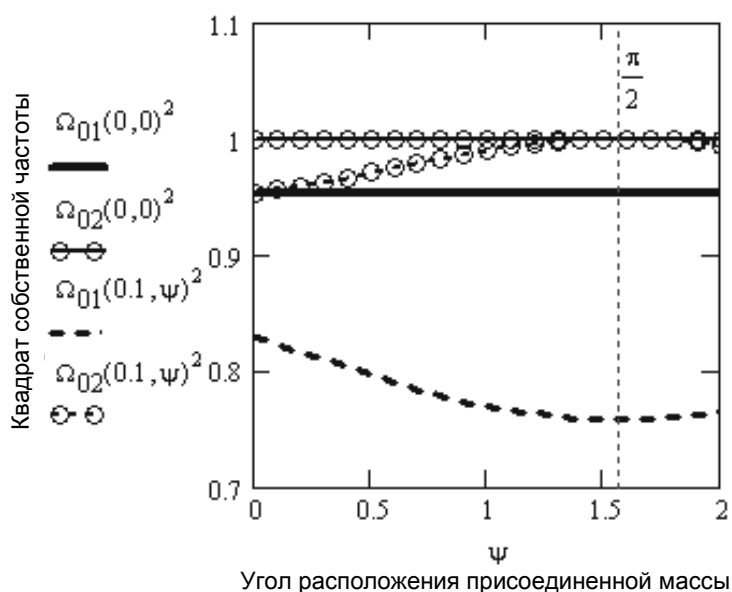
Из (14) видно, что все три собственные частоты не зависят от места крепления массы к оболочке. Изгибный частотный спектр оболочки, несущей малую массу, всегда расщепляется. При этом расстройка квадратов собственных частот незначительна:  $\Delta = \Omega_{02}^2 - \Omega_{01}^2 \approx 2M/M_0$ .

Полученные результаты позволяют установить аналогию между поведением кольца с начальными неправильностями и идеального кольца, несущего малую массу. Наблюдаются следующие одинаковые эффекты: взаимодействие изгибных и радиальных колебаний; инерционная связанность сопряженных изгибных форм, обусловленная радиальными колебаниями; незначительное расщепление частотного спектра, сопровождающееся снижением основной частоты; независимость частотного спектра от расположения несовершенств по контуру кольца в одном случае и от места крепления массы к кольцу в другом.

Изучим теперь совместное влияние начальных отклонений и малой присоединенной массы. Анализ модальных уравнений (12), а также формул (13) и (14) показывает, что их совместное влияние усиливает инерционную связь между координатами  $a_1(\tau)$  и  $a_2(\tau)$ , что, в свою очередь, должно приводить к увеличению расстройки собственных частот  $\Omega_{01}$  и  $\Omega_{02}$ .

Этот факт подтверждают и выполненные расчеты, представленные на рисунке. Рассмотрено кольцо, имеющее начальные отклонения с амплитудой  $a_0 = 1$ . Фазовый угол  $\varphi$  принят равным нулю, а параметр  $\varepsilon = 0,1$ . Сплошные линии на рисунке (с кружочками и без кружочков) иллюстрируют расщепление изгибного частотного спектра кольца, имеющего только начальные неправильности. Штриховые линии (с кружочками и без кружочков) относятся к несовершенному кольцу, несущему массу  $M_0 = 0,1M$ .

Из графика видно, что расстройка собственных частот несовершенного кольца, несущего массу, зависит от места крепления массы к кольцу  $y_0$  в отличие от идеального кольца с массой. В частности, для кольца с рассмотренными параметрами наибольшее расщепление изгибного частотного спектра имеет место при угле  $\psi = \beta y_0$ , сдвинутом по отношению к фазовому углу  $\varphi_0$  на угол, равный  $\pi/2$ .



Расщепление изгибного частотного спектра

**Выводы.** Выполненное исследование показало, что динамическая асимметрия в виде начальных неправильностей и (или) присоединенной массы приводит к взаимодействию изгибных колебаний кольца с радиальными и всегда расщепляет изгибный частотный спектр. При этом низшая собственная частота снижается по сравнению со случаем динамически симметричного кольца.

Эти выводы изменяют сложившуюся в настоящее время точку зрения по данному вопросу. Они, по-видимому, могут потребовать уточнения большинства уже решенных линейных, а также геометрически нелинейных задач динамики оболочек конечной длины с динамической асимметрией.

Работа выполнена в рамках гранта 2.1.2/3046 Министерства образования и науки РФ по целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы. Проведение фундаментальных исследований».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кубенко В.Д. Нелинейное взаимодействие форм изгибных колебаний цилиндрических оболочек / В.Д. Кубенко, П.С. Ковальчук, Т.С. Краснопольская. Киев: Наукова думка, 1984. 220 с.
2. Ладыгина Е.В. Нелинейные свободные изгибные колебания цилиндрической оболочки с учетом взаимодействия сопряженных форм / Е.В. Ладыгина, А.И. Маневич // Известия РАН МТТ. 1997. № 3. С. 169-175.
3. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир. М.: Наука, 1972. 432 с.
4. Evensen D.A. Nonlinear flexural vibrations of thin circular rings / D.A. Evensen // Trans. ASME. J. Appl. Mech. E. 1965. Vol. 33. № 3. P. 553-560.
5. Тарануха Н.А. Динамика «неправильных» оболочек / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович. Владивосток: Дальнаука, 2005. 423 с.
6. Тарануха Н.А. Новые решения в динамике «неправильных» оболочек / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович. Владивосток: Дальнаука, 2007. 203 с.
7. Лейзерович Г.С. Неочевидные особенности динамики круговых цилиндрических оболочек / Г.С. Лейзерович, Н.А. Тарануха // Известия РАН МТТ. 2008. № 2. С. 96-105.

**Тарануха Николай Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

**Taranukha Nikolay Alekseyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Shipbuilding» of Komsomolsk-na-Amure State Technical University

**Лейзерович Григорий Самуилович** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Механика и анализ процессов и конструкций» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

**Leyzerovich Grigoriy Samuilovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor of the Department of «Mechanics and Analyses of Processes and Structures» of Komsomolsk-na-Amure State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.05.09, принята к опубликованию 14.01.10*

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

УДК 621.873

**Л.В. Барановская**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПРОЕКЦИЙ ГРАДИЕНТА ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ**

*Рассмотрен алгоритм метода проекций градиента, применяемого при оптимальном проектировании металлоконструкций тяжелых козловых кранов. Указаны преимущества метода. Представлена математическая модель оптимизационной задачи для крана К2×190 Балаковской АЭС в виде целевой функции и ограничений-неравенств. Приведены результаты расчета крана на оптимальность с использованием метода проекций градиента.*

Козловые краны, оптимальное проектирование, условная оптимизация, метод проекций градиента.

**L.V. Baranovskaya**

### **GRADIENT PROJECTION METHOD APPLICATION IN HEAVY ANGLE CRANES OPTIMAL DESIGNING**

*The algorithm of gradient projection method, used in optimal designing of metal constructions of heavy angle cranes is described in the article. The advantages of this method are pointed out. The paper shows a mathematical model of optimal task for crane K1x190 of Balakovo NPP (Nuclear Power Plant) in the form of purpose and limit of inequality functions. The results of the calculations of crane optimization according to gradient projection method are given here.*

Angle cranes, optimal designing, conditional optimization, gradient projection method.

Эксплуатационная надежность, энергоемкость, стоимость, масса подъемно-транспортных машин в значительной степени определяются их металлическими конструкциями. Поэтому создание рациональных конструктивных схем металлоконструкций является важной задачей, которая решается методами оптимального проектирования. Выбор оптимальных металлоконструкций для тяжелых козловых кранов особенно важен, т.к. они изготавливаются в единичном или мелкосерийном производстве, нет возможности испытаний их опытных образцов, а схемы отличаются сложностью и разнообразием.



При оптимальном проектировании тяжелых козловых кранов в качестве критерия оптимальности выбирается металлоемкость металлоконструкции. Получение наименьших значений металлоемкости требует учета большого количества ограничений – на прочность, общую и местную устойчивость, статическую жесткость, динамическую жесткость, время затухания колебаний.

Решаемая задача является нелинейной многомерной задачей условной оптимизации. Существуют прямые и градиентные методы ее решения. Из прямых методов оптимизации широко применяется модифицированный метод Хука – Дживса. Преимущество метода состоит в том, что не требуется дифференцируемости целевой функции, используются только ее значения в заданных точках. Однако модифицированный метод Хука – Дживса уступает градиентным методам в скорости сходимости и точности получаемых решений. Из градиентных методов условной оптимизации представляет интерес для решения поставленной задачи метод проекции градиента, т.к. он позволяет найти оптимальное решение на границе области допустимых значений.

Основные процедуры метода проекций градиента рассмотрим на примере решения нелинейной многомерной задачи условной оптимизации, которая имеет вид:

$$\text{минимизировать } f(x) \text{ при нелинейных ограничениях } g_j(x) \geq 0 \quad j = \overline{1, J},$$

где  $x = (x_1 \dots x_n)$  – переменные задачи.

Пусть  $x^0$  – допустимая точка, удовлетворяющая ограничениям. Предположим, что некоторые ограничения выполняются как равенства в  $x^0$ , т.е. являются активными. Производим линеаризацию активных ограничений по формуле:

$$g_j(x) \approx g_j(x^0) + \nabla g_j(x^0)(x - x^0),$$

где

$$\nabla g_j(x^0) = \left\{ \frac{\partial g_j(x^0)}{\partial x_1} \quad \dots \quad \frac{\partial g_j(x^0)}{\partial x_n} \right\} -$$

градиент функции  $g_j(x)$  в  $x^0$ .

Так как рассматриваем активные ограничения, то  $g_j(x^0) = 0$ . Следовательно, в результате линеаризации получаем:

$$g_j(x) \approx \nabla g_j(x^0)(x - x^0) \stackrel{\text{обозначим}}{=} g_j^*(x).$$

Если ограничение  $g_j(x) = 0$  является плоской кривой, то  $g_j^*(x) = 0$  – касательная к этой кривой (рис. 1). Если  $g_j(x) = 0$  – поверхность, то  $g_j^*(x) = 0$  – касательная плоскость.

После линеаризации активных ограничений находим антиградиент  $-\nabla f(x^0)$  целевой функции, определяющий направление наискорейшего убывания целевой функции в  $x^0$ . Проекция антиградиента на линеаризованные ограничения определяется по формуле:

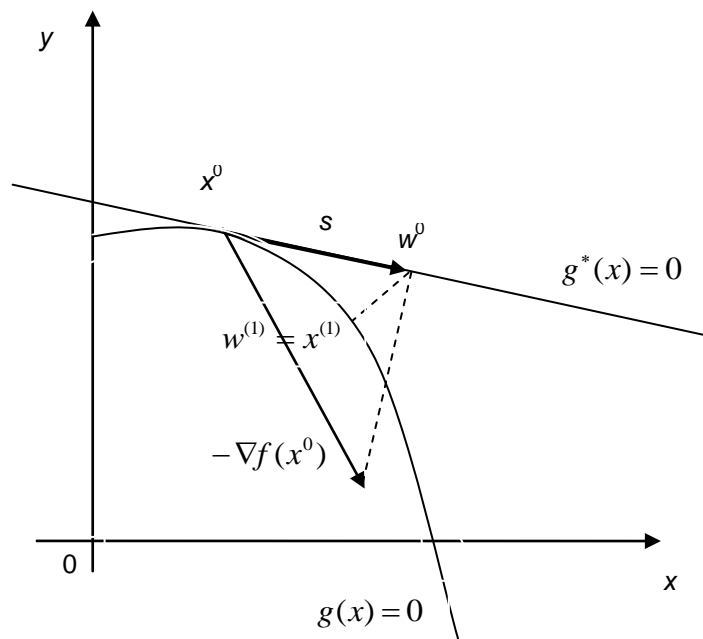


Рис. 1

$$s(x^0) = -P \cdot \nabla f(x^0),$$

где

$$P = I - A^T (AA^T)^{-1}$$

$A$  – проекционная матрица,

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial g_1(x^0)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_1(x^0)}{\partial x_n} \\ & \dots & \\ \frac{\partial g_j(x^0)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_j(x^0)}{\partial x_n} \\ & \dots & \\ \frac{\partial g_J(x^0)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_J(x^0)}{\partial x_n} \end{pmatrix},$$

где  $J$  – количество активных ограничений.

При перемещении из  $x^0$  вдоль направления  $s(x^0)$  может быть получена недопустимая точка  $w^0$  (рис. 1). Для возвращения в область допустимых значений опускаем перпендикуляр к поверхности ограничений из  $w^0$ . Точка на границе области допустимых значений может быть определена в несколько шагов согласно итерационной формуле:

$$w^{i+1} = w^i - A^T (AA^T)^{-1} g,$$

где  $g$  – вектор значений активных ограничений в точке  $w^i$ .

Указанные процедуры лежат в основе алгоритма метода проекций градиента.

Даны допустимая точка  $x^0$ , допустимая погрешность сходимости  $\varepsilon_1 > 0$  и погрешность определения активных ограничений  $\varepsilon_2 > 0$ ,  $t = 0$ .

Шаг 1. Определение множества активных ограничений

$$I^t = \{j : g_j(x^t) \leq \varepsilon_2, j = 1, \dots, J\}.$$

Шаг 2. Вычисление проекционной матрицы  $P$  и проекции антиградиента

$$s = -P \nabla f(x^t).$$

Шаг 3. Если  $|s| > \varepsilon_1$ , то переход к шагу 4. Иначе вычисляются множители Лагранжа по формуле

$$u = (AA^T)^{-1} A \nabla f$$

и определяется

$$u_m = \min \{u_l : l \in I^t\}.$$

Если  $|u_m| \leq \varepsilon_1$ , то вычисления заканчиваются. В противном случае исключается ограничение  $m$  из  $I^t$  и производится переход к шагу 1.

Шаг 4. Определение максимальной длины шага  $\alpha_{\max}$  в формуле

$$w^0 = x^{(t)} + \alpha \cdot s^{(t)},$$

при котором  $g_i(w(\alpha)) \geq 0$  для всех ограничений. Для каждого  $\alpha$  функция  $w(\alpha)$  является результатом итераций

$$w^{i+1} = w^i - A^T (AA^T)^{-1} g.$$

Шаг 5. Определение  $\alpha^*$  на  $[0, \alpha^{\max}]$ , при котором достигается минимум целевой функции  $f(x)$ .

Метод проекций градиента был применен для решения задачи оптимального проектирования металлоконструкции козлового крана К2×190 коробчатой конструкции, схема которого представлена на рис. 2. В точках  $x = 27$  м и  $x = 47$  м главной балки 13 приложены сосредоточенные силы  $P_{13} = -2156000$  Н и сосредоточенные моменты  $M_{13} = 4312000$  Н×м.

Соответствующая оптимизационная задача имеет вид:

Найти значения переменных – длин  $l_7, l_8, l_9, l_{10}$  подкосов 7, 8, 9, 10, высот  $h_i$ , ширины  $b_i$ , толщин поясов  $\delta_{Pi}$  и стенок  $\delta_{Ci}$  ( $i = 1, 13$ ), при которых целевая функция

$$m(X) = \sum_{i=1}^n [\gamma \cdot 2 \cdot (b_i \delta_{Pi} + h_i \delta_{Ci}) \cdot l_i + m_i]$$

принимает минимальное значение, и выполняются ограничения на прочность, местную устойчивость, статическую жесткость, прочность сжатой стенки, динамическую жесткость:

$$\sigma_{i3} \leq [\sigma], n_{i0} \geq n, u \leq [u], \sigma_{cm} \leq [\sigma], t_3 \leq [t_3],$$

где  $\gamma$  – плотность материала;  $m_i$  – металлоемкость ребер жесткости;  $\sigma_{i3}$  – эквивалентные напряжения в элементах металлоконструкции;  $u$  – вертикальный прогиб в главной балке;  $\sigma_{cm}$  – местные напряжения смятия под ходовым колесом тележки;  $t_3$  – время затухания собственных колебаний крана;  $[\sigma], [u], [t_3]$  – допустимые напряжение, прогиб, время затухания колебаний;  $n_{i0}$  – запас местной устойчивости в  $i$ -м элементе металлоконструкции;  $n$  – запас прочности.

Минимум функции цели методом проекций градиента определяется в результате 16 итераций, при этом металлоемкость уменьшилась. Были найдены оптимальные размеры сечений всех элементов металлоконструкции. Полученные результаты показывают быструю сходимость метода проекций градиента и позволяют рекомендовать его для решения задач оптимального проектирования тяжелых козловых кранов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров В.А. Методы оптимизации: учеб. пособие / В.А. Гончаров. М.: Высшее образование, 2009. 191 с.
2. Кобзев А.П. Развитие теории оптимального проектирования тяжелых козловых монтажных кранов: дис. ... д-ра техн. наук / А.П. Кобзев. Саратов, 1996. 405 с.
3. Реклейтис Г. Оптимизация в технике: в 2 кн. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел; пер. с англ. М.: Мир, 1986. Кн. 2. 318 с.

**Барановская Лариса Вакифовна** – ассистент кафедры «Высшая математика и механика» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Baranovskaya Larisa Vakifovna** – Junior Teaching Staff Member of the Department of «High Mathematics and Mechanics» of Balakovo Institute of Techniques, Technologies and Management (branch) of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 08.12.09, принята к опубликованию 27.01.10

**Я.И. Барац, Л.Р. Милованова**

**МЕТОД РАСЩЕПЛЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ПРИ РЕШЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ,  
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Приведен пример использования теоремы академика Н.Н. Рыкалина о расщеплении пространственного процесса теплопроводности на ортогональные составляющие. Применение теоремы позволяет получить решения для пространственных процессов теплопроводности, описываемых линейными параболическими уравнениями, в телах, являющихся пересечением более простых геометрических образов, основываясь на известных решениях для составляющих процессов; обосновать принцип пространственно-временного соответствия, выведенный на основе метода источников тепла (метода Грина).*

Тепловой источник, теплопроводность, метод источников тепла, принцип пространственно-временного соответствия, теорема о расщеплении пространственного процесса.

**Ya.I. Baratz, L.R. Milovanova**

**THERMO-CONDUCTION EQUATION FISSION METHOD  
AT THERMOPHYSIC TASK SOLUTIONS ARISING UP  
AT MECHANICAL TREATMENT**

*The use of the theorem of academician N.N. RYKALIN about fission of the spatial process heat conduction on orthogonal components is given here. The theorem's usage allows to get the decisions for spatial processes of thermo-conduction, described by linear parabolic equations, at the bodies, being intersection more simple geometric image, founding on the known decisions for forming processes; motivate the principle space-temporary correspondence, found out on base of the method of the sources of the heat (the Grin's method).*

Heat source, thermo-conduction, heat sources method, principle space-temporary correspondence, spatial process fission theorem.

**Введение**

Научное направление, получившее название технологической теплофизики, создал академик Н.Н. Рыкалин. В основу этого научного направления были положены усовершенствования математической теории теплообмена и, главным образом, теории теплопроводности с использованием так называемого метода источников теплоты. Метод источников или в математической физике метод Грина состоит в том, что если известны законы изменения потенциала от точечного заряда, то можно построить картину распределения потенциала заряженного тела любой формы или произвольной системы тел. Задача, таким образом, состоит в определении функции Грина, удовлетворяющей данным граничным условиям [1].

Применительно к теплопроводности твердых тел наиболее универсальной функцией Грина является решение Кельвина – фундаментальное решение уравнения теплопроводности, описывающее распределение температуры в неограниченном твердом теле, происходящее после выделения конечного количества теплоты в виде мгновенного точечного источника.

Кроме того, академиком Н.Н. Рыкалиным были сформулированы основные положения теоремы о расщеплении пространственного (трехмерного) процесса теплопроводности на ортогональные составляющие, что позволило получать функцию Грина для ограниченных тел с достаточно сложными условиями теплообмена на граничных поверхностях [1].

В соответствии с теоремой о расщеплении, процесс теплопроводности в теле, описываемый линейным дифференциальным уравнением, расщепляется на независимые ортогональные составляющие при следующих условиях:

- а) тело является результатом ортогонального пересечения более простых тел;
- б) дифференциальный оператор в линейном уравнении, описывающем процесс в теле, распадается на сумму независимых операторов, представляющих соответствующие процессы в пересекающихся телах;
- в) краевые условия для пространственного процесса распадаются на независимые условия для соответствующих составляющих процессов;
- г) процесс задан источником теплоты, интенсивность которого выражается произведением ортогональных составляющих.

Если эти условия соблюдены, то решение дифференциального уравнения для пространственного процесса может быть представлено произведением решений уравнений, описывающих соответствующие составляющие процесса.

#### *1. Процесс в неограниченном теле с мгновенным точечным источником тепла.*

Как известно, для однородного изотропного твердого тела, у которого теплофизические свойства не зависят от температуры, уравнение теплопроводности имеет вид соотношения [2]

$$cp \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right),$$

где  $cp$  – объемная теплоемкость, Дж/м<sup>3</sup>°С;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м°С.

Если в какой-нибудь точке с координатами  $(x, y, z)$  существует источник теплоты  $q(x, y, z)$ , то уравнение теплопроводности принимает вид соотношения

$$cp \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \Delta \theta + q(x, y, z),$$

где  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа.

Если тепловая мощность источника предельно сосредоточена в точке  $(0, 0, 0)$  и во времени, то уравнение теплопроводности с таким мгновенным точечным источником описывается соотношением

$$cp \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + q \delta(x) \delta(y) \delta(z) \delta(t) \quad (1)$$

при граничных условиях:

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \text{ при } x = \pm\infty; \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0 \text{ при } y = \pm\infty;$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \text{ при } z = \pm\infty; \quad \theta = 0 \text{ при } t = 0,$$

где  $\delta(x)\delta(y)\delta(z)\delta(t)$  – дельта-функции Дирака.

Для решения уравнения (1) применима теорема о расщеплении, поскольку:

- а) однородное изотропное твердое тело можно представить пересечением неограниченных тел по трем пространственным координатам;
- б) дифференциальный оператор в уравнении (1) распадается на три линейных оператора

$$A_1 = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad A_2 = \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2}, \quad A_3 = \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2};$$

в) начальные и граничные условия здесь распадаются на независимые условия;

г) мощность мгновенного точечного источника в виде произведения  $\delta$ -функций Дирака определяется линейными процессами теплопроводности в неограниченном теле с мгновенными плоскими источниками единичной мощности ( $q = 1$ )  $\delta(x)\delta(y)$ ,  $\delta(y)\delta(z)$ ,  $\delta(x)\delta(z)$ .

Температуры в неограниченном изотропном твердом теле с начальной температурой, равной нулю, вызванные действием в момент времени  $t = 0$  единичных плоских источников в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях, рассчитываются по формулам [2]:

$$\begin{aligned} \theta(x, t) &= \frac{1}{\sqrt{4\pi at}} \exp\left[-\frac{x^2}{4at}\right], \\ \theta(y, t) &= \frac{1}{\sqrt{4\pi at}} \exp\left[-\frac{y^2}{4at}\right], \\ \theta(z, t) &= \frac{1}{\sqrt{4\pi at}} \exp\left[-\frac{z^2}{4at}\right], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности, принятый для простоты изображения процесса равным по трем координатам,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

В соответствии с теоремой о расщеплении, температуру в неограниченном изотропном теле с мгновенным точечным источником, действующим в точке  $x = y = z = 0$ , получим как произведение соотношений (2), полагая  $\frac{q}{cp} \neq 1$ :

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{q}{cp(4\pi at)^{3/2}} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{4at}\right]. \quad (3)$$

Таким образом, применение теоремы о расщеплении Н.Н. Рыкалина позволяет получить решение дифференциального уравнения теплопроводности от действия в твердом теле мгновенного точечного источника, которое полностью соответствует известному решению Кельвина.

*2. Процесс в неограниченном теле с мгновенным нормально-сферическим источником тепла.*

Если в теле возник мгновенный нормально-сферический источник тепла с распределением интенсивности по объему в виде нормального закона Гаусса, то его интенсивность описывается выражением [3]:

$$q(x_u, y_u, z_u) = q_{\max} \exp\left[-k \frac{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}{R^2}\right],$$

где  $q_{\max}$  – максимальная интенсивность тепловыделения,  $\text{Вт}/\text{м}^3$ ;  $R$  – характерный размер источника тепла,  $\text{м}$ ;  $k$  – коэффициент сосредоточенности его интенсивности (оба параметра приняты для простоты изображения процесса равными по трем взаимно-перпендикулярным координатам).

Тогда уравнение теплопроводности с мгновенным нормально-сферическим источником можно записать в виде соотношения:

$$cp \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + q_{\max} \exp \left[ -k \frac{x_u^2}{R^2} - k \frac{y_u^2}{R^2} - k \frac{z_u^2}{R^2} \right].$$

Все предыдущие условия, позволяющие применить для решения этого уравнения теорему о расщеплении, сохраняются. В том числе, мощность мгновенного нормально-сферического источника представлена в виде произведения экспоненциальных функций, не зависящих друг от друга.

Известно, что температура в неограниченном изотропном теле с начальной температурой, равной нулю, в момент времени  $t = 0$  от действия единичного источника с нормальным распределением интенсивности по оси  $x$  рассчитывается по формуле [2]:

$$\theta(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)}} \exp \left[ -\frac{x_u^2}{4a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)} \right].$$

Аналогичные решения и по двум другим координатам:

$$\theta(y, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)}} \exp \left[ -\frac{y_u^2}{4a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)} \right],$$

$$\theta(z, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)}} \exp \left[ -\frac{z_u^2}{4a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)} \right].$$

Перемножая представленные решения, в соответствии с теоремой о расщеплении, получаем решение дифференциального уравнения теплопроводности, описывающего тепловой режим в неограниченном изотропном теле с мгновенным нормально-сферическим источником тепла:

$$\theta(x, t) = \frac{q}{cp \left( 4\pi a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right) \right)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}{4a \left( t + \frac{R^2}{4ak} \right)} \right]. \quad (4)$$

Сравнение выражений, описывающих температурные поля от действия в изотропном неограниченном теле мгновенного точечного (3) и мгновенного нормально-сферического (4) источников позволяет сделать вывод о том, что температурное поле от действия нормально-сферического источника в момент времени  $t = 0$  равно температурному полю от действия мгновенного точечного источника в момент времени  $t = \frac{R^2}{4ak}$ .

Таким образом, используя теорему о расщеплении, удастся прийти к пространственно-временному соответствию между точечным и объемным источниками. Принцип пространственно-временного соответствия был показан ранее с использованием метода источников тепла [4].

Полученное выражение позволяет переходить от мгновенных источников любой формы и конфигурации к соответствующим объемным источникам путем добавления к координате времени  $t$  комплекса параметров  $t_0 = \frac{R^2}{4ak}$ .

3. Процесс в неограниченном цилиндре с мгновенным кольцевым источником тепла. Неограниченный цилиндр с радиусом  $r_0$  и начальной температурой, равной нулю, нагревается мгновенным кольцевым источником мощностью  $Q$  Дж, интенсивность которого равно распределена по окружности на поверхности цилиндра, при этом происходит теплообмен с окружающей средой, температура которой равна нулю.

Температура  $\theta(r, z, t)$ ;  $0 \leq r \leq r_0$ ;  $-\infty < z < +\infty$ ;  $0 \leq t < \infty$  осесимметричного процесса теплопроводности с источником единичной мощности ( $q = 1$ ) в цилиндрической системе координат описывается уравнением [2]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + \delta(r_0 - r) \delta(z) \delta(t), \quad (5)$$

при граничных условиях:

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} + h\theta = 0 \text{ при } r = r_0; \quad \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \text{ при } z = \pm\infty; \quad \theta = 0 \text{ при } t = 0.$$

$$h = \frac{\alpha_0}{\lambda}; \quad a = \frac{\lambda}{cp},$$

где  $\alpha_0$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>°С.

Для решения уравнения (5) применима теорема о расщеплении, поскольку:

а) тело (неограниченный цилиндр) представляет собой ортогональное пересечение собственно неограниченного цилиндра и неограниченного тела;

б) дифференциальный оператор в уравнении (5) распадается на плоский оператор

$$A_{12} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \text{ для неограниченного цилиндра}$$

и линейный оператор

$$A_3 = \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \text{ для неограниченного тела;}$$

в) начальные и граничные условия здесь распадаются на независимые условия для соответствующих составляющих процесса;

г) мощность мгновенного источника в виде произведения  $\delta$ -функций Дирака  $\delta(r_0 - r)\delta(z)$  определяет плоскорадиальный процесс теплопроводности в неограниченном цилиндре с поверхностным мгновенным источником  $\delta(r_0 - r)$  и линейный процесс теплопроводности в неограниченном теле с мгновенным плоским источником  $\delta(z)$ .

Температура в неограниченном цилиндре  $r = r_0$  с начальной температурой, равной нулю, охлаждаемом средой с нулевой температурой, вызванная действием в момент времени  $t = 0$  единичного мгновенного поверхностного цилиндрического источника, рассчитывается по формуле [2]

$$\theta_{12}(r, t) = \frac{1}{\pi r_0^2} \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-a\alpha_n t) \frac{J_0^2(r_0 \alpha_n)}{J_0^2(r_0 \alpha_n) + J_1^2(r_0 \alpha_n)}, \quad (6)$$

где  $\alpha_n$  – положительные корни уравнения  $\alpha J_1(r_0 \alpha) - h J_0(r_0 \alpha) = 0$ .

Если  $h = 0$  (нет теплоотдачи в окружающую среду), то к правой части решения (6) надо прибавить член  $\frac{1}{\pi r_0^2}$ .



Температура в неограниченном теле, вызванная плоским источником единичной мощности, определяется соотношением [2]

$$\theta_3(z, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi at}} \exp\left[-\frac{z^2}{4at}\right]. \quad (7)$$

В соответствии с теоремой о расщеплении, температура в неограниченном цилиндре с мгновенным кольцевым источником единичной мощности, действующим в плоскости  $z=0$ , получим как произведение соотношений (6) и (7):

$$\theta(r, z, t) = \frac{\exp\left[-\frac{z^2}{4at}\right]}{2\pi r_0^2 \sqrt{\pi at}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0^2(r_0 \alpha_n) e^{-\alpha_n t}}{J_0^2(r_0 \alpha_n) + J_1^2(r_0 \alpha_n)}.$$

Переходя к реальной мощности мгновенного кольцевого источника, получим соотношение:

$$\theta(r, z, t) = \frac{Q \exp\left[-\frac{z^2}{4at}\right]}{2\pi c p r_0^2 \sqrt{\pi at}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0^2(r_0 \alpha_n) e^{-\alpha_n t}}{J_0^2(r_0 \alpha_n) + J_1^2(r_0 \alpha_n)}. \quad (8)$$

Чтобы получить решение для мгновенного нормально-тороидального источника, действующего в плоскости  $z=0$ , нужно, в соответствии с принципом пространственно-временного соответствия [4], в выражении (8) к временной координате  $t$  прибавить сочетание

параметров  $t_0 = \frac{R^2}{4ak}$ :

$$\theta(r, z, t) = \frac{Q \exp\left[-\frac{z^2}{4a\left(t + \frac{R^2}{4ak}\right)}\right]}{2\pi c p r_0^2 \sqrt{\pi a\left(t + \frac{R^2}{4ak}\right)}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0^2(r_0 \alpha_n) \exp\left[-a\alpha_n\left(t + \frac{R^2}{4ak}\right)\right]}{J_0^2(r_0 \alpha_n) + J_1^2(r_0 \alpha_n)}. \quad (9)$$

Соотношение (9) позволяет рассчитать температуру непосредственно в области действия источника теплоты. Действие нескольких мгновенных кольцевых импульсов можно учесть в виде процесса аккумуляции теплоты в цилиндре за любое число оборотов изделия, используя соотношения (8) и (9).

### Выводы

1. Теорема о расщеплении пространственного процесса теплопроводности на ортогональные составляющие позволяет строить выражения пространственных процессов теплопроводности, описываемых линейными параболическими уравнениями, при действии источников в однородном неограниченном пространстве или в телах, являющихся пересечением более простых геометрических образов, исходя из известных выражений для составляющих процессов.

2. Показаны примеры применения теоремы о расщеплении пространственного процесса на ортогональные составляющие для мгновенного точечного, мгновенного нормально-сферического и мгновенного кольцевого источников.

3. Применение теоремы о расщеплении пространственного процесса на ортогональные составляющие позволяет подтвердить принцип пространственно-временного соответствия, значительно упрощающий моделирование объемных источников тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыкалин Н.Н. Об условии расщепления решений линейного параболического уравнения на ортогональные составляющие / Н.Н. Рыкалин // ДАН СССР. 1959. Т. 125. № 3. С. 519-522.
2. Барац Я.И. Математические модели технологической теплофизики и физических взаимодействий / Я.И. Барац, И.А. Маслякова, Ф.Я. Барац. Саратов: СГТУ, 2002. 92 с.
3. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. М.: Наука, 1964. 488 с.
4. Барац Я.И. Применение принципа пространственно-временного соответствия в решении дифференциального уравнения теплопроводности для линейного источника теплоты / Я.И. Барац, Л.Р. Милованова // Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства: материалы Междунар. конф.: в 2 ч. Волгоград: ВГТУ, 2003. Ч. 1. С. 73-76.

**Барац Яков Ильич –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Baratz Yakov Ilyich –**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Technology and Equipment of Electro physical and Electrochemical Methods of Processing» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

**Милованова Людмила Руслановна –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Milovanova Lyudmila Ruslanovna –**

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Material Sciences» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 24.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 629.981

**Н.Б. Годунов**

**ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМА  
ПЕРЕМЕЩАЕМОГО МЕТАЛЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ  
ПРОФИЛЯ ШЛИЦА РАСКАТКОЙ**

*Рассмотрены вопросы теоретического анализа объема перемещаемого металла для восстановления сложного эвольвентного профиля шлица. Полученные выражения позволяют с достаточной для технических целей точностью использовать их при разработке технологического процесса и конструкции оснастки для восстановления шлицевых поверхностей.*

Раскатка, восстановление профиля, шлиц.

N.B. Godunov

## RELOCATBLE METAL'S VOLUME SUBSTANTIATION AT SPLINEWAY PROFILE RECONSTRUCTION BY FLARING

*The questions of theoretical analyses of the reloadable metal's volume for the reconstruction of the compound evolving profile of the splineway are studied here. The received equitation allow with the necessary for the technical purposes accuracy using them for the development of technological processes and constructions.*

Flaring, profile reconstruction, splineway.

Восстановление полых шлицевых деталей карданных передач раскаткой отверстия с перемещением металла с поверхности отверстия к восстанавливаемым шлицам имеет значительные преимущества по сравнению с другими технологиями по причинам:

- соблюдения мономерности металла по всему сечению шлица, что обеспечивает высокую контактную прочность, выносливость к достаточно высоким нагрузкам на кручение и изгиб;
- простоты технологического процесса с возможностью его использования в условиях ремонтного производства;
- отсутствия необходимости использования дополнительных ремонтных материалов;
- обеспечения высокой точности профиля шлица при восстановлении, что дает возможность использовать минимальные припуски на механическую обработку;
- высокой экономической эффективности технологического процесса.

Расчет необходимого для восстановления шлица объема металла основан на условии равенства перемещаемого  $V_1$  и перемещенного  $V_2$  объемов металла

$$V_1 = V_2, \quad (1)$$

или, исходя из рис. 1, следует, что

$$2Z \cdot S_1 \cdot l = S_2 \cdot l, \quad (2)$$

где  $S_1$  – площадь изношенной поверхности профиля шлица,  $\text{мм}^2$ ;  $Z$  – количество шлицев, шт.;  $l$  – длина шлица, мм;  $S_2$  – площадь раздачи отверстия, мм.

Поскольку длина шлица для обеих составляющих равенства (2) одинакова, то его можно упростить:

$$2Z \cdot S_1 = S_2. \quad (3)$$

Принимаем, что для восстановления изношенного профиля шлица необходим слой металла толщиной  $t_1$ . Для последующей механической обработки восстановленного шлица необходим припуск толщиной  $t_2$ , тогда общая толщина перемещаемого при восстановлении металла будет равна:

$$t = t_1 + t_2. \quad (4)$$

Площадь сечения восстановленного слоя шлица определяется как произведение толщины  $t$  на длину эвольвентной линии.

Профиль стандартных шлицев выполняется по эвольвенте с углом зацепления  $\alpha = 20\%$ . Длина эвольвенты на участке ВК (рис. 2) определяется выражением

$$l_3 = \frac{1}{2} R_o \varphi^2, \quad (5)$$

где  $R_o$  – радиус основной окружности, используемой для образования эвольвенты, мм;  $\varphi$  – угол АОВ.

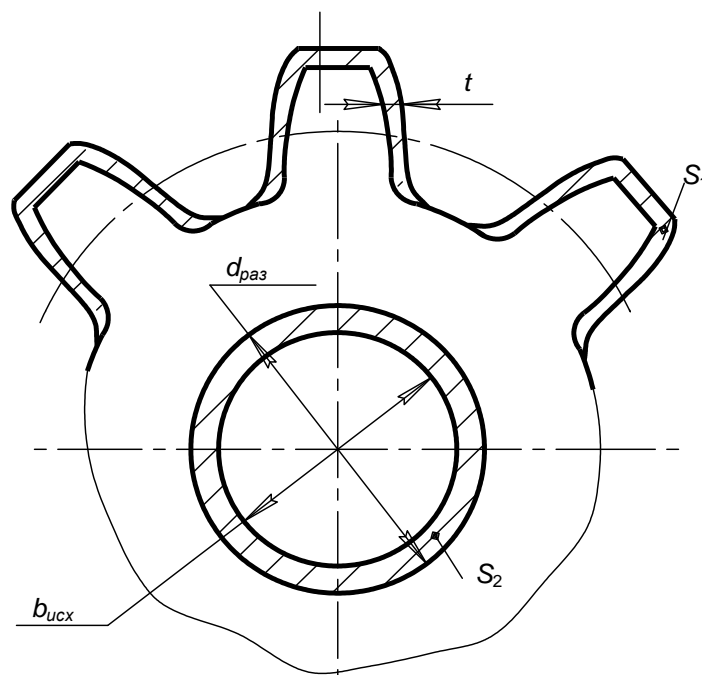


Рис. 1. Расчетная схема раздачи отверстия

В соответствии с теорией зубчатого эвольвентного зацепления соотношение между радиусом делительной окружности  $R_d$  и радиусом основной окружности  $R_o$  равно

$$R_o = R_d \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – угол зацепления, принимается равным  $20^\circ$ .

Контур шлица ограничивается окружностью выступов  $R_e$  и окружностью впадин  $R_b$ , они определяются выражениями:

$$R_e = \frac{m(Z+2)}{2}; \quad R_b = \frac{m(Z-2,5)}{2}, \quad (7)$$

где  $m$  – модуль зацепления.

Зацепление шлицев происходит по делительной окружности, радиус которой равен

$$R_d = \frac{mZ}{2}. \quad (8)$$

В соответствии с рис. 2 следует, что криволинейный контур поверхности зуба  $\cup L$  состоит из двух участков:  $\cup AB = l_3$  – участок эвольвенты, образованный радиусом основной окружности  $R_o$ ;  $BC$  – касательная прямая к эвольвенте.

Следовательно, общая длина поверхности зуба определяется выражением:

$$\cup L = l_3 + l_{bc}. \quad (9)$$

Длина эвольвенты  $l_3$  может быть определена после расчета угла  $\varphi$ . Для его определения воспользуемся принципом образования эвольвенты, согласно которому длина отрезка  $AK$  равна длине дуги  $\cup AB$  окружности, по которой прокатывается касательная прямая.

Из  $\Delta AOK$  следует:

$$AK = \sqrt{OK^2 - OA^2}. \quad (10)$$

Исходя из того, что:

$$OK = R_e = \frac{m(Z+2)}{2} \text{ и } OA = R_o = R_b \cdot \cos \alpha = \frac{mZ}{2} \cdot \cos \alpha,$$

следует:

$$AK = \frac{m}{2} \sqrt{Z^2 \sin^2 \alpha + 4Z + 4}. \quad (11)$$

Поскольку длина отрезка  $AK = \cup AB$ , то  $\angle \varphi$  определяется выражением:

$$\varphi = \frac{\cup AB}{R_o} = \frac{m/2 \sqrt{Z^2 \sin^2 \alpha + 4Z + 4}}{m/2 Z \cos \alpha} = \frac{\sqrt{Z^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4Z + 4}}{Z \cdot \cos \alpha}. \quad (12)$$

После подстановки значений  $R_o$  и  $\varphi$  в выражение (5) определяется длина эвольвентной части поверхности шлица:

$$l_3 = \frac{m}{4Z \cos \alpha} (Z^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4Z + 4). \quad (13)$$

Длина участка  $BC$  определяется как разница радиусов основной окружности  $R_o$  и окружности впадин  $R_e$ .

$$l_{bc} = R_o - R_e = \frac{m}{2} (Z \cdot \cos \alpha - Z + 2,5). \quad (14)$$

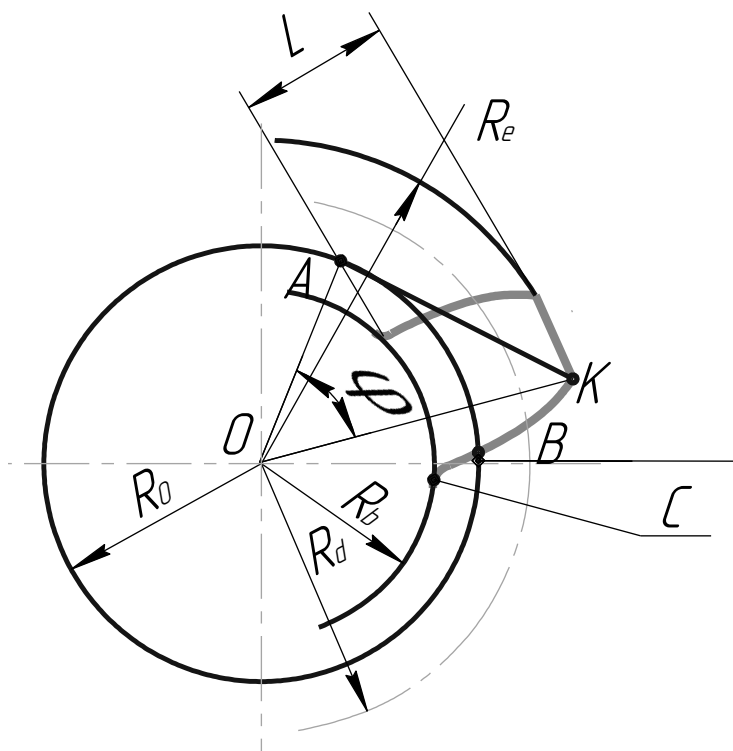


Рис. 2. Схема для определения длины эвольвентной линии шлица

Согласно теории зубчатого соединения участок  $BC$  имеет место у колес с количеством зубьев  $Z \leq 42$ . При большем числе зубьев окружность впадин будет больше основной окружности и участок  $BC$  отсутствует.

Тогда длина поверхности шлица запишется:

$$\text{если } Z \leq 42 \rightarrow \cup L = \frac{m}{4Z \cdot \cos \alpha} (Z^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4Z + 4) + \frac{m}{2} (Z \cdot \cos \alpha - Z + 2,5); \quad (15)$$

$$\text{если } Z > 42 \rightarrow \checkmark l = \frac{m}{4Z \cdot \cos \alpha} (Z^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4Z + 4). \quad (16)$$

Исходя из приведенного, объем металла, необходимый для устранения износа и создания припуска для механической обработки, определяется выражением:

$$V_1 = 2Z \cdot l \cdot t \cdot h = 2Z \left[ \frac{m}{4Z \cdot \cos \alpha} (Z^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4Z + 4) + \frac{m}{2} (Z \cos \alpha - Z + 2,5) \right], \quad (17)$$

где  $h$  – длина восстанавливаемого шлица, мм.

Величина перемещаемого объема металла из полости к восстанавливаемым шлицам равна

$$V_2 = \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_{\text{исх}}^2) h. \quad (18)$$

Тогда, исходя из условия закона постоянства перемещаемого и перемещенного объемов металла, следует, что диаметр раздачи полости шлицевой ступицы может быть определен формулой:

$$d_p = \sqrt{\frac{8Z}{\pi} \left[ \frac{m}{4Z \cdot \cos \alpha} (Z^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4Z + 4) + \frac{m}{2} (Z \cdot \cos \alpha - Z + 2,5) \right]}. \quad (19)$$

Таким образом, выражением (19) осуществляется расчет диаметра раздаточной оснастки, обеспечивающей перемещение строго фиксированного объема металла с поверхностью отверстия к восстанавливаемым шлицам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Синдяев. М.: Наука, 1967. 608 с.

**Годунов Николай Борисович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Надежность и ремонт машин»  
Саратовского государственного аграрного  
университета им. Н.И. Вавилова

**Godunov Nikolay Borisovich** –  
Candidate of Technical Sciences, Assistant  
Professor of the Department of «Reliability  
and Machine Maintenance» of Saratov State  
Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

*Статья поступила в редакцию 26.11.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 629.981

**Н.Б. Годунов, Ф.Я. Рудик, С.А. Богатырев, Р.Я. Магомедов**

### **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВНЕШНИХ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ**

*Рассматривается оснастка для восстановления шлицевых внешних поверхностей.*

Оснастка, шлицы, сложнопольный, эвольвента, восстановление, накатка, ролики, карданные передачи, напряжения, припуск.

N.B. Godunov, F. Ya Rudik, S.A. Bogatyryov, R.Ya Magomedov

## EXTERNAL SPLINEWAY SURFACES RENVATION BY PLASTIC DEFORMATION

*The paper studies possible equipment used for the reconstruction of splineways of external surfaces.*

Equipment, splineways, compound profiles, evolvent, reconstruction, knurling, rollers, cardan drive, tension, allowance.

Восстановление изношенных деталей технически целесообразно по многим причинам. Это, прежде всего, значительная экономия материальных ресурсов, использование остаточного ресурса деталей, оперативное обеспечение производства ремфондом и пр.

Шлицевые и зубчатые передачи – наиболее распространенные в машиностроении соединения – являются основными элементами механических приводов. Область их практического использования безгранична и в связи с этим к производству и восстановлению шлицевых и зубчатых деталей предъявляются особые условия. Зубчатые и шлицевые передачи должны обладать высокой работоспособностью, их долговечность должна, как минимум, обеспечивать долговечность новых деталей.

Основными видами поверхностного разрушения зубьев и шлицев являются усталостный, абразивный, адгезионный, коррозионно-механический и при заедании.

Все это говорит о необходимости использования при восстановлении технологий, обеспечивающих высокую контактную стойкость и прочность к воспринимаемым изгибающим моментам.

Одним из направлений, позитивно воздействующих на обеспечение перечисленных требований, являются технологии, основанные на пластической деформации с перемещением запасов металла с нерабочих зон на рабочие, восстанавливаемые поверхности.

Поставленная задача достигается устройством для восстановления внешних шлицевых поверхностей, содержащим корпус и раскатные ролики в цилиндрической сборной оправке. В корпусе также с целью совместного взаимодействия с раскатными роликами установлены профилирующие элементы в виде сменных корригированных шестерен, модуль которых соответствует модулю восстанавливаемого эвольвентного профиля шлица. При изменении ширины впадины шлица по хорде делительной окружности учитывается необходимость обеспечения гарантированного припуска на проведение последующей механической обработки профиля шлицев.

Предлагаемое устройство (рис. 1) состоит из цилиндрической сборной оправки 1, с пазами 2, в которых расположены раскатные ролики 3, обеспечивающие вытеснение запасов металла на наружную шлицевую поверхность 4 при раздаче гладкого отверстия 5 вилки карданной передачи 6. Здесь располагается профилирующий инструмент в виде сменных корригированных шестерен 7, обеспечивающих калибровку наружной шлицевой поверхности 4. При этом изношенная деталь, в частности вилка карданной передачи 6, имеет возможность продольного перемещения, а цилиндрическая сборная оправка 1 с установленными в ней раскатными роликами 3 и сменные корригированные шестерни 7 закреплены в корпусе 8, установленном в патроне 9 токарно-винторезного станка с возможностью реверсивного вращения. Зубья 10 (рис. 2) сменной корригированной шестерни 7 выполнены с шириной впадины по дуге делительной окружности  $S_{\text{д шест.}}$ , превышающей величину припуска  $\Pi$  для проведения последующей механической обработки на величину  $S_{\text{д шлиц.}}$  эвольвентного шлица 11 вилки карданной передачи 6.

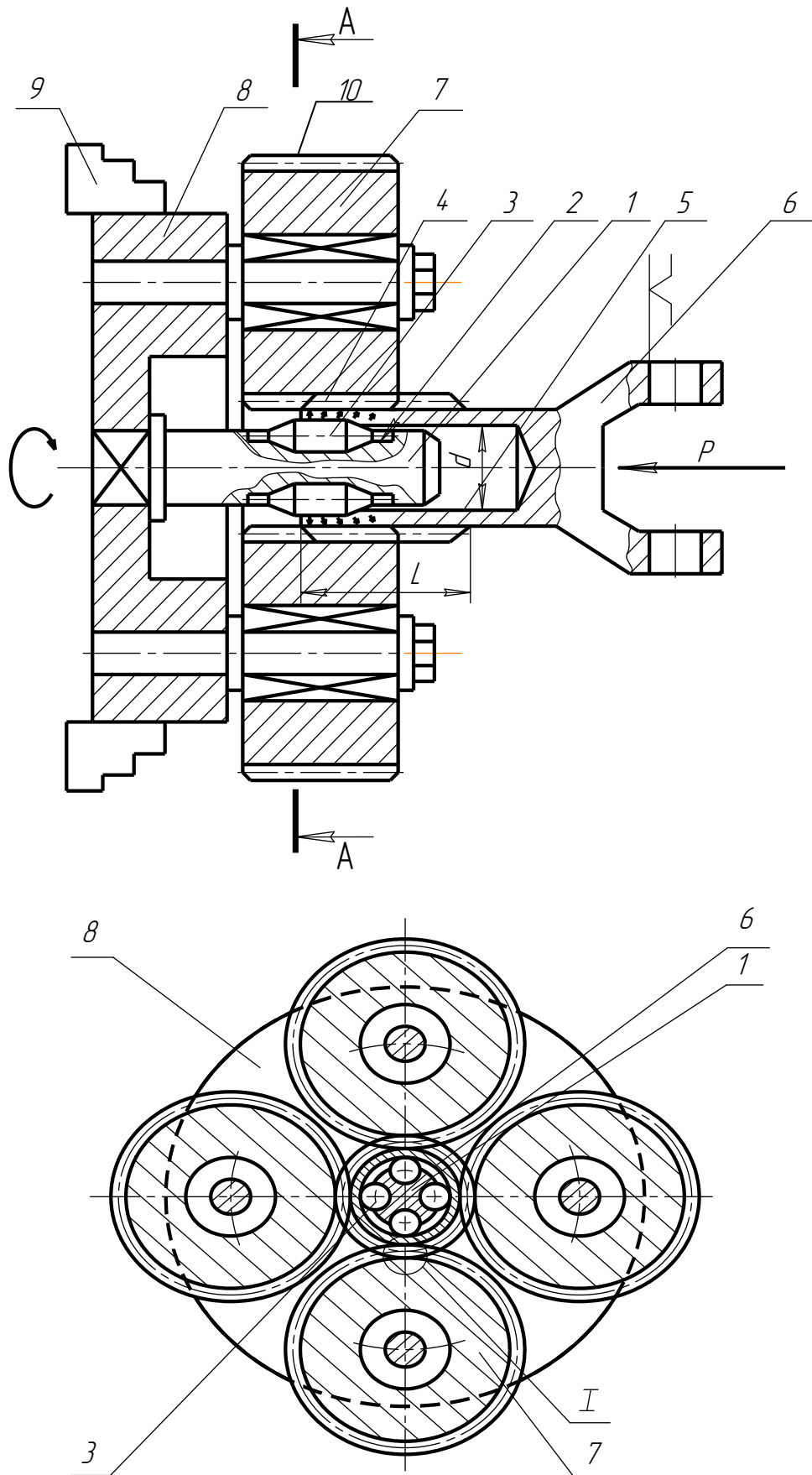


Рис. 1. Устройство для восстановления внешних шлицевых поверхностей в полых деталях



Стрелками на рис. 1 показано направление течения металла при формообразовании заготовки из полости вилки карданной передачи.

Устройство работает следующим образом.

Нагретую до температуры пластической деформации  $900...950^{\circ}\text{C}$  изношенную вилку 6 (рис. 1), закрепляют в зажимном устройстве задней бабки токарно-винторезного станка и вводят изношенными шлицами 4 во впадины профилирующих корригированных сменных шестерен 7, закрепленных в корпусе 8. Одновременно с этим цилиндрическая сборная оправка 1 входит в отверстие 5 вилки 6, включается привод токарно-винторезного станка и начинается вращение патрона 9. При дальнейшем осевом перемещении вилки 6 под усилием  $P$  происходит силовое воздействие конических раскатных роликов 3, расположенных в пазах 2, на поверхность отверстия 5. Металл вытесняется с внутренней нерабочей поверхности отверстия 5 вилки 6 на изношенную шлицевую поверхность 4. Одновременно происходит поперечное профилирование эвольвентных шлицев 4 зубьями 10 (рис. 2) вращающихся корригированных шестерен 7. В результате этого за счет некоторого увеличения диаметра  $d$  (рис. 1) отверстия 5 происходит равномерное приращение толщины зуба  $S_{\text{д шлиц}}$  (рис. 2) обеспечением припуска  $\Pi$  по всей длине  $L$  шлицевой поверхности 4.

Процесс формообразования заканчивается после раскатки отверстия на длину  $L$ . При обратном движении восстановленной вилки 6 раскатные ролики 3 и корригированные сменные шестерни 7 изменяют направление вращения и выходят соответственно из отверстия 5 и эвольвентных впадин шлицевой поверхности 4. Заготовка извлекается из зажимного устройства задней бабки токарно-винторезного станка, процесс накатки завершается.

Полученная после накатки заготовка вилки карданной передачи 6 подвергается зубофрезерованию до номинальных размеров и термообработке.

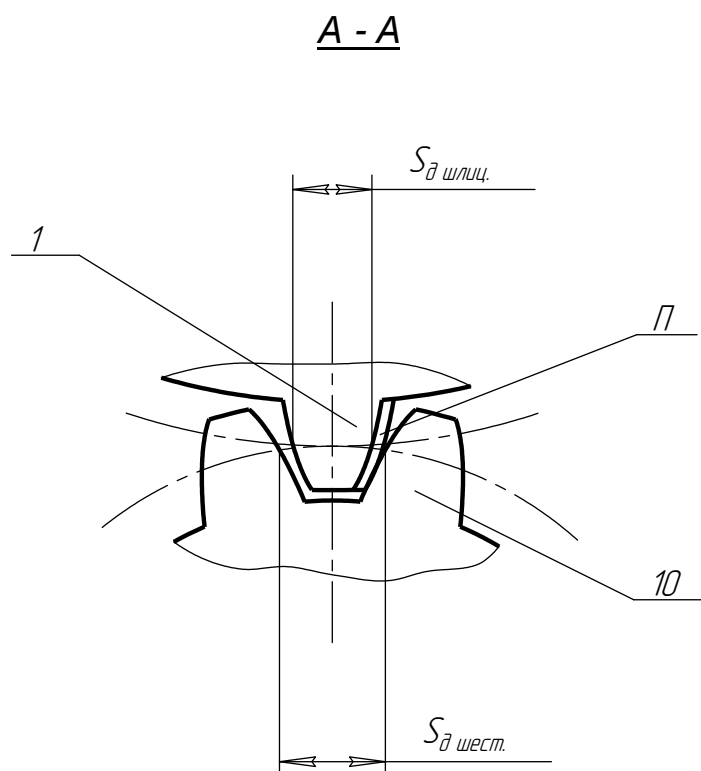


Рис. 2. Схема формообразования шлица с профилированием поверхности

Устройство позволяет получать из изношенных вилок карданных передач с незначительно увеличенным диаметром отверстия детали, полностью соответствующие всем остальным требованиям заводского чертежа.

Конструкция устройства позволяет восстанавливать детали сложной конфигурации, изношенные по наружному шлицевому профилю с минимальными потерями металла в стружку при последующей обработке резанием и дает возможность использовать в качестве заготовок изношенные детали.

Таким образом, применение предлагаемого устройства позволит достичь следующих результатов:

- восстановление наружной шлицевой поверхности с максимально возможным приближением конфигурации заготовки к профилю эвольвентных шлицев готового изделия;
- получение равномерных и гарантированных припусков на восстанавливаемых шлицевых участках;
- снижение расхода металла при восстановлении вилок карданных передач, достигаемого за счет повторного использования в качестве заготовок изношенных деталей.

Реализация потенциалов предлагаемого технического решения не требует больших материальных и энергозатрат и отличается доступностью устройства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на полезную модель № 73814 Россия, МКИ В23Р6/00. Устройство для восстановления шлицевых поверхностей / Н.Б. Годунов, Ф.Я. Рудик, С.А. Богатырев, Р.Я. Магомедов / № 2008104098/22. Заявл. 04.02.2008. Оpubл. Бюл. № 16.

**Годунов Николай Борисович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Надежность и ремонт машин» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Godunov Nikolay Borisovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Reliability and Machine Maintenance» of Saratov State Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

**Рудик Феликс Яковлевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Rudik Feliks Yakovlevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Processes and Equipment for Food Production» of Saratov State Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

**Богатырев Сергей Аркадьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Товароведение и экспертиза товаров» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Bogatyryov Sergey Arkadyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Merchandizing and Goods Expertise» of Saratov State Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

**Магомедов Рамазан Ярахмедович** – аспирант Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Magomadov Ramazan Yarakhmedovich** – Post-graduate Student of Saratov State Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

*Статья поступила в редакцию 02.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

Е.А. Горшков

**ОЦЕНКА ВИБРОУДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ  
И НАЧАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ  
ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ  
ШАТУНОВ ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

*Расчётно-экспериментальным методом в динамической постановке исследована возможность учёта комплексного критерия – коэффициента динамичности после поверхностного пластического деформирования. Разработан экспериментальный метод определения начальных технологических остаточных напряжений в детали с учётом динамики нагружения.*

Технологические остаточные напряжения, поверхностное пластическое деформирование, гидродробеструйная обработка, коэффициент динамичности; шатун.

E.A. Gorshkov

**VIBRATION STRESS AND INITIAL RESIDUAL PRESSURE ESTIMATION  
AFTER SUPERFICIAL TECHNOLOGIC PLASTIC DEFORMATION  
OF RODS OF THE FORCED DIESEL ENGINES**

*Through calculative experimental method in a dynamic state, the article studies possibilities of the account of complex criterion -factor of dynamism after superficial plastic deformation. The experimental method of definition of initial technologic residual pressure in a detail with dynamics account stress is developed here.*

Technological residual pressure, superficial plastic deformation, hydro fraction jet processing. factor of dynamism, a rod.

В настоящее время в машиностроении получают развитие перспективные малоотходные технологии поверхностного пластического деформирования (ППД) путем дифференцированного гидродробеструйного упрочнения [1] и ультразвуковой обработки [2]. В условиях знакопеременного динамического нагружения высоконагруженных деталей транспортных дизелей поверхностный слой подвергается интенсивному физико-химическому влиянию: тепловому, механическому, магнитоэлектрическому, химическому и т.д. В этих условиях разрушения деталей, например, усталостные трещины, фреттинг-коррозии, как правило, начинаются с поверхности, в связи с чем к поверхностному слою предъявляются более высокие требования, чем к основному металлу детали [3].

Поверхностные слои шатунов форсированных дизелей являются особо ответственными, так как в большинстве случаев усталостное разрушение от динамического приложения нагрузок располагается именно в этих поверхностных слоях. Несущая способность шатунов существенно повышается за счёт сжимающих технологических остаточных напряжений, создаваемых в поверхностном слое в процессе поверхностного пластического деформирования, например, гидродробеструйного упрочнения (ГДУ) на установке ГДЭУ-5 (рис. 1).



Рис. 1. Установка ГДЭУ-5 для дифференцированного гидродробеструйного упрочнения шатуна



Рис. 2. Образцы для исследования сопротивления усталости материала шатунов

Исследования элементов привода этой установки в ОАО «Волжский дизель им. Маминых» показали, что наличие в системе смазки гидродинамических колебаний в сочетании с кинетической энергией виброудара шаров является причиной значительного динамического нагружения в процессе ГДУ деталей. Осциллографированием подтверждено, что при ГДУ в системе смазки ГДЭУ-5 имеют место вынужденные гармонические колебания – пульсация давления масла с круговой частотой, пропорциональной частоте вращения вала масляного насоса  $\theta = \pi\lambda/30$ .

Для комплексной оценки изменения физико-механического состояния поверхностных слоев при ГДУ в производственных условиях используют контрольные пластины как образцы-свидетели, изготавливаемые из того же материала, что и упрочняемый шатун (рис. 2).

При этом считается [4-6], что статическая стрела прогиба пластины служит мерой интенсивности и стабильности процесса ГДУ. Вместе с тем известно, что виброударное нагружение шатуна и контрольных пластин при ГДУ, в отличие от статического, «вызывает более сложные процессы в металле, которые связаны с изменением диаграммы деформирования во время нагружения с различной степенью циклического упрочнения или разупрочнения материала, а при повышенной частоте циклов, по-видимому, и с перемещением атомов кристаллической решётки за счёт подводимой энергии при вибрировании» [7].

Данные об учёте динамики нагружения при ГДУ шатунов в технической литературе отсутствуют. Вместе с тем, если не учитывать характер нагружения указанных деталей и его влияния на уровень технологических остаточных напряжений, это может привести к существенной ошибке при оценке запасов несущей способности и неверному

представлению о прогнозируемом ресурсе, долговечности и эксплуатационной надёжности шатунов транспортных дизелей. Следовательно, нужны новые подходы к оценке начальных технологических остаточных напряжений в контрольных пластинах-свидетелях при виброударном динамическом нагружении в камере ГДЭУ-5.

Для оценки динамической напряженности и связи показателей виброударного нагружения при ГДУ с конструктивными параметрами консольно-закрепленной пластины как образца-свидетеля примем комплексный критерий – коэффициент динамичности нагрузки  $K_d$ . Чтобы определить, как зависит уровень начальных технологических остаточных напряжений от этого критерия, используем принцип Сен-Венана – заменим распределенную виброударную нагрузку на консольно закрепленную пластину при ГДУ равнодействующей гармонически меняющейся сосредоточенной вибрационной силой  $P \cdot \sin \omega t$  (рис. 3), полагая при этом, что пульсирующий характер движения масла в системе ГДЭУ-5 близок к гармоническому.

Используем уравнение амплитуды динамического прогиба для консольной пластины, подверженной действию вынужденных гармонических колебаний [8]

$$Y_l = Y_0 A_l + \varphi_0 B_l \frac{1}{K} + M_0 C_l \frac{1}{EJK^2} + Q_0 D_l \frac{1}{EJK^3} + \frac{1}{EJK^2} \left\{ \sum M_i C_{ri} + \frac{1}{K} \sum P_i D_{si} - \Theta^2 \sum J_j \varphi_i C_{ji} + \frac{\Theta^2}{K} \sum M_j Y_i D_{ji} \right\}.$$

Приняв начало координат в точке приложения силы  $P \cdot \sin \omega t$ , запишем граничное условие на левом конце (в заделке) консольной пластины

$$Y_l = Y_0 \cdot A_l + \varphi_0 \cdot B_l \cdot \frac{1}{K} - P D_l \cdot \frac{1}{E \cdot I \cdot K^3} = 0. \quad (1)$$

Решение (1) дает амплитуду динамического прогиба консольной пластины в точке приложения гармонической силы

$$Y_0 = \frac{P}{E \cdot I \cdot K^3} \cdot \frac{-A_l \cdot D_l + B_l \cdot C_l}{A_l^2 - B_l \cdot D_l}, \quad (2)$$

где  $K = \sqrt[4]{q \Theta^2 / g J E}$ ;  $\theta$  – частота внешней пульсирующей нагрузки;  $q$  – прогонный вес пластины;  $P$  – пульсирующая сосредоточенная сила;  $I$  – момент инерции поперечного сечения пластины;  $A_l, B_l, C_l$  и  $D_l$  – функции влияния, вычисляемые по выражениям табл. 6 [8].

При статическом действии силы  $P$  стрела прогиба для консольно-закрепленной пластины [9]

$$Y_c = P l^3 / 3 E J.$$

Коэффициент динамичности нагрузки

$$K_D = Y_0 / Y_c = \frac{3}{K^3 \cdot l^3} \cdot \left( \frac{-A_l \cdot D_l + B_l \cdot C_l}{A_l^2 - B_l \cdot D_l} \right). \quad (3)$$

Изгиб  $f$  консольно-закрепленной пластины на расстоянии  $l$  от заделки в условиях гидродробеструйного упрочнения образца – свидетеля под действием осевой силы  $P_n$  выражается зависимостью

$$f = \frac{P_n (H - h)}{2} \cdot \frac{l^2 \cdot 12}{2 E b H^3} = \frac{3 h \sigma_n l^2 (H - h)}{E H^3}. \quad (4)$$

Отсюда начальные технологические остаточные напряжения в поверхностном слое образца

$$\sigma_n = \frac{E}{3} \cdot \frac{f H^3}{h l^2 (H - h)}. \quad (5)$$

По исходным данным для консольно-закрепленной пластины  $q = 0,994 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ ,  $\Theta = 303,5 \text{ с}^{-1}$ ,  $K = 0,0378$ ,  $A_l = 1$ ,  $B_l = 0,04$ ,  $C_l = 0,008$ ,  $D_l = 0,00001$ ,  $l = 0,03 \text{ м}$ ,  $J = 17,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$ ,  $h = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ ,  $f = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  (принято по экспериментальным данным табл. 3 [10] для стали 40ХНМА-Ш – материала шатуна) расчетное значение  $K_D = 1,22$  и  $\sigma_n = -139,8 \text{ МПа}$ . Указанное значение  $\sigma_n$  удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными, полученными для консольно-закрепленного образца-свидетеля ( $\sigma_n = -125 \text{ МПа}$ ).

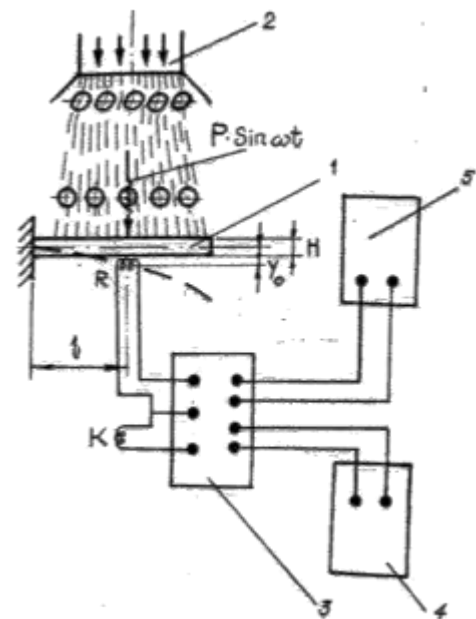


Рис. 3. Схема исследования динамического нагружения и технологических остаточных напряжений

Для экспериментальной оценки коэффициента динамичности  $K_D$  и его влияния на уровень начальных технологических остаточных напряжений в контрольной пластине после ГДУ в ОАО «Волжский дизель им. Маминых» проведены специальные исследования, блок-схема которых приведена на рис. 3. Консольная пластина 1 односторонне обрабатывалась виброударно шариками из сопла 2 в камере установки ГДЭУ-5. На противоположной – неупрочнённой стороне посередине пластины наклеивались рабочий  $R$  и компенсационный  $K$  тензорезисторы, включённые в усилитель 3 тензостанции 8 АНЧ-ТМ. Преобразованный сигнал динамической деформации пластины регистрировался на шлейфовом осциллографе 4 марки Н-115. Схема питалась от блока питания П-131 (5). Перед проведением исследований рабочий тензорезистор тарировался статически на специальном приспособлении с заданием прогиба пластины микрометром и контролем его по индикатору.

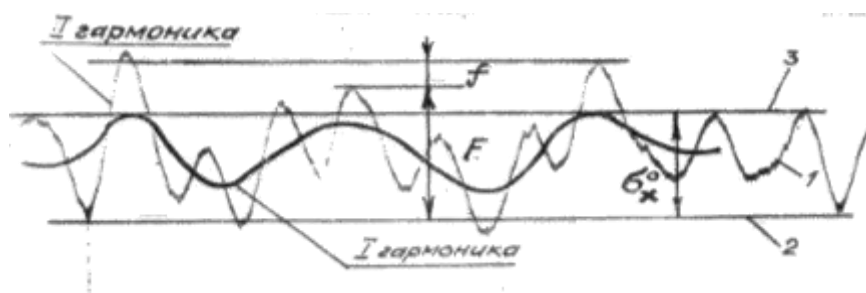


Рис. 4. Осциллограмма динамического нагружения образца-свидетеля при ГДУ

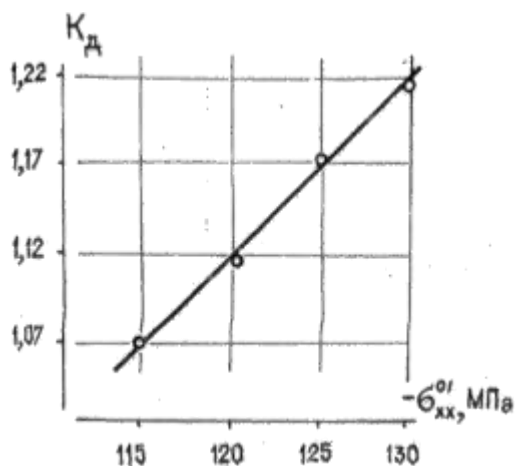


Рис. 5. Зависимость  $\sigma_n$  от  $K_D$

На рис. 4 представлена осциллограмма динамических напряжений в консольной пластине в процессе ГДУ. Анализ показывает, что напряжения образованы сложением двух вынужденных колебаний первой и второй гармоник. При этом динамическое вибрационное нагружение действует с частотой кратковременных, периодически повторяющихся пиков, близких к затухающим синусоидальным колебаниям. Уровень динамики нагружения консольной пластины в процессе ГДУ, оцениваемый коэффициентом динамичности  $K_D$ , определяется из соотношения  $K_D = 1 + f / F$ , где  $f$  – относительное динамическое изменение напряжений в пластине – разность между средними значениями пиков амплитуды I и II гармоник;  $F$  – среднее относительное значение амплитуды I гармоник напряжений в пластине. Со-

гласно осциллограмме  $K_D = 1 + 6,6 / 33 = 1,2$ . Начальные технологические остаточные напряжения  $\sigma_n$  в пластине при виброударном нагружении 1 определяются между двумя нулевыми линиями 2 и 3, отмеченными на осциллограмме до и после гидродробеструйного упрочнения. Зависимость  $\sigma_n$  от величины  $K_D$  представлена графически на рис. 5.

### Выводы

1. В динамической постановке расчётно-экспериментальным методом исследована возможность учёта комплексного критерия – коэффициента динамичности при виброударном нагружении ГДУ консольно-закреплённой пластины. Показано, что изменение амплитуды вибрационного нагружения в консольной пластине достигает 22%, что необходимо учитывать при оценке уровня технологических остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования шатунов.

2. Использован экспериментальный способ измерения начальных технологических остаточных напряжений в детали путём учёта динамики нагружения, согласно которому начальные технологические остаточные напряжения определяют между двумя нулевыми линиями, отмеченными на осциллограмме динамической напряжённости образца-свидетеля до и после гидродробеструйного упрочнения.

3. Так как при ГДУ происходит локальная пластическая деформация сжатия поверхностных слоев шатуна, особенно в зонах концентрации напряжений, несущая способность конструкции существенно зависит от технологических остаточных напряжений, которые при сложении с рабочими технологическими напряжениями могут привести к возникновению разрушающих технологических напряжений. Влияние технологических остаточных напряжений в расчётах на усталостную долговечность и эксплуатационную надёжность должно учитываться при определении предела выносливости материала конструкции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Косырев С.П. Безотходные технологические методы повышения работоспособности элементов КШМ высокофорсированных дизелей / С.П. Косырев. Балаково: Вирма, 1997. 48 с.
2. Патент России № 2133282 Способы стабилизации остаточных напряжений в поверхностном слое детали / В.Г. Кочерёхенко, Б.Н. Степанов, С.П. Косырев, В.В. Петухов, Д.В. Аникин.
3. Косырев С.П. Остаточные напряжения – резерв прочности нагруженных деталей высокофорсированных дизелей / С.П. Косырев, Л.А. Сорокина, Р.М. Рафиков // Современные технологии в машиностроении – 2003: сб. статей VI Всерос. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2003. С. 306-308.
4. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента / В.В. Петросов. М.: Машиностроение, 1977. 180 с.
5. Рыковский Б.П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклёпом / Б.П. Рыковский, В.А. Смирнов, Г.М. Щетинин. М.: Машиностроение, 1985. 160 с.
6. Саверин М.М. Дробеструйный наклёп / М.М. Саверин. М.: Машгиз, 1955. 312 с.
7. Ряхин В.А. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин / В.А. Ряхин, В.Н. Мошкарёв. М.: Машиностроение, 1984. 69 с.
8. Безухов Н.И. Устойчивость и динамика нагружения в примерах и задачах / Н.И. Безухов, О.В. Лужин, Н.В. Колкунов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. 320 с.
9. Тимошенко С.П. Механика материалов / С.П. Тимошенко, Дж. Гере. М.: Мир, 1976. 380 с.
10. Пульцин Н.М. Влияние дробеструйной обработки на остаточные напряжения и предел выносливости деталей / Н.М. Пульцин // Тр. Ленинградской военно-воздушной академии, 1949. С. 68.

**Горшков Евгений Александрович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Высшая математика и механика» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Gorshkov Evgeniy Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «High Mathematics and Mechanics» of Balakovo Institute of Techniques, Technologies and Management (branch) of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*

А.А. Казинский, А.А. Игнатъев

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФРОНТА ДЕНДРИТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СВАРОЧНО-НАПЛАВОЧНОГО ШВА КАК ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Рассмотрены вопросы устойчивости фронта дендритной кристаллизации в сплавах в переохлаждённой области локально расплавленного объёма, в условиях формирования концентрационного пересыщения примесью. Показана возможность реализации процесса кристаллизации в периодическом режиме и в режиме однократного экстремума для различных условий переохлаждения.*

Сварочно-наплавочный шов, фронт кристаллизации, математическая модель.

A.A. Kazinskiy, A.A. Ignatyev

## KINETICS OF HOMOGENOUS NUCLEUS GROWTH IN THE ZONE OF CONCENTRATED OVERSATURATION BEFORE THE FRONT OF DENDRITIC CRYSTALLIZATION OF WELDING – SURFACING BATH

*The article studies the problems of kinetics of dendrite growth in alloys in the overcooled area in conditions of formation of concentrated oversaturation by admixture. The possibility of existing processes as auto vibrations at dendritic crystallization and features of kinetics of dendrite growth depending on cluster structure of melt is shown.*

Welding filling seam, crystallization front, mathematical model.

Существенное влияние на структуру и свойства сварочно-наплавочного шва оказывает периодичность кристаллизации расплава ванны. Ряд авторов указывали на возможность управления процессом дендритной кристаллизации расплава, в том числе периодическим изменением степени переохлаждения расплава ванны [1]. Для анализа кинетики кристаллизации расплава с учётом обогащения приграничного слоя расплава перед фронтом роста дендритов избытком примеси, извлекаемой из зоны формирующегося кристаллического строения сварочно-наплавочного шва, воспользуемся известным нестационарным уравнением пересыщения расплава за счёт диффузии примеси в активном районе двухфазной зоны [2]. Уравнение отражает наличие и взаимосвязи четырех видов физических явлений в системе зоны активного роста дендритных зародышей (АРДЗ) – пограничный слой расплава: теплопередачи, роста кристалла, диффузии примеси и движения расплава в пограничном слое с турбулизацией потока:

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + (k_m + k_d)\Delta\bar{C} = m_s(V : \varepsilon) + (1 - k_0)C_0S_1N_1\theta(t)/S_0, \quad (1)$$

где  $k_d = (1 - k_0)\beta_0C_0S_1N_1\mu_1/S_0$ ;  $l_0$  – протяжённость АРДЗ;  $k_m$  – коэффициент массопередачи;  $C$  – концентрация примеси в расплаве в зоне АРДЗ;  $C_0$  – исходная концентрация примеси в расплаве ванны; плотность потока вещества (примеси) на границе твердой и жидкой фаз  $m_s$



зависит от скорости потока расплава  $V$  и степени шероховатости  $\varepsilon$ ,  $m_s(V : \varepsilon) = \gamma(V)\varepsilon$ ;  $\gamma(V)$  – коэффициент вихревого взвешивания примеси в расплаве (1/с);  $\varepsilon = \varepsilon(t) = \int_0^t R_1(\Delta\bar{T}(t))dt$ ;  
 $R_1 = \mu_1(\Delta\bar{T}(t))$  – скорость движения фронта кристаллизации;  $\mu_1$  – коэффициент роста скорости от переохлаждения;  $\Delta\bar{T}(t) = \frac{1}{\ell_0} \int_0^{\ell_0} \Delta T(z : t)dz = \theta(t) - \beta_0 \cdot \Delta\bar{C}(t)$ ;  $\Delta\bar{C}(t) = \frac{1}{\ell_0} \int_0^{\ell_0} \Delta C(z : t)dz$ ;  
 $\Delta T = T_x - T$ ;  $\Delta C = C - C_0$ ;  $T_x = T_0 - \beta_0 C$ ;  $T_0$  – температура ликвидус чистого компонента растворителя сплава;  $\beta_0$  – коэффициент падения температуры ликвидус в сплаве (1/K);  $\theta(t)$  – реально действующее переохлаждение относительно температуры ликвидус растворителя сплава;  $k'$  – коэффициент разделительной диффузии  $k' = C_s/C_l$ , в своём пределе  $k' = k_0$ , а  $k_0 < 1$  – равновесный коэффициент распределения примеси,  $k_0 = 0,46$  для углерода в стали;  $C_s$  – концентрация примеси в твердой фазе;  $C_l$  – концентрация примеси в жидкой фазе, в пределе  $C_l = C_0$ ;  $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$  – скорость роста объёма твёрдой фазы.

Первое слагаемое правой части (1) определяет плотность потока вещества, легкоплавкой примеси, размываемой из двухфазной зоны и её активного района под влиянием вихреобразования в пограничном слое от движения расплава. Второе слагаемое определяет прирост концентрации примеси в АРДЗ вследствие обогащения исследуемой фазы ликвирующими элементами в ходе кристаллизации. Обогащение исследуемой фазы ликвирующими элементами от растущих гомогенов может быть задано добавочным слагаемым, но с величиной  $N_2$ , соответственно скоростью роста  $\mu_2$  и коэффициентом распределения примеси  $k_{02}$ , площадью поверхности  $S_2$  и так далее.

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + (k_m + k_d)\Delta\bar{C} = m_s(V : \varepsilon) + ((1 + k_0)C_0S_1N_1\theta(t) + (1 - k_{02})C_0S_2N_2\mu_2\theta_2(t))/S_0; \quad (2)$$

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + (k_m + k_d)\Delta\bar{C} = (1 - k_0)C_0S_1N_1\mu_1\theta(t)/S_0 + (1 - k_{02})C_0S_2N_2\mu_2\theta(t) \cdot g/S_0 + \\ + \mu_1\gamma \int_0^t [\theta(t') - \beta_0\Delta\bar{C}(t')]dt. \quad (3)$$

Дифференцируя по  $t$  обе части уравнения и приводя к каноническому виду:  $X = \theta(t)$ ,  $Y = \Delta\bar{C}(t)$ ;  $2h = (k_m + k_d)/l_0$ ;  $k^2 = \beta_0\mu_1\gamma/l_0$ ;  $A = \mu_1\gamma/l_0$ ;  $B = (1 - k_0)C_0S_1N_1\mu_1/(l_0S_0)$ ,  $C' = (1 - k_{02})C_0S_2N_2\mu_2g/(l_0S_0)$ , получаем систему, описываемую уравнением:

$$\ddot{Y} + \frac{2h}{A}\dot{Y} + \frac{k^2}{A}Y = X + \frac{B+C}{A}\dot{X}. \quad (4)$$

Рассмотрим характеристики системы с использованием методов теории автоматического управления, примем значения коэффициентов:  $c_0 = 1$ ;  $c_1 = 2h$ ;  $c_2 = k^2$ ;  $b_0 = B+C$ ;  $b_1 = A$ . Лапласово изображение дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях:  $(c_0p^2 + c_1p + c_2)x_{\text{вых}}(p) = (b_0p + b_1)x_{\text{вх}}(p)$ .

Передаточная функция:

$$K(p) = \frac{b_0p + b_1}{c_0p^2 + c_1p + c_2}. \quad (5)$$

Для определения частотных характеристик звена на вход системы подаётся периодическое гармоническое воздействие  $x_{\text{вх}} = X_{\text{вх}} \cdot e^{j\omega t}$ , где  $e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t$ .

Выражение, позволяющее определить при данном периодическом возмущении на входе изменение амплитуды и фазы на выходе системы в зависимости от частоты  $\omega$  имеет вид:

$$K(j\omega) = \frac{b_0(j\omega) + b_1}{c_0(j\omega)^2 + c_1(j\omega) + c_2}. \quad (6)$$

Преобразуем выражение (6) с выделением действительной и мнимой частей:

$$K(j\omega) = \frac{b_0(j\omega) + b_1}{-c_0\omega^2 + c_1(j\omega) + c_2} = \frac{b_0(j\omega) + b_1}{(c_2 - \omega^2) + c_1(j\omega)} = R(\omega) + I(\omega), \text{ т.к. } c_0 = 1;$$

$$K(j\omega) = \frac{b_0(j\omega) + b_1}{-\omega^2 + c_1(j\omega) + c_2} = \frac{b_0(j\omega) + b_1}{(c_2 - \omega^2) + c_1(j\omega)} = R(\omega) + j(I(\omega)); \quad (7)$$

$$K(j\omega) = \frac{(b_0(j\omega) + b_1)((c_2 - \omega^2) - j(c_1\omega))}{((c_2 - \omega^2) + j(c_1\omega)) \cdot ((c_2 - \omega^2) - j(c_1\omega))} =$$

$$= \frac{\alpha\omega^2 + \gamma}{(c_2 - \omega^2)^2 + (c_1\omega)^2} + j \cdot \frac{\beta\omega - b_0\omega^3}{(c_2 - \omega^2)^2 + (c_1\omega)^2}, \quad (8)$$

где  $\alpha = b_0c_1 - b_1$ ;  $\beta = b_0c_2 - c_1b_1$ ;  $\gamma = b_1c_2$ . Тогда:

$$R(\omega) = \frac{\alpha\omega^2 + \gamma}{(c_2 - \omega^2)^2 + (c_1\omega)^2}, \quad I(\omega) = \frac{\omega(\beta - b_0\omega^2)}{(c_2 - \omega^2)^2 + (c_1\omega)^2}.$$

Теперь получим амплитудно-частотную характеристику системы:

$$|K(j\omega)| = A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)} = \frac{\sqrt{\omega^4(\alpha^2 - 2\beta \cdot b_0) + \omega^2(2\alpha\gamma + \beta^2) - b_0^2\omega^6 + \gamma^2}}{(c_2 - \omega^2)^2 + (c_1\omega)^2};$$

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{\omega^2(\omega^2(\varepsilon - b_0^2\omega^2) + \rho) + \chi}}{(c_2 - \omega^2)^2 + (c_1\omega)^2}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon = \alpha^2 - 2\beta \cdot b_0$ ;  $\rho = 2\alpha\gamma + \beta^2$ ;  $\chi = \gamma^2$ , и фазочастотную характеристику системы:

$$\theta(\omega) = \arctg \frac{I(\omega)}{R(\omega)} = \arctg \frac{\beta\omega - b_0\omega^3}{\alpha\omega^2 + \gamma}.$$

Любая динамическая система характеризуется переходным процессом, возникающим в ней при нарушении её равновесия каким-либо воздействием (изменением степени переохладения, наложением периодического воздействия источником тепла, например, периодической обработки токами высокой частоты). Переходный процесс  $y(t)$  зависит как от свойств системы, так и от вида возмущения. В переходном процессе всегда различают две составляющие:

- 1) свободные движения системы  $y_c(t)$ , определяемые начальными условиями и свойствами самой системы;
- 2) вынужденные движения  $y_g(t)$ , определяемые возмущающими воздействием и свойствами системы.

$$y(t) = y_c(t) + y_g(t). \quad (10)$$

Одной из основных характеристик динамической системы регулирования является её устойчивость. Под устойчивостью понимается свойство системы возвращаться к состоянию установившегося равновесия после устранения возмущения, нарушившего указанное равновесие.

В нашем случае скачок переохладения должен сопровождаться стабилизацией степени пересыщения на новом уровне после скачкообразного изменения пересыщения.

Для устойчивой системы реакция на изменение нагрузки, возмущение – стремление свободной составляющей с течением времени к нулю

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_c(t) \rightarrow 0. \quad (11)$$

Следовательно, характер свободного движения системы определяет её устойчивость. В отношении устойчивости линеаризованных систем А.М. Ляпуновым предложены теоремы, определяющие значение и сферу применения линеаризации нелинейных уравнений, т.е. правомерность отнесения к нелинейным системам большинства реальных систем.

Теоремы формулируются так:

1. Нелинейная система устойчива в «малом» (т.е. при малых начальных отклонениях), если отрицательны все вещественные корни характеристического уравнения системы, составленного для её линейного приближения.

2. Нелинейная система неустойчива в «малом», если хотя бы один корень характеристического уравнения линейного приближения имеет положительную вещественную часть.

При наличии чисто мнимых корней или равенстве нулю вещественного корня вопрос об устойчивости системы требует дополнительного исследования. Для нелинейных систем устойчивость в «малом» ещё не решает вопроса устойчивости в любых обстоятельствах. Устойчивость нелинейных систем зависит от величины возмущения.

Свободное движение линейной системы описывается однородным дифференциальным уравнением, т.е. уравнением без правой части, тогда для определения устойчивости системы надо исследовать именно его. Решение такого дифференциального уравнения при всех вещественных корнях имеет вид:

$$y_c(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{p_i t}, \quad (12)$$

где  $A_i$  – постоянные интегрирования, определенные параметрами системы и начальными условиями;  $p_i$  – корни характеристического уравнения свободного движения системы;  $t$  – время.

При наличии пары комплексных корней уравнения  $p_{i,i+1} = -\lambda_i \pm j\rho_i$  в правую часть формулы (12) будет входить слагаемое  $A_i e^{-\lambda_i t} \sin(\rho_i t + \varphi_i)$ , где  $A_i$  – начальная амплитуда,  $\varphi_i$  – начальная фаза. Из (12) следует, что динамические свойства системы регулирования определяют значения  $p_i$  и  $A_i$ .

Если все корни характеристического уравнения будут отрицательные вещественные или комплексные с отрицательной вещественной частью, то каждое слагаемое в правой части (12) будет убывать при  $t \rightarrow \infty$ , а значит, и их сумма тоже будет стремиться к 0 и условие устойчивости будет удовлетворяться. Правда, характер стремления к 0 вещественных и комплексных корней будет различным. В первом случае уменьшение по экспоненте, во втором затухание колебаний также по экспоненте, что говорит о возможности существования колебательного переходного процесса.

Характеристическое уравнение имеет вид:  $c_0 \ddot{y}_c + c_1 \dot{y}_c + c_2 y_c = 0$ . Разделим на  $c_2$ , получим:  $(c_0/c_2) \ddot{y}_c + (c_1/c_2) \dot{y}_c + y_c = 0$ , обозначив  $T_1^2 = c_0/c_2$ ;  $T_2 = c_1/c_2$ , получим характеристическое уравнение в виде:

$$T_1^2 p^2 + T_2 p + 1 = 0. \quad (13)$$

Для колебательного звена должно выполняться условие:  $T_2^2 - 4T_1^2 < 0$ .

Проведя расчёт для реальных значений коэффициента массопередачи, коэффициента разделительной диффузии и условий отвода примеси от границы раздела фаз, можно утверждать, что приведённое неравенство выполняется.

Корни характеристического уравнения (13) находят по известной формуле:

$$p_{1,2} = \frac{-T_2 \pm \sqrt{T_2^2 - 4T_1^2}}{2T_1^2}. \quad (14)$$

Так как параметры звена таковы, что соблюдается неравенство:  $T_2^2 + 4T_1^2 < 0$ , то корни характеристического уравнения будут комплексными с отрицательной вещественной частью

и могут быть записаны в виде:  $p_{1,2} = -\lambda \pm j\rho$ , где  $-\lambda = -\frac{T_2}{2T_1^2}$ ;  $\rho = \frac{1}{T_1} \sqrt{1 - \frac{T_2^2}{4T_1^2}}$ .

Поскольку корни характеристического уравнения комплексные с отрицательной вещественной частью, тогда каждое слагаемое правой части выражения (12) для решения линейного дифференциального уравнения при всех вещественных корнях будет с течением времени уменьшаться и при  $t \rightarrow \infty$  будет стремиться к 0. А значит, и сумма их будет стремиться к 0, и условие устойчивости (11) будет выполняться.

Итак, по результатам анализа, система роста дендритов с дополнительными источниками примеси в переохлаждённой зоне перед фронтом дендритной кристаллизации является устойчивой. При этом величина  $\lambda$  – постоянная затухания звена, чем  $\lambda$  больше, тем меньше затухают колебания. Затухание тем меньше, чем больше коэффициенты падения температуры ликвидус в сплаве, роста скорости кристаллизации от переохлаждения и взвешивания примеси в расплаве ванны из зоны АРДЗ. Затухание колебаний усиливается при увеличении коэффициента массопередачи в расплаве и потока примеси из твёрдой фазы в расплав за счёт разделительной диффузии.

Из предложенных зависимостей могут быть взяты условия:

1. Условие незатухающих колебаний.
2. Условие потери устойчивости фронта кристаллизации, которая приводит к неограниченному росту пресыщения перед фронтом кристаллизации.

Последнее условие может быть выведено из наличия среди корней характеристического уравнения хотя бы одного вещественного положительного корня или хотя бы одной пары сопряжённых комплексных корней с положительной вещественной частью. Для одного случая условие неограниченного роста пресыщения и перехода на гомогенную кристаллизацию можно определить уже сейчас. При  $T_2^2 - 4T_1^2 > 0$  корни  $p_{1,2}$  характеристического уравнения (13) будут вещественными и определяются из равенства (14). Если в этом равенстве хоть раз получится (+), то устойчивость будет потеряна. Корень будет всегда положителен, знаменатель – тоже, концентрация примеси перед дендритным фронтом будет неограниченно возрастать.

Следует отметить, что если выполнить условие  $T_2^2 - 4T_1^2 > 0$  и не выполнить условие  $\sqrt{T_2^2 - 4T_1^2} > T_2$ , то корни характеристического уравнения будут вещественными, но не положительными, и процесс будет устойчивым, но не колебательным. Он представится аperiodической кривой, которая ни при каких начальных условиях не может иметь больше одного экстремума, а звено станет не колебательным, а аperiodическим звеном второго порядка.

Неустойчивость системы может появиться и в случае, когда по определению колебательного звена корни характеристического уравнения  $T_1^2 p^2 + T_2^2 p^2 + 1 = 0$  должны быть комплексными и иметь отрицательную вещественную часть. Это возможно при положительных коэффициентах и при выполнении условия  $T_2^2 - 4T_1^2 < 0$ . Первое условие всегда соблюдается в соответствии с физической сущностью коэффициентов, а вот второе условие соблюдается не всегда и требует проверки. При положительном значении показателя степени в формуле корня характеристического уравнения система будет неустойчивой и отклонение параметра регулирования (пресыщения) от начального значения с течением времени будет неограниченно возрастать в колебательном процессе.

Учитывая, что  $-\lambda = -\frac{T_2}{2T_1^2}$ , единственный вариант такой неустойчивости  $T_2 < 0$ , тогда

или  $c_1 < 0$  или  $c_2 < 0$ , то есть или  $h < 0$ , или  $k < 0$ .  $k = \sqrt{\beta_0 \mu_1 \gamma / l_0}$  – положительно,  $h = (k_m + k_d) / 2\varphi_0$ ,  $h < 0$  может быть, если только  $k_m$  – коэффициент массопередачи на границе АРДЗ имеет отрицательный знак, т.е. текущая плотность примеси в АРДЗ меньше начальной плотности  $C_0$ , что возможно при условии связывания примеси в зоне АРДЗ в химическое соединение третьим компонентом.

Обеспечение торможения процесса роста дендритов возможно при условиях, обеспечивающих  $T_2^2 + 4T_1^2 < 0$  и  $\sqrt{T_2^2 - 4T_1^2} > T_2$ . Однако следует учесть и влияние числителя в передаточной функции на переходную функцию. Выводы, сделанные выше, останутся справедливыми при рассмотрении системы как линейной, однозвенной, незамкнутой. Этот подход может быть продуктивен при реализации элементарных возмущающих воздействий, которые часто используются на практике. Таким образом, приведённый анализ кристаллизующегося расплава сварочно-наплавочной ванны как динамической системы позволяет определить условия изменения характера дендритной кристаллизации и устранения неоднородности структуры шва, связанной с ней.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Раямяки П. Определение основных характеристик температурного поля для оценки типа затвердевания металла шва при сварке плавлением / П. Раямяки, В.А. Кархин, П.Н. Хомич // Сварочное производство. 2007. № 2. С. 42-48.

2. Самойлович Ю.А. Системный анализ кристаллизации слитка / Ю.А. Самойлович. Киев: Наукова думка, 1983. 248 с.

**Казинский Алексей Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» Саратовского государственного технического университета

**Kazinskiy Aleksey Alekseyevich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Materials Science and High-efficiency Treatment Processes» of Saratov State Technical University

**Игнатьев Александр Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Ignatyev Aleksandr Anatolyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Automation and Technological Processes Management» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 11.11.09, принята к опубликованию 14.01.10*

**А.В. Королев, А.Н. Аничкин**

### **ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЯХ**

*В работе [1] приведен расчет толстостенных составных труб. Расчеты показали, что составные трубы имеют более высокую прочность, чем сплошные. Однако в машиностроении детали редко изготавливаются составными из-за их высокой стоимости. Более высокие технологические показатели имеют детали, состоящие из многих слоев материала. Однако использование таких многослойных изделий в технике ограничивается отсутствием методов их расчета на прочность. Ниже приведен расчет остаточных напряжений в многослойных кольцевых деталях, изготовленных навивкой из металлической ленты.*

Кольцевые детали, остаточные напряжения.

**A.V. Korolyov, A.N. Anichkin**

### **RESIDUAL STRESSES IN MULTILAYER RING DETAIL**

*In [1] the calculation of thick-walled composite pipes is shown. Calculations prove that the composite pipes have higher strength than solid. However, in Machine Engineering Research Institute of the constituent parts is rarely made because of their high cost. Higher technological characteristics are the details, consisting of many layers of material. However, the use of multi-products in the technique is limited to the lack of methods of calculation for strength. The authors present the calculation of residual stresses in the multi-ring detail, made through winding of metal strip.*

Ring detail, residual stress.

Плоская металлическая лента толщиной  $\delta$  и шириной  $h$  с натягом  $P$  навивается в несколько слоев на оправку радиусом  $r_v$  (рис. 1). Между витками ленты образуется контактное напряжение  $\sigma_{ni}$ . Определим это напряжение.

Рассмотрим произвольный  $i$ -й виток. Так как толщина каждого витка мала по сравнению с его радиусом, то примем форму витка в виде тонкого кольца, а расчет напряжений в этом витке будем производить на основе безмоментной теории оболочек.

Выделим на данном витке элемент, представленный на рис. 2. Растягивающие напряжения  $\sigma_r$  направлены вдоль окружности детали, напряжения  $\sigma_m$  направлены вдоль ее оси.

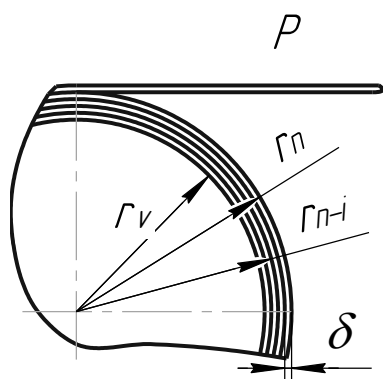


Рис. 1. Схема формирования многослойного кольца

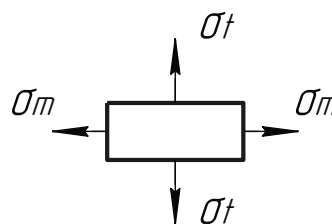


Рис. 2. Элемент поверхности произвольного витка кольца

В соответствии с уравнением Лапласа

$$\frac{\sigma_t}{\rho_i} + \frac{\sigma_m}{\rho_m} = \frac{\sigma_{ni}}{\delta}, \quad (1)$$

где  $\rho_m$  – радиус поперечного сечения ленты.

Но для плоской ленты  $\rho_m = \infty$ . Поэтому из равенства (1) получим:

$$\sigma_{ni} = \frac{\sigma_t}{\rho_i} \cdot \delta. \quad (2)$$

Из равенства (2) видно, что контактные напряжения между витками различны и уменьшаются по мере возрастания радиуса витков.

Напряжения вдоль окружности витка  $\sigma_t$  постоянны и зависят от силы натяга  $P$ :

$$\sigma_t = \frac{P}{\delta \cdot h}, \quad (3)$$

а радиус витка зависит от его номера:

$$\rho_i = \rho_v + \delta \cdot i. \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в выражение (2), получим:

$$\sigma_{ni} = \frac{P}{h \cdot (\rho_v + \delta \cdot i)}. \quad (5)$$

На рис. 3 показана зависимость величины контактных напряжений между витками, построенная из выражения (5), от порядкового номера витка. Как видно, напряжения между витками в верхних слоях детали получаются существенно выше, чем во внутренних слоях, особенно при малых соотношениях радиуса детали и толщины ленты.

Большой практический интерес представляет состояние детали после ее снятия с оправки. Каждый виток после снятия детали с оправки будет уменьшаться в диаметре и тем самым освобождаться от растягивающих напряжений  $\sigma_t$ .

В соответствии с законом Гука упругая деформация витка определяется зависимостью:

$$\Delta l_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta \sigma_{ni} \cdot \rho_i}{E}, \quad (6)$$

где  $E$  – модуль упругости материала ленты;  $\Delta \sigma_{ni}$  – величина изменений упругой деформации  $i$ -го витка.

Так как

$$\Delta l_i = 2 \cdot \pi \cdot \Delta \rho_i,$$

где  $\Delta\rho_i$  – изменение радиуса  $i$ -го витка, то равенство (6) примет вид:

$$\Delta\rho_i = \frac{\Delta\sigma_{ti} \cdot \rho_i}{E}. \quad (7)$$

Если, например, в результате деформации витков напряжения растяжения в каком-то из них полностью устраняются, то  $\Delta\sigma_{to} = \sigma_t$ . При этом величина радиальной деформации верхних витков с большим радиусом  $\rho_i$  осуществляется на большую величину, чем нижних, имеющих меньший радиус  $\rho_i$ . Таким образом, витки при снятии детали с оправки остаются в контакте, причем верхние витки давят на внутренние, и следовательно, верхние витки находятся в состоянии растяжения, а внутренние – в состоянии сжатия.

При условии неразрывности контакта витков их радиальная деформация должна осуществляться на одинаковую величину ( $\Delta\rho_i = \Delta\rho = \text{const}$ ). Тогда из выражения (7) следует, что остаточные растягивающие  $\sigma_{toi}$  и контактные  $\sigma_{noi}$  напряжения во всех витках неодинаковые и определяются из выражений:

$$\begin{aligned} \sigma_{toi} &= \sigma_t - \frac{\Delta\rho \cdot E}{\rho_i}; \\ \sigma_{noi} &= \frac{\sigma_t}{\rho_i} \cdot \delta - \frac{\Delta\rho \cdot E}{\rho_i^2} \cdot \delta. \end{aligned} \quad (8)$$

Для окончательного определения остаточных напряжений в детали необходимо найти радиальную деформацию  $\Delta\rho$  всех витков. Величину этой деформации найдем из условия, что существует такой виток радиусом  $\rho_o$ , в котором остаточные напряжения равны нулю. Из равенства (8) для этого витка:

$$\Delta\rho = \frac{\sigma_t}{E} \cdot \rho_o. \quad (9)$$

Другим условием равновесия геометрических параметров витков является равенство нулю суммарной потенциальной энергии деформации всех витков. Элементарная энергия деформации  $i$ -го витка без учета сил трения между витками определяется на основе теоремы Клапейрона:

$$du_i = \frac{\sigma_{toi}^2}{2 \cdot E} \cdot dv_i, \quad (10)$$

где  $dv$  – объем элемента витка, равный

$$dv_i = \delta \cdot h \cdot dl_i,$$

$dl$  – элементарная длина витка.

Раскрывая в (10) значение элементарного объема, найдем:

$$du_i = \frac{\sigma_{toi}^2}{2 \cdot E} \cdot \delta \cdot h \cdot dl_i. \quad (11)$$

На самом деле между витками существует сила трения, которая поглощает часть потенциальной энергии деформации. Потенциальная энергия трения на элементарном участке витка с верхним и нижним витками равна:

$$\begin{aligned} du_{f,i+1} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_{noi} \cdot h \cdot \rho_{i+1} \cdot d\lambda_{i+1}; \\ du_{f,i-1} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_{noi-1} \cdot h \cdot \rho_{i-1} \cdot d\lambda_{i-1}, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $f$  – коэффициент трения между витками;  $d\lambda_{i+1}, d\lambda_{i-1}$  – элементарный сдвиг поверхностей соседних верхнего и нижнего витков на элементарном участке  $dl_i$   $i$ -го витка.



Сдвиг поверхностей соседних витков осуществляется за счет разности их удлинения при деформации. Если деформация  $i$ -го витка осуществляется на величину  $dl_i$ , то деформация выше и ниже расположенных витков осуществляется на величину:

$$\begin{aligned} dl_{i+1} &= dl_i \cdot \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i}; \\ dl_{i-1} &= dl_i \cdot \frac{\rho_{i-1}}{\rho_i}. \end{aligned} \quad (13)$$

Тогда на основе (13) определим

$$\begin{aligned} d\lambda_{i+1} &= dl_{i+1} - dl_i = dl_i \cdot \left( \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} - 1 \right); \\ dl_{i-1} &= dl_i - dl_{i-1} = dl_i \cdot \left( 1 - \frac{\rho_{i-1}}{\rho_i} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Подставляя равенства (14) в выражения (12), найдем:

$$\begin{aligned} du_{f,i+1} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_{noi} \cdot h \cdot \rho_{i+1} \cdot \left( \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} - 1 \right) \cdot dl_i; \\ du_{f,i-1} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_{noi-1} \cdot h \cdot \rho_{i-1} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_{i-1}}{\rho_i} \right) \cdot dl_i. \end{aligned} \quad (15)$$

Принимая во внимание, что радиус соседних витков отличается на толщину ленты, и выражая контактное напряжение между поверхностями данного витка с нижним витком через контактное напряжение данного витка с верхним и нижним витками, получим:

$$\begin{aligned} du_{f,i+1} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \frac{\delta^2}{\rho_i} \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{\rho_i} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i} \right) \cdot dl_i; \\ du_{f,i-1} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \frac{\delta^2}{\rho_i} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i - \delta} \right) \cdot dl_i. \end{aligned} \quad (16)$$

Силы трения поверхности данного витка с поверхностями соседних витков действуют в противоположные стороны. Поэтому из (16) результирующая элементарная сила трения, действующая на элементарный участок  $i$ -го витка, равна:

$$du_{f,i+1} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \frac{\delta^2}{\rho_i} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{\delta}{\rho_i} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i} \right) - \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i - \delta} \right) \right] \cdot dl_i. \quad (17)$$

Тогда суммарная энергия деформации на элементарном участке  $i$ -го витка

$$du_i = \frac{\sigma_t^2}{2 \cdot E} \cdot \delta \cdot h \cdot \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i} \right)^2 \cdot dl_i - 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \frac{\delta^2}{\rho_i} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{\delta}{\rho_i} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i} \right) - \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_i - \delta} \right) \right] \cdot dl_i. \quad (18)$$

Из равенства (18) найдем полную потенциальную энергию деформации  $i$ -го витка:

$$u_i = \pi \cdot \frac{\sigma_t^2}{E} \cdot \delta \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_i}\right)^2 \rho_i - 4 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \delta^2 \cdot \left[ \left(1 + \frac{\delta}{\rho_i}\right) \cdot \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_i}\right) - \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_i - \delta}\right) \right]. \quad (19)$$

В качестве примера на рис. 3 показана зависимость энергии деформации в зависимости от порядкового номера витка и коэффициента трения.

Как видно из рис. 3, энергия свободной деформации витков различна. Наиболее высокую энергию деформации имеют крайние витки. Наименьшая энергия деформации возникает у витков, расположенных в средней части сечения детали.

Полная потенциальная энергия деформации детали определится суммой энергий всех ее витков. Используя выражения (19), после преобразования определим:

$$U = \pi \cdot \frac{\sigma_t^2}{E} \cdot \delta \cdot h \cdot \sum_{\rho_v}^{\rho_n} \rho_i \cdot \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_i}\right)^2 - 4 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \delta^2 \cdot \sum_{\rho_v}^{\rho_n} \left[ \left(1 + \frac{\delta}{\rho_i}\right) \cdot \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_i}\right) - \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_i - \delta}\right) \right]. \quad (20)$$

Воспользовавшись равенством (4), найдем:  $\rho_i = \rho_v + \delta \cdot i$

$$U = \pi \cdot \frac{\sigma_t^2}{E} \cdot \delta \cdot h \cdot \sum_0^k \frac{(\rho_v + \delta \cdot i - \rho_o)^2}{\rho_v + \delta \cdot i} - 4 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot \sigma_t \cdot h \cdot \delta^2 \cdot \sum_0^k \left[ \left(1 + \frac{\delta}{\rho_v + \delta \cdot i}\right) \cdot \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_v + \delta \cdot i}\right) - \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_v + \delta \cdot i - \delta}\right) \right], \quad (21)$$

где  $k$  – общее число витков, равное

$$k = \frac{\rho_n - \rho_v}{\delta}.$$

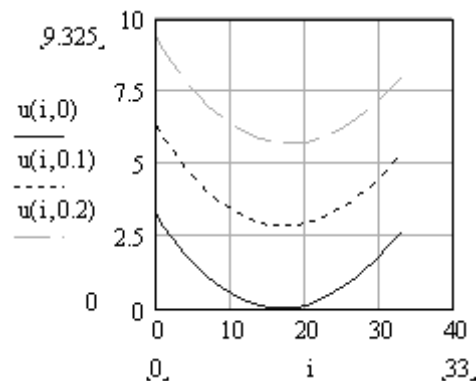


Рис. 3. Зависимость энергии деформации витка  $u(i, f)$  от его порядкового номера  $i$  и коэффициента трения  $f$

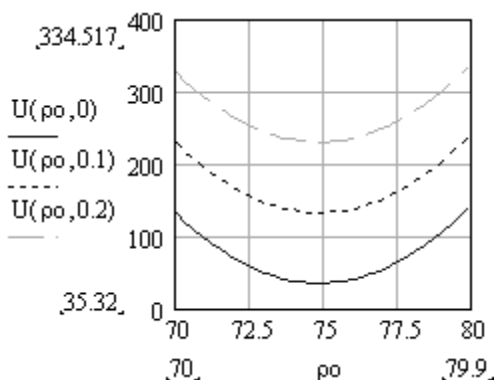


Рис. 4. Влияние радиуса витков  $\rho_o$ , находящихся в ненапряженном состоянии, и коэффициента трения между витками  $f$  на энергию деформации  $U(\rho_o, f)$  многослойной детали

На рис. 4 представлена зависимость полной энергии свободной деформации многослойной детали для условий предыдущего примера.

Зависимость, приведенная на рис. 4, показывает, что витки, в которых отсутствуют остаточные напряжения, находятся в центре симметрии сечения детали. Кроме того, графики 3 и 4 показывают, что значительное влияние на энергию деформации витков детали оказывает сила трения между витками. С возрастанием силы трения энергия деформации возрастает.

Так как все процессы в природе стремятся к минимуму затрат энергии, то, следовательно,  $\rho_o$  соответствует среднему положению витков:

$$\rho_o = \frac{\rho_v + \rho_n}{2}. \quad (22)$$

Подставляя это значение в (9) и (8), определим остаточное напряжение в витках и между витками детали:

$$\begin{aligned} \sigma_{toi} &= \sigma_t \cdot \left( 1 - \frac{\rho_v + \rho_n}{2 \cdot (\rho_v + \delta \cdot i)} \right); \\ \sigma_{noi} &= \frac{\sigma_t}{\rho_v + \delta \cdot i} \cdot \delta \cdot \left( 1 - \frac{(\rho_v + \rho_n)}{2 \cdot (\rho_v + \delta \cdot i)} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Таким образом, мы получили искомые зависимости для расчета остаточных напряжений в детали, изготовленной из многослойного материала. Как показывают равенства (23), во внутренних слоях детали напряжения, направленные вдоль окружности, являются напряжения сжатия, а в наружных слоях образуются напряжения растяжения. Остаточные контактные напряжения получаются существенно меньше, чем контактные напряжения, возникающие в процессе изготовления детали. В наружных слоях детали контактные напряжения выше, чем во внутренних.

Выполненные исследования позволяют целенаправленно осуществлять проектные работы по изготовлению многослойных кольцевых деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 593 с.
2. Биргер И.Ф. Прочность, устойчивость, колебание: в 2 т. / И.Ф. Биргер. М.: Машиностроение, 1988. Т. 1. 831 с.
3. Биргер И.Ф. Прочность, устойчивость, колебание: в 2 т. / И.Ф. Биргер. М.: Машиностроение, 1988. Т. 2. 456 с.

**Королев Альберт Викторович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета

**Korolyov Albert Viktorovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Technology of Mechanical Engineering» of Saratov State Technical University

**Аничкин Александр Николаевич** –  
аспирант кафедры  
«Технология машиностроения»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Anichkin Aleksandr Nikolayevich** –  
Post-graduate Student  
of the Department of «Technology  
of Mechanical Engineering»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.11.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 621.822.6

**А.А. Никитин, Г.М. Цимбалов**

**МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ  
ВНЕШНЕГО КОЛЬЦА ПОДШИПНИКА**

*Показана возможность использования динамической теории упругости для исследования вибраций подшипников. Рассмотрены примеры упругих колебаний точек наружного кольца подшипника.*

Вибродиагностика, упругие колебания, кольцо подшипника.

**A.A. Nikitin, G.M. Tsimbalov**

**AUTOMATED VIBRATION-BASED DIAGNOSTICS METHOD  
OF MECHANICAL SYSTEMS ON THE BASES OF BEARINGS'  
EXTERNAL RING VIBRATION RESEARCH**

*The article studies the possibility of use of the dynamic theory of elasticity for bearings' vibrations research. Examples of elastic fluctuations of points of the external ring of a bearing are considered.*

Vibration-based diagnostics, elastic fluctuations, bearing ring.

**Введение.** Данное исследование проводилось с целью теоретической проверки возможностей измерения вибрационных смещений внешнего кольца подшипника новым сверхвысокочастотным вибропреобразователем (СВЧ–ВП)[1]. С теоретической точки зрения, подшипник с телами качения представляет чрезвычайно сложную динамическую систему, которая не поддается точному количественному описанию. До сих пор расчет вибраций его элементов проводился на качественном уровне, опирающемся на математический аппарат разработанной для описания колебаний системы связанных гармонических осцилляторов. Однако, при всем желании, невозможно получить достаточно точное количественное описание упругих колебаний точек кольца подшипника, представляя его какой-либо совокупностью связанных осцилляторов. Единственный надежный путь решения этой задачи – использование динамических уравнений классической теории упругости. Однако, выбрав этот путь,

необходимо осознавать, что проторенных дорожек на этом пути нет, и излагаемый ниже материал – это первый опыт использования динамической теории упругости для исследования вибрации подшипников.

**1. Постановка задачи.** Если пренебречь кривизной дорожек качения, то внешнее кольцо подшипника можно представить в виде полого цилиндра (см. рис. 1). На внутреннюю поверхность этого цилиндра действуют динамические упругие силы давления со стороны шариков. Эти силы очень сложным образом зависят от времени  $t$  и цилиндрических координат поверхности  $z$  и  $\varphi$ . Пусть нас интересуют упругие колебания точек внешней поверхности цилиндра, тогда, используя принцип Сен-Венана [2], можно усреднить силы давления со стороны шариков по угловой координате  $\varphi$  и представить вектор плотности поверхностной силы, действующей на кольцо подшипника со стороны  $i$ -го шарика в виде

$$\bar{F}^{(i)} = [f_r^{(i)}(t)\bar{e}_r + f_z^{(i)}(t)\bar{e}_z] \delta(z - z_0^{(i)}) / 2\pi R_1,$$

где  $\delta(z - z_0^{(i)})$  – одномерная дельта-функция Дирака, описывающая точечное взаимодействие шарика с поверхностью кольца на окружности с координатой центра  $z_0^{(i)}$ ;  $f_r^{(i)}$ ,  $f_z^{(i)}$  – радиальная и осевая компоненты силы, действующие в данный момент времени  $t$  на внутреннюю поверхность кольца со стороны  $i$ -го шарика. Очевидно, что суммарный вектор плотности поверхностной силы, действующей со стороны всех шариков подшипника, будет определяться в виде

$$\bar{F} = F_r(t, z)\bar{e}_r + F_z(t, z)\bar{e}_z,$$

где  $F_r(t, z) = \frac{1}{2\pi R_1} \sum_{i=1}^N f_r^{(i)}(t)\delta(z - z_0^{(i)})$ ;  $F_z(t, z) = \frac{1}{2\pi R_1} \sum_{i=1}^N f_z^{(i)}(t)\delta(z - z_0^{(i)})$ ;  $N$  – общее число шариков в подшипнике.

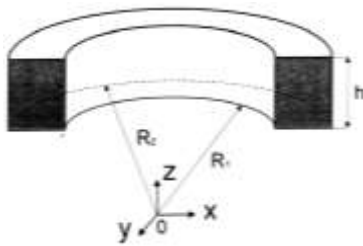


Рис. 1. Представление внешнего кольца подшипника полым цилиндром

Определение явного вида функций  $F_r$  и  $F_z$  – очень сложная задача. Она может быть решена тем или иным методом только приближенно. Если эта задача успешно решена, тогда упругие колебания внешнего кольца подшипника определяются из решения системы динамических уравнений классической теории упругости [2], в правые части которых входят компоненты плотности силы давления шариков  $F_r$  и  $F_z$ .

**2. Определение смещений из решения уравнений теории упругости.** Для полого цилиндра, изображенного на рис. 1, при нагрузках, описанных выше, система динамических уравнений классической теории упругости имеет вид

$$\rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\delta_{rr} - \delta_{\varphi\varphi}}{r} + \Phi_r(t, z, r); \tag{1}$$

$$\rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{zr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \sigma_{zr} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \Phi_z(t, z, r); \tag{2}$$

$$R_1 < r < R_2, \quad 0 < z < h, \quad 0 < t < \infty,$$

где  $\rho$  – плотность материала кольца;  $U_r$  и  $U_z$  – компоненты вектора упругих смещений точек кольца ( $\bar{U} = \bar{U}_r \bar{e}_r + \bar{U}_z \bar{e}_z$ );  $\Phi_z$  и  $\Phi_r$  – компоненты вектора объемной плотности внешней силы в кольце;  $\sigma_{rr}$ ,  $\sigma_{rz}$ ,  $\sigma_{zr}$ ,  $\sigma_{\varphi\varphi}$  и  $\sigma_{zz}$  – компоненты тензора напряжений, вычисляемые по формулам:

$$\sigma_{rr} = \gamma_1 \left[ -\alpha \{T(t, r, z) - \theta_0\} + \gamma_2 \frac{\partial U_r}{\partial r} + \gamma_3 \left( \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \right]; \tag{3}$$

$$\sigma_{zz} = \gamma_1 \left[ -\alpha \{T(t, r, z) - \theta_0\} + \gamma_2 \frac{\partial U_z}{\partial z} + \gamma_3 \left( \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_r}{\partial r} \right) \right]; \quad (4)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \gamma_1 \left[ -\alpha \{T(t, r, z) - \theta_0\} + \gamma_2 \frac{U_r}{r} + \gamma_3 \left( \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \right]; \quad (5)$$

$$\sigma_{zr} = \sigma_{rz} = \gamma_4 \left[ \frac{\partial U_r}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial r} \right]. \quad (6)$$

Функция  $T(t, r, z)$  описывает распределение температуры в кольце;  $\alpha$  – коэффициент термического расширения материала кольца;  $\theta_0$  – температура окружающей среды. Постоянные  $\gamma_i$  вычисляются по формулам:

$$\gamma_1 = \frac{E}{1-2\sigma}; \quad \gamma_2 = \frac{1-\sigma}{1+\sigma}; \quad \gamma_3 = \frac{\sigma}{1+\sigma}; \quad \gamma_4 = \frac{E}{1+2\sigma},$$

где  $E$  – модуль упругости;  $\sigma$  – коэффициент Пуассона.

Подставим (3)-(6) в (1)-(2), получим уравнения упругости в перемещениях:

$$\rho\gamma_7 \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial r} - \frac{U_r}{r^2} + \gamma_6 \frac{\partial^2 U_r}{\partial z^2} + \gamma_5 \frac{\partial^2 U_z}{\partial r \partial z} + \gamma_7 \Phi_r(t, z, r) - \gamma_8 \frac{\partial T}{\partial r}; \quad (7)$$

$$\rho\gamma_7 \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} + \gamma_6 \left( \frac{\partial^2 U_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) + \gamma_5 \left( \frac{\partial^2 U_r}{\partial r \partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) + \gamma_7 \Phi_z(t, z, r) - \gamma_8 \frac{\partial T}{\partial z}; \quad (8)$$

где  $\gamma_5 = \frac{1}{2(1-\sigma)}$ ;  $\gamma_6 = \frac{1-2\sigma}{2(1-\sigma)}$ ;  $\gamma_7 = \frac{(1+\sigma)(1-2\sigma)}{E(1-\sigma)}$ ;  $\gamma_8 = \alpha \frac{1+\sigma}{1-\sigma}$ .

Для периодической нагрузки из уравнений (1)-(2) можно получить усредненные по периоду колебаний и объему кольца уравнения равновесия. Для этого проинтегрируем (1)-(2) по объему цилиндра и по времени  $t$  в интервале  $0 < t < T_0$ , где  $T_0$  – период колебаний нагрузки. В результате получим уравнения:

$$\int_0^{T_0} \left\{ 2\pi R_2 \int_0^h \sigma_{rr}(R_2, z, t) dz - 2\pi R_1 \int_0^h \sigma_{rr}(R_1, z, t) dz + 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \sigma_{rz}(r, h, t) r dr - \right. \\ \left. - 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \sigma_{rz}(r, 0, t) r dr - 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \int_0^h \sigma_{\varphi\varphi}(r, z, t) dr dz \right\} dt + 2\pi \int_0^{T_0} \left\{ \int_0^h \int_{R_1}^{R_2} \Phi_r(r, z, t) dz r dr \right\} dt = 0; \quad (9)$$

$$\int_0^{T_0} \left\{ 2\pi R_2 \int_0^h \sigma_{zr}(R_2, z, t) dz - 2\pi R_1 \int_0^h \sigma_{zr}(R_1, z, t) dz + 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \sigma_{zz}(r, h, t) r dr - \right. \\ \left. - 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \sigma_{zz}(r, 0, t) r dr \right\} dt + 2\pi \int_0^{T_0} \left\{ \int_{R_1}^{R_2} \int_0^h \Phi_z(r, z, t) r dr dz \right\} dt = 0. \quad (10)$$

Из (9)-(10) следует, что при заданных напряжениях на границах кольца и величины радиальной компоненты объемной плотности внешней силы, из уравнения (9) можно определить среднюю по сечению кольца величину окружного напряжения  $\bar{\sigma}_{\varphi\varphi}$ , а из (10) – среднюю  $z$  – компоненту объемной силы  $\Phi_z$ . Следовательно, зависимость  $\Phi_z$  от координат  $r, z$  и времени  $t$  при заданных напряжениях на границах не может быть произвольной. В частном случае, когда  $\sigma_{zz}$  и  $\sigma_{rz}$  равны нулю на границах, функция  $\Phi_z$  должна зависеть от  $r, z, t$  таким образом, чтобы интеграл

$$\int_0^{T_0} \left\{ \int_{R_1}^{R_2} \int_0^h \Phi_z(r, z, t) r dr dz \right\} dt = 0.$$

Нарушение этого условия приведет к тому, что центр масс кольца будет перемещаться в направлении оси  $z$ , т.е. кольцо не будет находиться в динамическом равновесии. Последнее утверждение имеет важное значение для разработки корректной схемы расчета упругих колебаний кольца подшипника. Действительно, внешнее кольцо реального подшипника непрерывно подвергается очень сложным по времени воздействиям со стороны шариков, сепаратора, внешней обоймы. Тем не менее, центр масс кольца колеблется около точки равновесия, не перемещаясь в пространстве, т.е. для кольца реального подшипника, закрепленного тугой посадкой на валу, заведомо выполняется уравнение (10). Очевидно, что это происходит в результате сложного взаимодействия сил, возникающих со стороны всех вышеперечисленных элементов. Чтобы описать это взаимодействие, необходим детальный расчет динамики подшипника в целом, что практически невозможно.

Мы хотим определить колебания наружного кольца подшипника, не закрепленного в обойме, т.е. когда динамические внешние силы воздействуют только на внутреннюю поверхность кольца. Чтобы при этом не нарушить динамического равновесия кольца, представим функцию  $\Phi_z$  в виде

$$\Phi_z = F_z(z, t) \delta(r - R_1) + W_z,$$

где  $F_z$  –  $z$  компонента поверхностной плотности силы, возникающей в результате динамического давления шариков на внутреннюю поверхность кольца;  $\delta(r - R_1)$  – функция Дирака, переводящая поверхностную силу в объемную;  $W_z$  – постоянная, которая в среднем учитывает все остальные воздействия на внутреннюю поверхность кольца в подшипнике, и введение которой позволяет добиться выполнения равенства (10), т.е. обеспечить динамическое равновесие кольца подшипника. Ясно, что все вышеизложенное не касается компоненты плотности объемной силы  $\Phi_r$ . Так как в осесимметричной задаче произвол в задании радиальной компоненты внешней силы не может нарушить равновесия кольца, она может изменить только среднее значение окружного напряжения. Учитывая это, положим

$$\Phi_r = F_r(z, t) \delta(r - R_1),$$

где  $F_r$  – радиальная компонента плотности поверхностной силы, действующей на внутреннюю поверхность кольца при движении шариков.

Сделаем еще одно очевидное упрощение. При определении упругих колебаний точек кольца можно пренебречь его разогревом в процессе работы подшипника. Разогрев целесообразно учитывать, когда ставится задача расчета напряжений в элементах подшипника. Поэтому в дальнейшем мы не будем учитывать слагаемых, содержащих температурное поле кольца.

Таким образом, для определения упругих колебаний точек кольца необходимо решить систему уравнений

$$\rho \gamma_7 \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial r} - \frac{U_r}{r^2} + \gamma_6 \frac{\partial^2 U_r}{\partial z^2} + \gamma_5 \frac{\partial^2 U_z}{\partial r \partial z} + \gamma_7 F_r(z, t) \delta(r - R_1); \quad (11)$$

$$\rho \gamma_7 \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} + \gamma_6 \left( \frac{\partial^2 U_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) + \gamma_5 \left( \frac{\partial^2 U_r}{\partial r \partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial r} \right) + \gamma_7 F_r(z, t) \delta(r - R_1) + \gamma_7 W_z. \quad (12)$$

Известно [2], что пространственные задачи динамической теории упругости с конечными границами не поддаются точному аналитическому решению. Приближенное аналитическое решение уравнений (11)-(12) было получено в виде:

$$U_r \approx \sum_{m=0}^{\infty} [a_m^{(1)}(r, z) \cos v_m t + a_m^{(2)}(r, z) \sin v_m t] + U_r^{(0)}(r, z); \quad (13)$$

$$U_z \approx \sum_{m=0}^{\infty} [b_m^{(1)}(r, z) \cos v_m t + b_m^{(2)}(r, z) \sin v_m t] + U_z^{(0)}(r, z), \quad (14)$$

где  $v_m = 2\pi m/T_0$ ;  $T_0$  – средний период обращения шариков в подшипнике.

Ниже приведены результаты вычислений радиальных смещений точки внешней поверхности кольца подшипника с координатами  $z = h/2$  и  $z = R_2$ , при разных условиях нагружения. Расчет проводился по формуле (13). Схема вычислений функций  $a_m^{(1)}$ ,  $a_m^{(2)}$ ,  $b_m^{(1)}$ ,  $b_m^{(2)}$  очень сложна. Была разработана специальная компьютерная программа для их вычисления.

### 3. Примеры упругих колебаний

#### точек наружного кольца подшипника.

На рис. 2 приведено изменение радиальных смещений двух точек наружной поверхности кольца за время одного оборота шариков подшипника типа А206. Первая точка с координатами ( $z = h/2$ ,  $z = R_2$ ) находится в срединной плоскости подшипника, вторая – на краю ( $z = 0$ ,  $z = R_2$ ). Траектории движения шариков лежат в окрестности срединной плоскости, поэтому следует ожидать, что амплитуда колебаний первой точки должна быть больше, чем второй. Зависимости, приведенные на рис. 2, подтверждают этот вывод. На графиках отчетливо видно девять горбов, что соответствует общему числу шариков в подшипнике ( $N = 9$ ). Каждый шарик, попадая в зону нагружения подшипника, вызывает резкое увеличение смещений точек кольца.

Зависимости, представленные на рис. 2, соответствуют идеальному подшипнику, в котором все шарики абсолютно идентичны по воздействию на наружное кольцо подшипника.

В действительности, существует определенный разброс в параметрах шариков, приводящий к тому, что каждый шарик по-разному воздействует на наружное кольцо подшипника. На рис. 3 приведены смещения срединной точки внешнего кольца для случая, когда амплитуда силового давления шариков на поверхность колеблется в пределах 10% от шарика к шарика. Указанные колебания задавались с помощью генератора случайных чисел и соответственно этому были хаотичны. Мы видим, что идеальность картины рис. 2 сильно нарушается. Таким образом, по отклонению реальных зависимостей (подобных приведенным на рис. 3) от идеальных, можно судить о степени «одинаковости» тел качения в подшипнике.

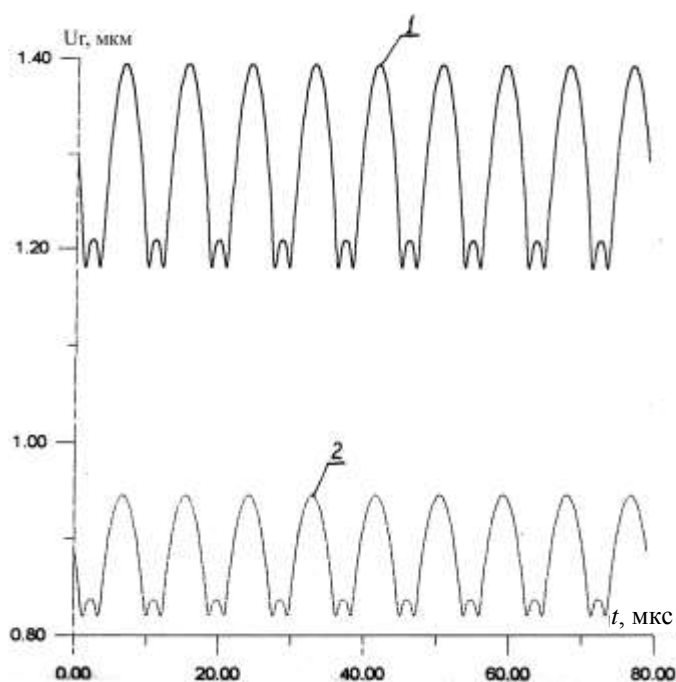


Рис. 2. Упругие колебания двух точек наружного кольца идеального подшипника:  
1 – срединная точка; 2 – крайняя точка



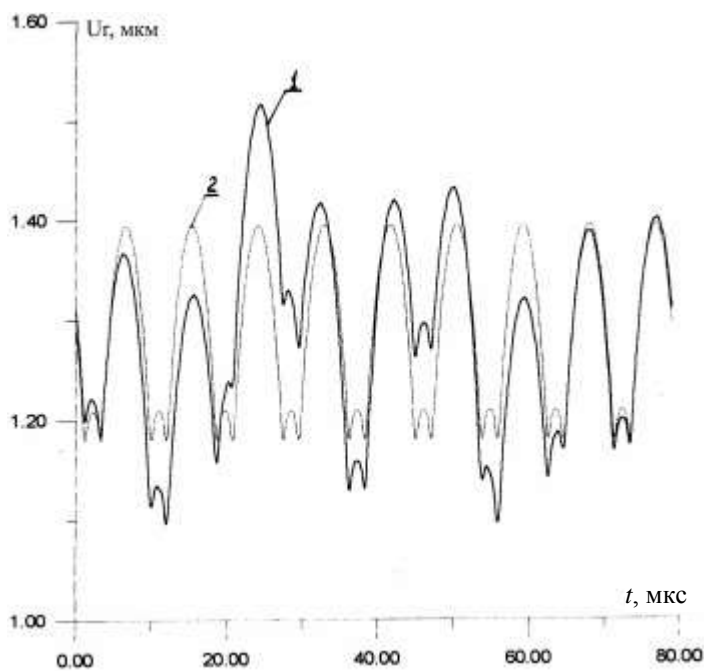


Рис. 3. Упругие колебания срединной точки наружного кольца подшипника:  
1 – случайные колебания амплитуды нагрузки от шарика к шарик; 2 – все шарики одинаковы

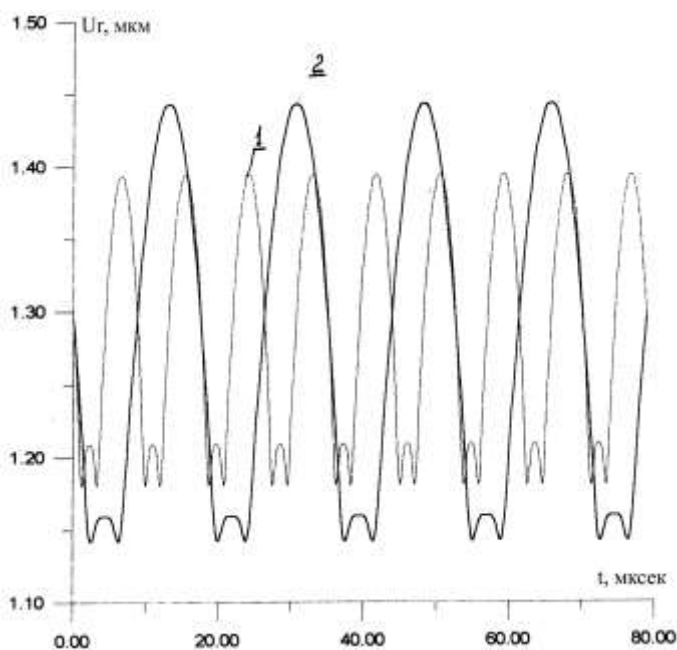


Рис. 4. Упругие колебания срединной точки наружного кольца для двух значений периода оборота шариков: 1 –  $T_0 = 0,07895$  с; 2 –  $T_0 = 0,1579$  с

Другой интересный пример упругих колебаний точек кольца – характер их зависимости от угловой скорости  $\omega$  движения шариков в подшипнике. Если принять, что в зоне нагружения подшипника амплитуда силового давления шариков в первом приближении не зависит от их скорости (в действительности это, конечно, не так), то получим картину колебаний, представленную на рис. 4. Две кривые колебаний соответствуют разным значениям угловой скорости вращения шариков:  $\omega_1 = 2\pi/T_1$  и  $\omega_2 = 2\pi/T_2$ , где  $T_1 = 0,07895$  с и  $T_2 = 0,1579$  с. Во втором случае смещения должны быть больше, так как шарики больше времени проводят в зоне нагружения, что и подтверждают зависимости, представленные на рис. 4.

Во всех вышеприведенных примерах угловой размер  $\Delta\varphi$  зоны нагружения кольца был выбран равным  $\pi/2$ . Максимальная величина динамического «давления»  $P_{\max}$  в этой зоне выбиралась из условия, чтобы упругие смещения были порядка 1 мкм. Получилось, что  $P_{\max} \approx 2000$  Н. Если оставить последнюю величину без изменения, а угловой размер зоны  $\Delta\varphi$  уменьшить в 50 раз, то получим характерные колебания срединной точки, представленные на рис. 5. Сравнивая кривые рис. 2 и 5, обнаруживаем характерные отличия в кривых колебаний. Вместо плавных куполов появляются резкие пики и, кроме этого, наблюдаются сложные колебания малой амплитуды, напоминающие колебания шумов. Что касается величины абсолютных смещений, то при малой зоне нагружения  $\Delta\varphi$  они уменьшились где-то в 2,5 раза. Причина очевидна. В этом случае каждый шарик проводит в зоне

нагружения гораздо меньше времени, чем в случае, когда  $\Delta\varphi \approx \pi/2$ .

Зависимость, представленная на рис. 5, имеет важное значение для анализа экспериментальных данных по измерению смещений СВЧ-ВП. Объясняется это тем, что базовые

эксперименты проводятся путем создания искусственных дефектов на кольцах и шариках подшипника путем нанесения тонких царапин (рисок) на их поверхности. Теоретически этот дефект может быть задан очень малым угловым размером зоны нагружения  $\Delta\varphi$  на внутренней поверхности кольца подшипника.

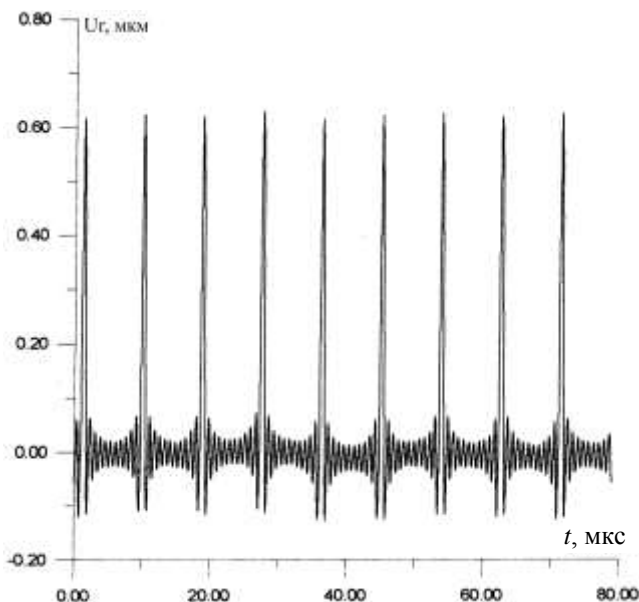


Рис. 5. Упругие колебания срединной точки наружного кольца для зоны нагружения  $\Delta\varphi = 0,01\pi$

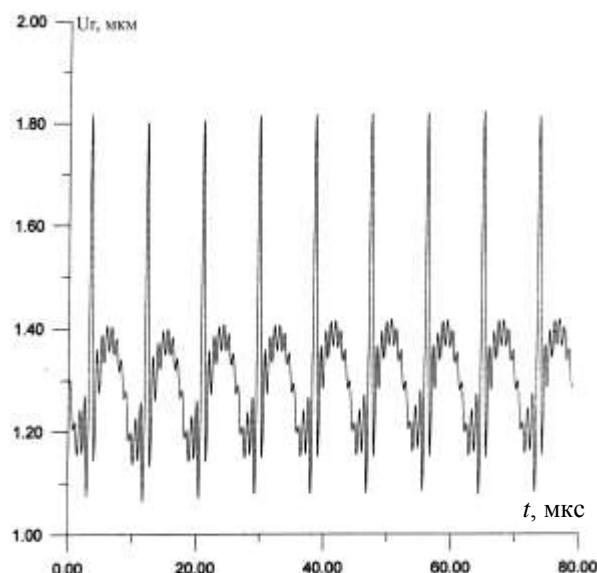


Рис. 6. Упругие колебания срединной точки наружного кольца с двумя зонами нагружения:  $\Delta\varphi_1 = \pi/2$ ;  $\Delta\varphi_2 = 0,01\pi$ . Одна зона примыкает к другой

Следует отметить, что экспериментальный подшипник, кроме искусственных рисок, может содержать достаточно большие по размеру зоны нагружения, образовавшиеся естественным путем (перекосы при сборке, отклонения элементов подшипника от идеальной геометрии и т.д.). В этих зонах величина  $P_{\max}$  может быть в несколько раз меньше, чем в области царапины. Однако эти слабонагруженные естественные зоны могут несколько исказить идеальные кривые рис. 5. Примеры такого искажения показаны на рис. 6 и 7, приведены колебания срединной точки наружного кольца с двумя зонами нагружения:  $\Delta\varphi_1 = 0,01\pi$  (царапина) и  $\Delta\varphi_2 = \pi/2$  (естественная зона).

На рис. 6 приведена зависимость для случая, когда царапина находится на краю естественной зоны; кривая рис. 7 – царапина смещена на угол  $\pi$  от края естественной зоны. В зоне царапины  $P_{\max} = 2000$  Н, в естественной зоне  $P_{\max} = 500$  Н. Из этих данных видно, что смещения, вызванные искусственным дефектом, по-прежнему четко выделяются на фоне естественных колебаний. Следовательно, искусственные дефекты можно использовать для определения расположения естественных зон нагружения в подшипнике.

Наличие дефекта на внутренней поверхности кольца размером порядка одного микрометра и попадание на него только одного шарика приводит колебания точки поверхности кольца к виду, представленному на рис. 8. В данном случае учитывался только радиальный импульс нагрузки. Внешняя нагрузка отсутствовала.

При прохождении через дефект всех шариков колебания точки кольца принимают вид (см. рис. 9), отличный от изображенного на рис. 8. Колебания точки кольца в увеличенном масштабе ( $40 \text{ мс} < t < 45 \text{ мс}$ ) приведены на рис. 10.

На рис. 11 представлен временной сигнал реального подшипника 206 с одним дефектом наружного кольца.

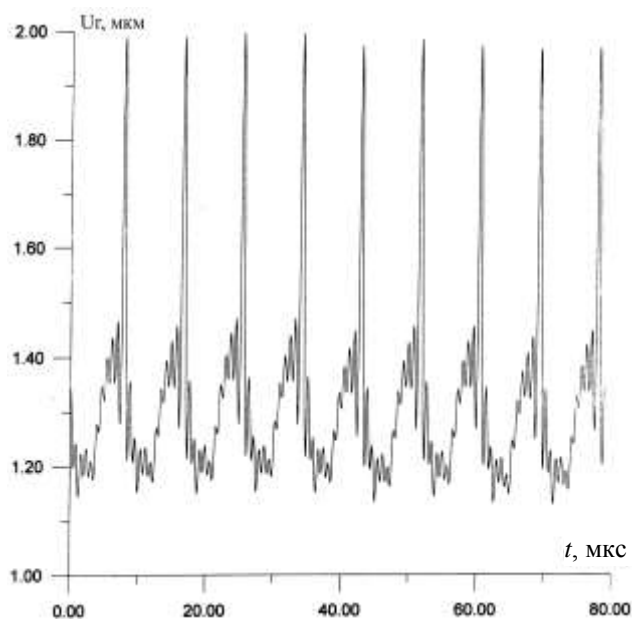


Рис. 7. Упругие колебания срединной точки наружного кольца с двумя зонами нагружения:  $\Delta\varphi_1 = \pi/2$ ;  $\Delta\varphi_2 = 0,01\pi$ . Зоны смещены относительно друг друга на угол  $\pi$

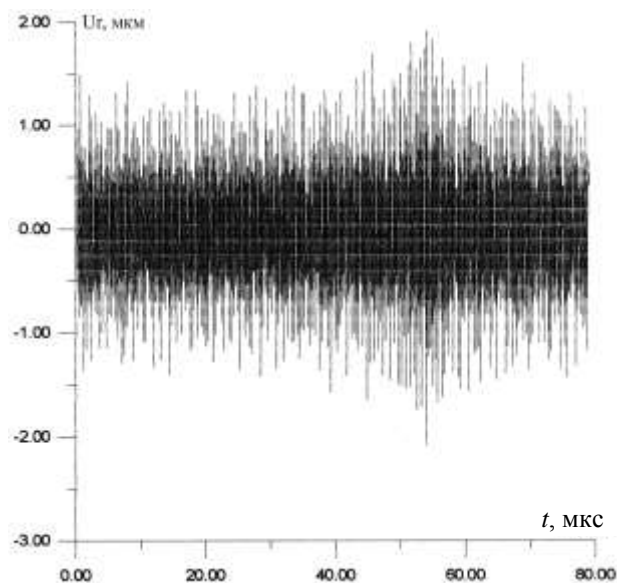


Рис. 8. Изменение колебаний точки кольца с координатами  $z = h/2$ ,  $r = R_2$

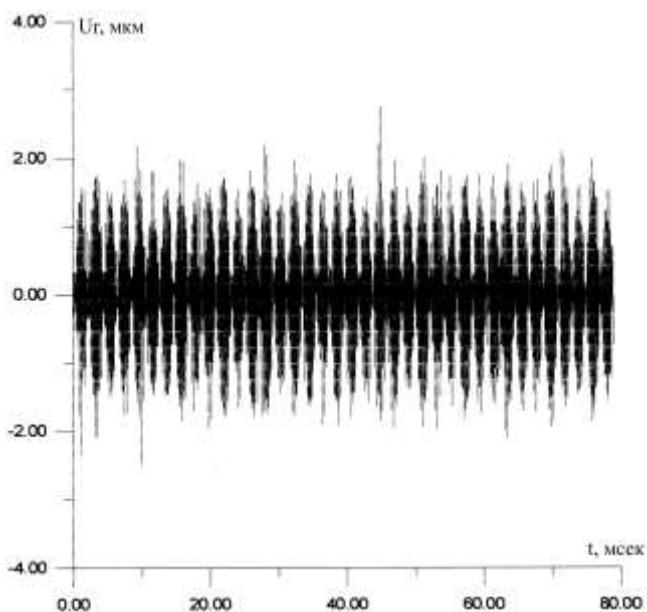


Рис. 9. Изменение колебаний точки поверхности наружного кольца

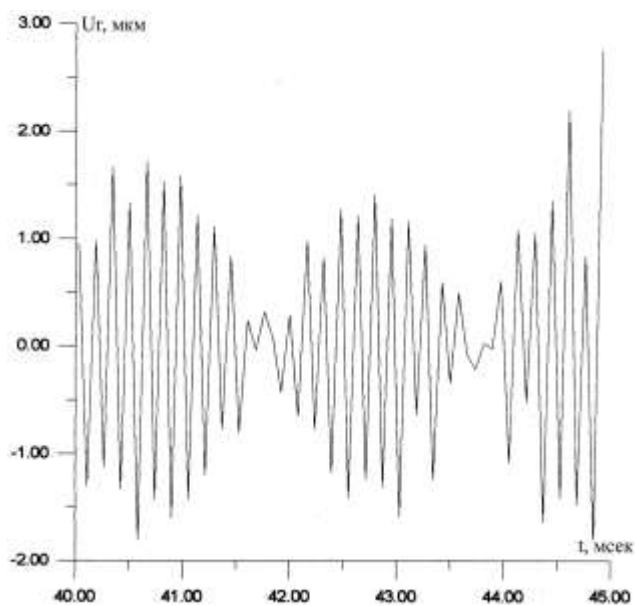


Рис. 10. Колебания точки кольца в увеличенном масштабе

Сопоставление временных сигналов, приведенных на рис. 10 и 11, демонстрирует высокую степень сходимости расчетной модели с экспериментальными данными.

**Заключение.** Подводя итоги теоретической части работы, можно сделать вывод, что созданная компьютерная программа по расчету упругих колебаний наружного кольца подшипника вполне работоспособна и ее можно применить к анализу результатов измерения

упругих смещений СВЧ-ВП при автоматизированном контроле дефектов механических систем.

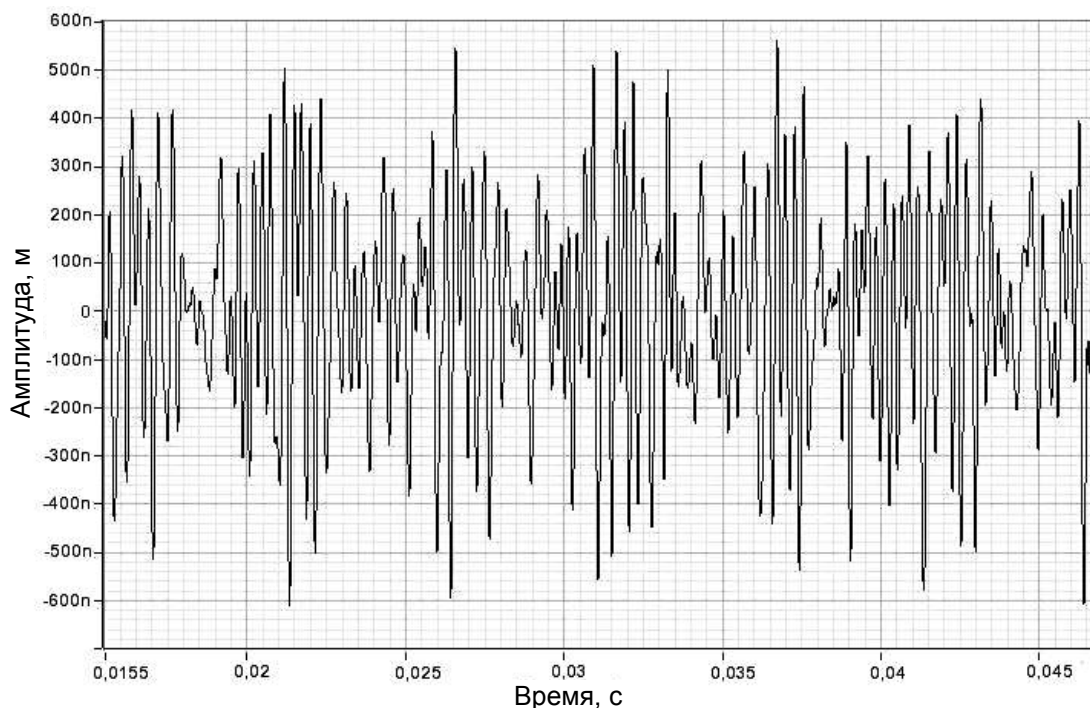


Рис. 11. Виброграмма наружной поверхности кольца в радиальном направлении

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин А.А. Радиоволновый бесконтактный вибропреобразователь перемещений / А.А. Никитин, В.А. Засорин // Тяжелое машиностроение. 2001. № 9. С. 5-6.
2. Амензаде Ю.А. Теория упругости / Ю.А. Амензаде. М.: Высшая школа, 1976. 272 с.

**Никитин Анатолий Александрович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Биомедицинская физика» Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Nikitin Anatoliy Aleksandrovich** – Candidate of Sciences in Physics & Mathematics, Assistant Professor of the Department of «Biomedical Physics» of Saratov State University in the name of N.G. Chernyshevskiy

**Цимбалов Геннадий Михайлович** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник СФ ИРЭ РАН

**Tsimbalov Gennadiy Mikhaylovich** – Candidate of Sciences in Physics & Mathematics, Senior Scientific Researcher of SF IRE of Russian Academy of Sciences

*Статья поступила в редакцию 19.10.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 621.9.015

**Ю.Н. Полянчиков, Д.В. Крайнев, П.А. Норченко, А.Р. Ингеманссон**

**УЛУЧШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

*Представлены результаты исследований шероховатости поверхности при обработке резанием нержавеющей стали с опережающим пластическим деформированием. Определена величина оптимального предварительного нагружения. Представлен характер изменения шероховатости.*

Разработка резанием, нержавеющая сталь, шероховатость поверхности.

**Yu.N. Polyanchikov, D.V. Kraynev, P.A. Norchenko, A.R. Ingemansson**

### **IMPROVEMENT OF THE ROUGHNESS PARAMETERS AT MACHINING BY CUTTING WITH ADVANCING PLASTIC DEFORMATION**

*This is a research of a surface roughness at machining by cutting of stainless steels with advancing plastic deformation. The paper determines the magnitude of an optimum preliminary loading and also presents the roughness changes character.*

Development by cutting, stainless steel, surface roughness.

Нержавеющую сталь используют во многих сферах деятельности человека, начиная от тяжелого машиностроения, заканчивая электроникой и точной механикой. Однако обработка резанием нержавеющей стали характеризуется повышенной упрочняемостью и малой теплопроводностью обрабатываемого материала, а значит, повышенной температурой в зоне резания, большей истирающей способностью, переменными силовыми и тепловыми нагрузками на рабочие поверхности инструмента. Эти факторы приводят к повышенному износу инструмента и весьма низкому качеству обработанной поверхности.

С точки зрения промышленного производства, решение этой проблемы требует высокоэффективного, но при этом технологически простого метода. Таким методом может выступить резание с опережающим пластическим деформированием (ОПД), которое совмещает в себе два процесса – предварительное поверхностное пластическое деформирование и собственно резание. При этом к моменту начала воздействия режущего инструмента на материал срезаемого слоя часть работы, затрачиваемой на пластические деформации в процессе стружкообразования при обычном резании, уже предварительно выполняется обкатным устройством. В процессе обработки с ОПД режущим инструментом совершается не вся работа, а только ее часть. Следовательно, снижается влияние неблагоприятных факторов процесса стружкообразования, уменьшаются нагрузки на режущий инструмент. В результате повышаются качество и производительность обработки [1, 2].

В данной статье рассматривается один из аспектов влияния ОПД на процесс резания, а именно на изменение шероховатости обработанной поверхности. Экспериментальные исследования проводились на модернизированном токарно-винторезном станке модели 1М63 с бесступенчатым регулированием скорости вращения шпинделя. В качестве заготовки использовался прокат стали 12Х18Н10Т, режущий инструмент был представлен следующими марками твердосплавных неплетачиваемых многогранных пластин: Т5К10, ВК6, ТТ7К12, ТН20. Измерение шероховатости производилось профилометром-профилографом АБРИС-ПМ7, подключенным к персональному компьютеру.

Исследования проводились на полустивых и чистовых режимах обработки в широком диапазоне скоростей резания. Необходимая глубина наклепа опережающего пластического деформирования, создаваемая накатным приспособлением, выбиралась относительно глубины резания. Потребное усилие деформирования рассчитывалось по известной формуле Хейфеца [3].

Анализ экспериментальных данных показал, что шероховатость после резания с ОПД меньше, чем после традиционного резания. При этом на шероховатость обработанной поверхности оказывает влияние величина наклепа, создаваемого ОПД (рис. 1).

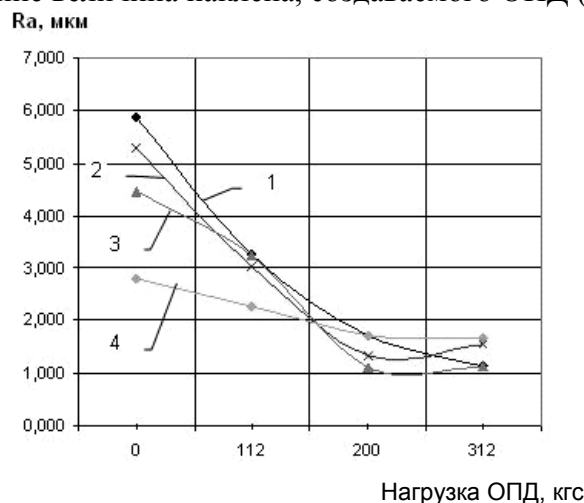


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности от усилия предварительного нагружения при обработке стали 12Х18Н10Т твердым сплавом ВК6 (глубина резания 1 мм, подача 0,128 мм/об):  
1 – скорость резания 90 м/мин; 2 – скорость резания 120 м/мин; 3 – скорость резания 150 м/мин;  
4 – скорость резания 180 м/мин

Оптимальное значение глубины наклепа можно определить по формуле:

$$h_{\text{накл.опт}} \approx 2t, \quad (1)$$

где  $h_{\text{накл.опт}}$  – оптимальное значение глубины наклепа;  $t$  – глубина резания.

Далее с увеличением глубины наклепанного слоя от  $2t$  темпы снижения шероховатости замедляются. Это позволяет сделать вывод, что глубина наклепа  $2t$ , создаваемого ОПД, является оптимальной с точки зрения поддержания баланса: наименьшая шероховатость – наименьшее необходимое и достаточное усилие опережающего деформирования.

Причиной уменьшения шероховатости может служить стабилизация процесса обработки при использовании ОПД. Как известно, зона контактного взаимодействия режущего инструмента, формирующей стружки и обработанной поверхности характеризуется протеканием процесса высокоскоростного пластического деформирования. Данный процесс описывается физическими величинами (степень, скорость и сопротивление деформации, температура и др.), непостоянными во времени. Например, обработка нержавеющей стали аустенитного класса, к коим относится и использовавшаяся в опытах сталь 12Х18Н10Т, сопровождается цикличностью стружкообразования, проявляющейся при традиционно используемых режимах. Нестабильность процесса резания негативно сказывается на выходных параметрах обработки, в том числе шероховатости поверхности. Снижение пластичности обрабатываемого материала после ОПД благоприятно изменяет условия контактного взаимодействия, что и приводит к получению меньшей шероховатости обработанной поверхности.

С ростом скорости резания влияние ОПД на шероховатость обработанной поверхности в некоторой степени уменьшается (рис. 1), что можно объяснить ростом температуры резания и возрастающим влиянием температурного разупрочнения, но, тем не менее, остается достаточно существенным. Так, в некоторых случаях применение метода позволяет не только значительно уменьшить шероховатость обработанной поверхности, но и сократить необходимое количество переходов для достижения необходимой величины. На сравнительной диаграмме шероховатости обработанной поверхности после традиционного резания и реза-

ния с ОПД (рис. 2) видно, что в некоторых случаях величина среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$  уменьшается до 8 раз.

Положительное воздействие ОПД на формирование микронеровностей также подтверждается профилограммами и опорными кривыми обработанных поверхностей (рис. 3).

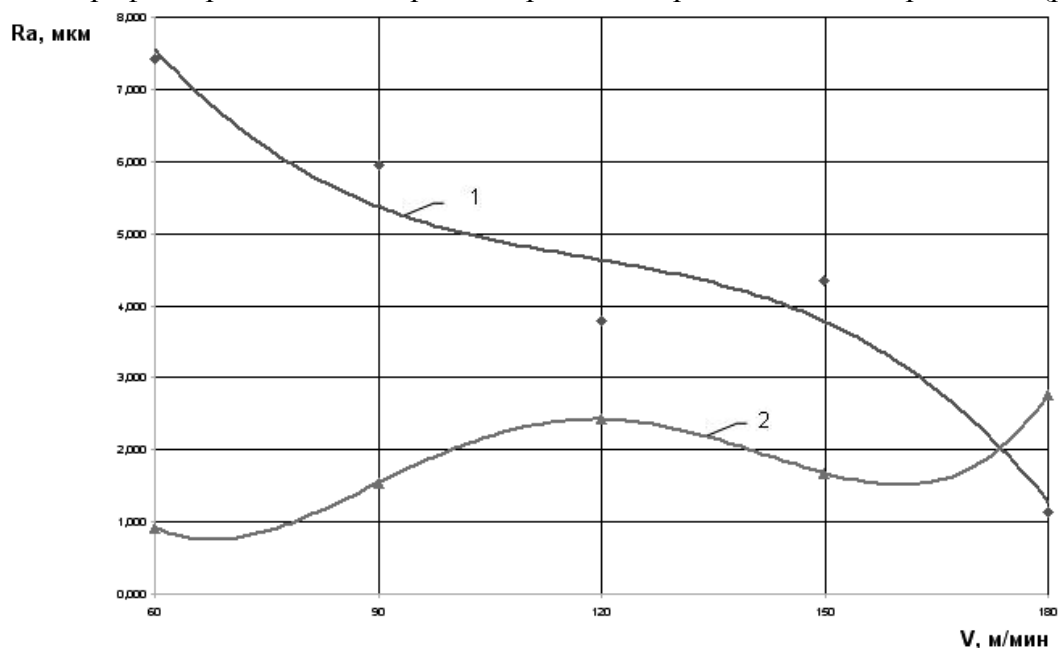


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от скорости резания при обработке стали 12Х18Н10Т твердым сплавом ТТ7К12 (глубина резания 1 мм, подача 0,128 мм/об):  
1 – без нагружения; 2 – после предварительного нагружения с усилием 200 кгс

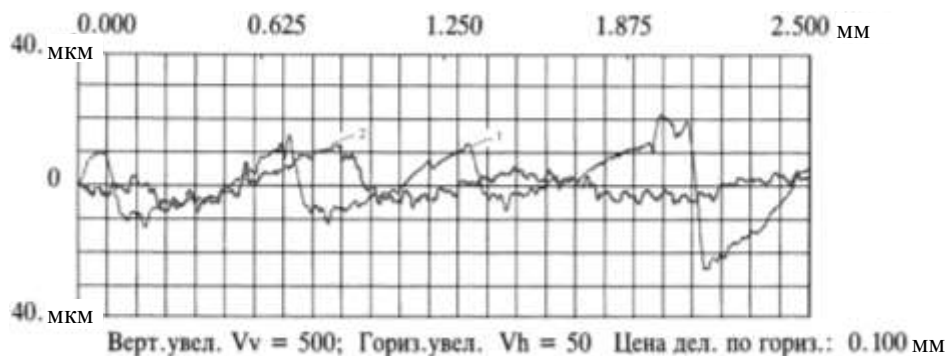


Рис. 3. Профиль поверхности после обработки стали 12Х18Н10Т твердым сплавом ТН20 (скорость резания 150 м/мин, глубина резания 1 мм, подача 0,128 мм/об):  
1 – без предварительного нагружения; 2 – после предварительного нагружения

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Применение данного способа обработки позволяет существенно снизить шероховатость обработанной поверхности и улучшить ее микропрофиль.
2. Зависимость шероховатости поверхности от усилия предварительного нагружения позволяет определить оптимальную величину нагрузки.
3. При увеличении скорости эффект от применения данного способа обработки несколько снижается, оставаясь, однако, весьма существенным.
4. В ряде случаев уменьшение шероховатости столь велико, что позволяет сократить число технологических переходов, тем самым повышается производительность обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние опережающего пластического деформирования на износ инструмента и качество поверхностного слоя при обработке аустенитных сталей / Ю.Н. Полянчиков // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». 2008. № 9. Вып. 4. С. 35-37.

2. Подураев В.Н. Способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием / В.Н. Подураев, В.М. Ярославцев, Н.А. Ярославцева // Вестник машиностроения. 1971. № 4. С. 64-65.

3. Дрозд М.С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М.С. Дрозд, М.М. Матлин, Ю.И. Сидякин. М.: Машиностроение, 1986. 260 с.

**Полянчиков Юрий Николаевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
«Технология машиностроения»  
Волгоградского государственного  
технического университета

**Polyanchikov Yuriy Nikolayevich** –  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department  
of «Technology of Machine Building»  
of Volgograd State Technical University

**Крайнев Дмитрий Вадимович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Технология машиностроения»  
Волгоградского государственного  
технического университета

**Kraynev Dmitriy Vadimovich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor of the Department  
of «Technology of Machine Building»  
of Volgograd State Technical University

**Норченко Павел Анатольевич** –  
аспирант кафедры «Технология машиностроения»  
Волгоградского государственного  
технического университета

**Norchenko Pavel Anatolyevich** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Technology of Machine Building»  
of Volgograd State Technical University

**Ингеманссон Александр Рональдович** –  
аспирант кафедры «Технология машиностроения»  
Волгоградского государственного  
технического университета

**Ingemansson Aleksandr Ronaldovich** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Technology of Machine Building»  
of Volgograd State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.11.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 631.3.004

**М.А. Савельев, Д.В. Рыжко, Д.Ю. Козлов**

**МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ОСЦИЛЛОГРАММ  
ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА ПЕРЕД ФОРСУНКОЙ  
ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

*Дана методика получения и обработки осциллограмм давления топлива перед форсункой при экспериментальных исследованиях, с помощью которой*



*можно вычислить параметры впрыскивания, по которым производится оценка технического состояния и эффективности топливной аппаратуры.*

Осциллограмма, параметры впрыскивания, техническое состояние топливной аппаратуры.

**M.A. Savelyev, D.V. Ryzhko, D.Yu. Kozlov**

## **APPLICATION AND PROCESSING METHOD OF FUEL PRESSURE OSCILLOGRAMS BEFORE BURNER AT EXPERIMENTAL RESEARCHES**

*The method of application and processing of fuel supply pressure oscillograms in front of the nozzle atomizer during experimental studies is given in this article. Using this method injection characteristic may be calculated. By means of injection characteristic technical state estimation and efficiency of fuel equipment are carried out.*

Oscillogram, injection characteristic, technical state of fuel equipment.

Осциллографирование давления топлива в нагнетательной магистрали дизеля чаще всего проводится либо для оценки характеристики впрыскивания, формируемой при работе какой-либо комплектации топливной аппаратуры, либо для получения данных о параметрах впрыскивания, необходимых для диагностирования состояния топливного насоса высокого давления (ТНВД) или форсунок. Для приобретения дополнительных сведений о скоростных и нагрузочных характеристиках топливоподачи рекомендуется использовать стенды для испытания и регулирования топливной аппаратуры дизельных двигателей, например, марки КИ-921 МТ [1, 2].

Перед началом испытаний необходимо:

- провести проверку работоспособности измерительной аппаратуры стенда и тарировать применяемые датчики давления в соответствии с прилагаемыми к ним инструкциями;
- обеспечить соответствие топливного насоса высокого давления техническим условиям, уделив особое внимание проверке плунжерных пар на гидроплотность и выполнению необходимых регулировок момента начала подачи и максимальной цикловой подачи [3];
- проверить форсунки на герметичность распылителя, качество распыла и давление начала впрыскивания [4];
- произвести на базе стенда проверки и регулировки форсунок при помощи разработанного приспособления (рис. 1) регулировку усилия предварительной затяжки пружин нагнетательных клапанов.



Рис. 1. Стенд проверки и регулировки форсунок, оборудованный приспособлением для регулировки усилия предварительной затяжки пружины нагнетательного клапана

При проведении экспериментов нагрузку необходимо определять по выходу рейки ТНВД. Для точного измерения выхода рейки ТНВД разработано специальное устройство (рис. 2) на основе индикаторного микрометра часового типа с ценой деления 0,01 мм, которое позволяет произвести измерения нагрузки с точностью до 1%.

При осциллографировании процесса топливоподачи хорошо зарекомендовала себя автоматизированная система регистрации, смонтированная на основе компьютера IBM с процессором Pentium-III (рис. 3) и установленным модулем аналого-цифрового преобразователя (АЦП) модели L-761 ЗАО «L-CARD», к которому через модуль предусилителя подключен датчик давления. Назначение модуля предусилителя – согласование электрических характеристик датчиков с электрическими характеристиками линии передачи и входа модуля АЦП.



Рис. 2. Установка на ТНВД устройства для определения выхода рейки

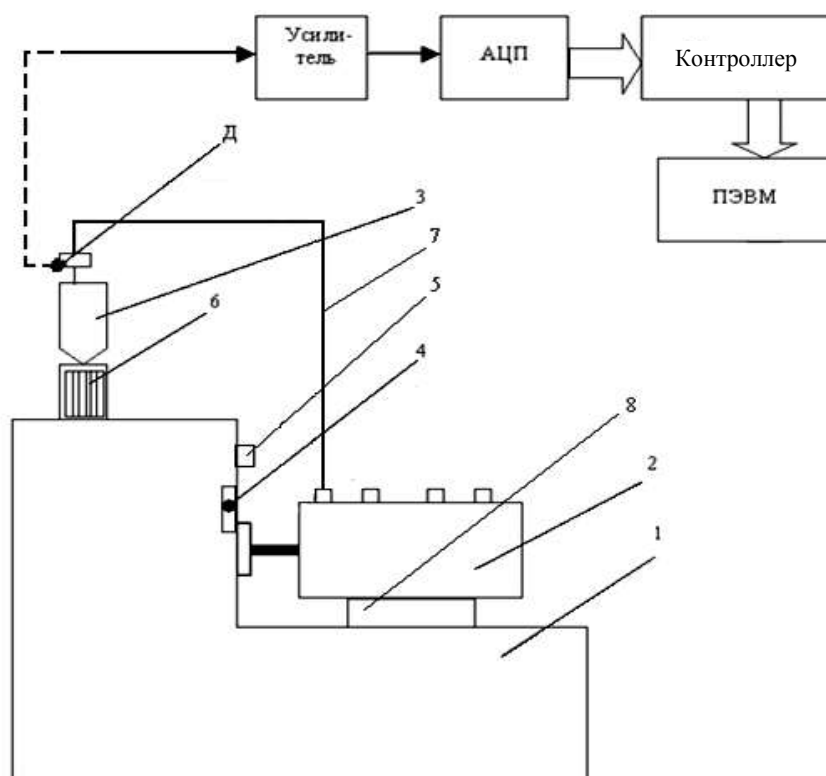


Рис. 3. Схема автоматизированного измерительного комплекса:  
 1 – стенд для проверки и испытания ТНВД; 2 – ТНВД; 3 – форсунка; 4 – электронный тахометр;  
 5 – счетчик циклов; 6 – мерные мензурки; 7 – нагнетательный трубопровод; 8 – станина;  
 Д – датчик давления у штуцера форсунки

Для обработки и вывода информации в виде графических зависимостей ЭВМ оснащена соответствующим программным обеспечением ЗАО «L-CARD». Вывод может осуществляться как в динамике процесса на дисплей ЭВМ с сохранением данных замеров, так и без сохранения.

В качестве преобразователей давления чаще всего используют пьезоэлектрические датчики давления с диапазоном измеряемых давлений не менее 100 МПа и собственной частотой не менее 150 кГц, которые устанавливают в исследуемом сечении нагнетательной магистрали при помощи переходника. При этом необходимо помнить, что переходник и датчик должны создавать минимум дополнительных гидравлических сопротивлений и, вместе с тем, минимально приращать объем линии высокого давления.

Работа комплекса происходит следующим образом. Топливная аппаратура выводится на исследуемый режим, т.е. устанавливаются стабильные показания необходимой частоты вращения и нагрузки, выбирается точечный или временной интервал записи данных, после чего производится запись. Модуль АЦП преобразует дискретные значения аналоговых сигналов, поступающих через усилитель от датчиков давления в цифровые. Запись одновременно может быть произведена по нескольким каналам (от 1 до 16), однако при увеличении числа используемых каналов частота регистрации АЦП уменьшается в количество раз, кратное их количеству. Количество получаемых значений давления за процесс впрыскивания при максимальной частоте регистрации АЦП и использовании одного канала колеблется в интервале от 100 до 200 точек в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов ТНВД. В связи с этим максимальное рекомендуемое количество используемых каналов при осциллографировании процесса топливоподачи – 8. Полученные значения поступают в накопитель

ЭВМ, где происходит их обработка и вывод на дисплей. Вид полученных осциллограмм приведен на рис. 4.

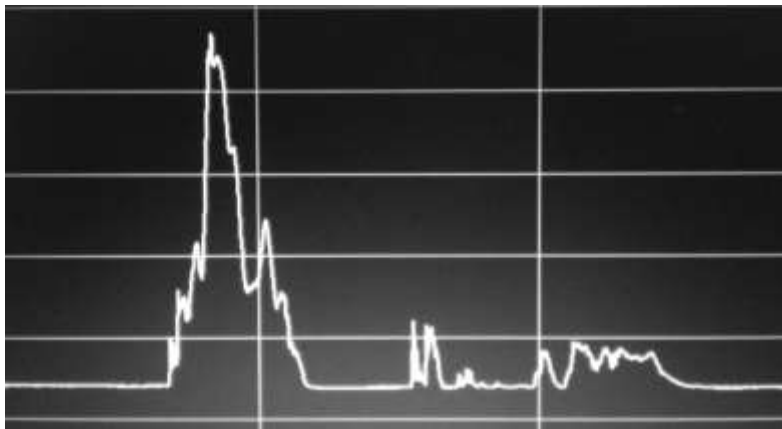


Рис. 4. Осциллограмма процесса топливоподачи

Программное обеспечение ЗАО «L-CARD» имеет ряд дополнительных возможностей: сложение и вычитание значений двух любых получаемых сигналов, установка частоты получаемого сигнала и частоты оцифровки АЦП, подключение и отключение отдельных каналов и изменение уровня их сигналов, получение спектрального анализа и гистограммы, синхронизация каналов, калибровка и другие.

После получения данных для каждого режима работы и каждой комплектации топливной аппаратуры они кодируются и записываются в формате DATA. Кодировка может иметь вид 1-25-600-2, где 1 – номер секции ТНВД, 25 – нагрузка в процентах, определяемая по выходу рейки ТНВД, 600 – частота вращения вала ТНВД в  $\text{мин}^{-1}$ , 2 – номер комплектации топливной аппаратуры. Важно для каждого файла с данными выделить отдельную папку с такой же кодировкой, в которую будут записываться в последующем все промежуточные и конечные результаты обработки.

Обработка данных производится в следующей последовательности:

1. Файлы с данными в формате DATA импортируются в программу LGraf-2 при помощи меню «Файл» и «Импорт». При этом программа автоматически запрашивает ввести число использованных каналов ( $z = 1-16$ ), частоту ( $125000/z$  Гц) и диапазон АЦП (обычно до 10 В).

2. В открытом файле устанавливаются настройки отображаемого окна: масштаб времени, цена деления шкалы, вид выводимого графика, количество окон на экране, коэффициент децимации и другие.

3. Осциллограмма разбивается на блоки – конечные участки, соответствующие каждому такту топливоподачи, при этом в рабочей тетради для каждого блока записывается время начала топливоподачи и время конца затухания активных колебаний волн давления.

4. Всего для получения усредненной осциллограммы давления бывает достаточно 3-5 подобранных случайным образом блоков.

5. При помощи меню «Экспорт» выбранные блоки экспортируются в текстовом формате в папку с соответствующей кодировкой. Для этого в окне «Формат вывода» ставится «Вольты», в окне «Разделитель между колонками» – «Пробел», ставится флажок в окне «Добавить столбец времени» и снимается в окне «Выводить все», после чего устанавливается записанное время начала и конца блока.

6. Полученные текстовые файлы поочередно импортируются в создаваемый с соответствующей кодировкой файл Excel при помощи меню «Данные» и «Из текста», при этом импорт следует производить со строки, начала числовых рядов, выбирается формат данных фиксированной ширины и ставится разделитель столбцов с числовыми данными.

7. После импорта блоков они приводятся в числовой формат при помощи замены всех точек на запятые, для чего используются «Главное» меню и меню «Найти и выделить».

8. Для получения усредненной осциллограммы необходимо найти среднее арифметическое между всеми параллельными точками блоков, при этом важно, чтобы после завершения импорта блоков они были выровнены по моменту начала топливоподачи и имели единую временную шкалу [5].

9. После получения усредненной осциллограммы она калибруется.

Усредненная осциллограмма строится также в программе Excel в виде точечной диаграммы с прямыми отрезками. С ее помощью можно вычислить параметры впрыскивания: максимальное и среднее давления, время и угол впрыскивания, скорость нарастания и падения давления, наличие явлений подвпрыскивания и интенсивность волновых явлений в нагнетательной магистрали. По параметрам впрыскивания, в свою очередь, производится оценка технического состояния и эффективности топливной аппаратуры [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дизельная топливная аппаратура: оптимизация процесса впрыска, долговечность деталей и пар трения / В.Е. Горбаневский, В.Г. Кислов, Р.М. Баширов, В.А. Марков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. 138 с.

2. Астахов И.В. Энергетическая характеристика, критерии оценки и выбора параметров рабочего процесса топливной системы дизеля / И.В. Астахов // Двигателестроение. 1988. № 3. С. 14-17.

3. ГОСТ 10578-95. Насосы топливные дизелей. Общие технические условия. Введ. 1997.07.01. М.: Изд-во стандартов, 1995.

4. ГОСТ 10579-88. Форсунки дизельные. Общие технические условия. Введ. 1990.01.01. М.: Изд-во стандартов, 1988.

5. Веденяпин В.В. Общая методика оценки экспериментального исследования и обработки опытных данных / В.В. Веденяпин. М.: Наука, 1967. 159 с.

6. Марков В.А. Характеристики топливоподачи транспортных дизелей/ В.А. Марков, В.Г. Кислов, В.А. Хватов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 197. 160 с.

**Савельев Максим Анатольевич** – кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Двигатели» Рязанского военного автомобильного института, майор

**Рыжко Дмитрий Владимирович** – заместитель начальника отдела эксплуатации и безопасности дорожного движения 147-й автомобильной базы Министерства обороны Российской Федерации, подполковник

**Козлов Дмитрий Юрьевич** – адъюнкт кафедры «Двигатели» Рязанского военного автомобильного института, подполковник

**Savelyev Maksim Anatolyevich** – Candidate of the Technical Sciences, Lecturer of the Department of «Engines» of Ryazan Military Automobile Institute, Major

**Ryzhko Dmitriy Vladimirovich** – Deputy Director of the Maintenance and Road Safety Department of the 147-th Automobile Base of the Ministry of Defense of RF, Lieutenant Colonel

**Kozlov Dmitriy Yuryevich** – an Adjunct of the Department of «Engines» of Ryazan Military Automobile Institute, Lieutenant Colonel

УДК 658.58:519.711.3

**Б.К. Сивяков, С.С. Трюбер**

### **ДИАГНОСТИКА МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ**

*Предложена методика диагностики многоцилиндровых двигателей внутреннего сгорания, основанная на моделировании неравномерности частоты вращения коленчатого вала и последующей идентификации параметров модели на основе измеренных данных. Способ позволяет учесть особенности многоцилиндровых двигателей, в частности наложение крутящих моментов соседних по порядку срабатывания цилиндров.*

Диагностика, многоцилиндровый двигатель, неравномерность частоты вращения, коленчатый вал, моделирование, идентификация.

**B.K. Sivyakov, S.S. Tryuber**

### **MULTICYLINDER ENGINE DIAGNOSTICS METHODS BASED ON ROTATIONAL SPEED NON-UNIFORMITY SIMULATION**

*The principal of the multicylinder engine diagnostics methods based on engine's rotational speed non-uniformity simulation and following parameters identification, is described in this article. Method allows considering features of multicylinder engines, specifically rotational moment overlapping of adjoining cylinders.*

Diagnostic, multicylinder engine, rotational speed non-uniformity, crankshaft, simulation, identification.

Среди методов диагностики двигателей внутреннего сгорания существует направление, в котором работоспособность цилиндропоршневой группы оценивается по неравномерности частоты вращения коленчатого вала.

Частота вращения измеряется с помощью индукционного датчика, отмечающего моменты прохождения зубьев модулятора, обычно имеющего от 60 до 180 зубьев, и жёстко связанного с коленчатым или распределительным валом. Каждый зуб дает две точки данных (передняя и задняя кромки). Результатом измерений является массив данных длительностью один цикл (выборка), что для четырёхтактных двигателей составляет два оборота. В большинстве случаев, датчики входят в состав электронной системы управления, поэтому какого-либо изменения конструкции двигателя не требуется. Чтобы синхронизировать выборку с распределительным валом, запись начинается после поступления сигнала датчика фазы, основанного на эффекте Холла и установленного на распределительном валу.

Тем не менее, в подобных методиках наиболее наглядные и однозначные результаты получаются лишь при исследовании малоцилиндровых двигателей (рис. 1). Неравномерность частоты вращения многоцилиндровых двигателей составляет приблизительно 0,7% для шестнадцатилитрового дизеля (16ЧН26/26) против 4% шестицилиндрового двигателя (К6S310DR)

и 6% четырехцилиндрового двигателя (1ПД4). Из-за низкой неравномерности полезный сигнал теряется среди погрешностей измерения, в основном систематических, связанных с неравномерностью расположения зубьев на модуляторе. Это накладывает необходимость предварительной процедуры устранения систематических погрешностей, описанных в [1].

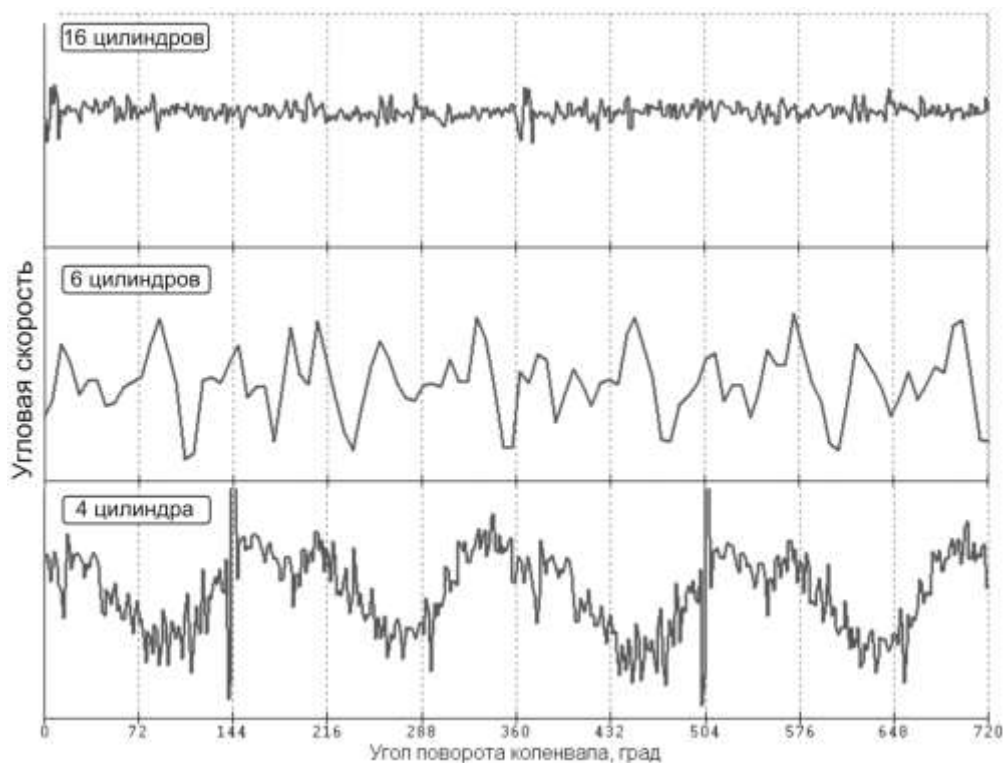


Рис. 1. Выборки, сделанные на двигателях (16ЧН26/26, К 6S 310 DR, 1 ПД4) с разным количеством цилиндров

Сложность в интерпретации данных оказывает наложение крутящих моментов соседних по последовательности срабатывания цилиндров. При нагруженном двигателе основное воздействие на коленчатый вал цилиндр осуществляет всего в течение примерно  $150^\circ$  угла поворота коленчатого вала. Поэтому на малоцилиндровых двигателях достаточно разделить выборку на части, проанализировать их по отдельности и сделать выводы о работоспособности каждого цилиндра. При использовании аналогичного подхода для многоцилиндровых двигателей, изменение мощности на одном из цилиндров влечёт искажение информации о соседних.

Предлагается способ решения данной проблемы, основанный на моделировании неравномерности частоты вращения коленчатого вала. Для этого необходимо построить достаточно общую для разных типов двигателей модель, не требующую сложных вычислительных затрат. В процессе диагностики для каждой измеренной выборки осуществляется параметрическая идентификация модели, далее, по вновь найденным параметрам, делаются выводы об исправности двигателя.

Построение модели начнём с давления в камере сгорания, которое представим как сумму давлений от компрессии и собственно сгорания горючей смеси

$$P = P_C + P_T. \quad (1)$$

Давление компрессии зависит от большого числа конструктивных параметров двигателя, но для упрощения принято пропорциональным текущей степени сжатия:

$$P_C = \begin{cases} 0, & \text{если } \varphi < -145^\circ \text{ или } \varphi > 145^\circ, \\ P_a \cdot (\varepsilon_x(\varphi) - 1), & \end{cases} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_x(\varphi) = \frac{\varepsilon}{1 + 0,5 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot f(\varphi)}$ ,  $f(\varphi) = 1 + \frac{1}{4} \cdot \lambda - \cos(\varphi) - \frac{1}{4} \cdot \lambda \cdot \cos(2\varphi)$ ,  $\lambda = \frac{r}{l}$ ;  $P_a$  – атмосферное давление;  $\varepsilon$  – действительная степень сжатия двигателя;  $r$  – радиус кривошипа;  $l$  – длина шатуна;  $\varphi$  – угол поворота коленчатого вала относительно ВМТ данного цилиндра.

Условие, при котором функция принимает нулевое значение, соответствует открытым впускным или выпускным клапанам.

Основным для диагностики фактором является избыточное давление, обусловленное сгоранием горючей смеси. В классической теории моделирования процессов в камере сгорания уже известны методики моделирования подобных процессов, однако все они исходят из того, что двигатель находится в исправном состоянии, а угол опережения впрыска (или зажигания) подобран оптимальным образом [2], либо слишком сложны и используются для конструирования двигателей [5]. Для задач диагностики подобный подход неприемлем, а одним из параметров при моделировании давления должен являться угол опережения впрыска (зажигания). Поэтому предлагается функция, описывающая процесс сгорания и позволяющая упрощённо описать процесс сгорания для разных типов двигателей, а также неисправные состояния:

$$P_r = \begin{cases} \frac{p}{\delta} \cdot e^{-\frac{\psi^2}{0,09}}, & \text{если } \psi < 0, \\ \frac{p}{\delta} \cdot e^{-\frac{\psi^2}{(\delta/2)^2}}, & \text{если } \psi \geq 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $p$  – коэффициент, характеризующий мощность сгорания;  $\psi = \varphi + \alpha - \theta$ , углы задаются в радианах;  $\alpha$  – угол опережения впрыска (зажигания);  $\theta$  – задержка от начала горения до точки максимального давления;  $\delta$  – коэффициент, описывающий длительность горения.

Используя формулу (3), возможно моделирование мощности, длительности сгорания, а также угла опережения впрыска (зажигания) относительно верхней мертвой точки (ВМТ) цилиндра (рис. 2).

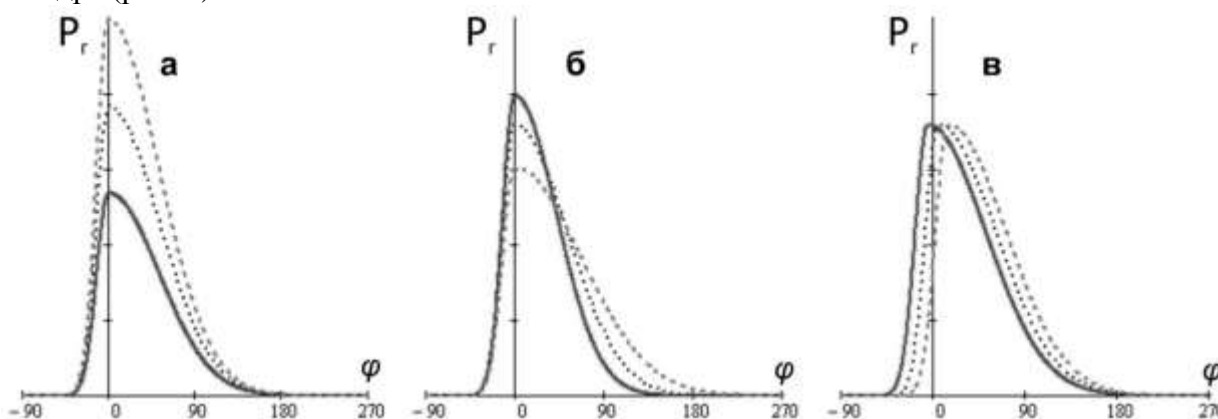


Рис. 2. Моделирование сгорания горючей смеси: а – изменение мощности сгорания; б – изменение длительности сгорания; в – смещение момента начала сгорания



На рис. 3 отображена диаграмма суммы давлений компрессии и сгорания.

Помимо давления газов, изменение момента инерции возвратно-поступательно движущихся масс также прикладывает к коленчатому валу некоторые усилия, которые следует брать во внимание. Более всего они проявляются при работе двигателя на высоких оборотах, либо при низкой нагрузке. Для одного цилиндра эффект приближённо описывается функцией (4) [2]. Полная диаграмма отображена на рис. 4.

$$F_J = -m_n \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \left( \cos(\varphi) + \frac{r}{l} \cdot \cos(2\varphi) \right), \quad (4)$$

где  $m_n$  – масса поступательно движущихся частей (приведенных к оси поршневого пальца);  $r$  – радиус кривошипа;  $l$  – длина шатуна;  $\omega$  – текущая частота вращения, рад/с.



Рис. 3. Диаграмма сил давления газов

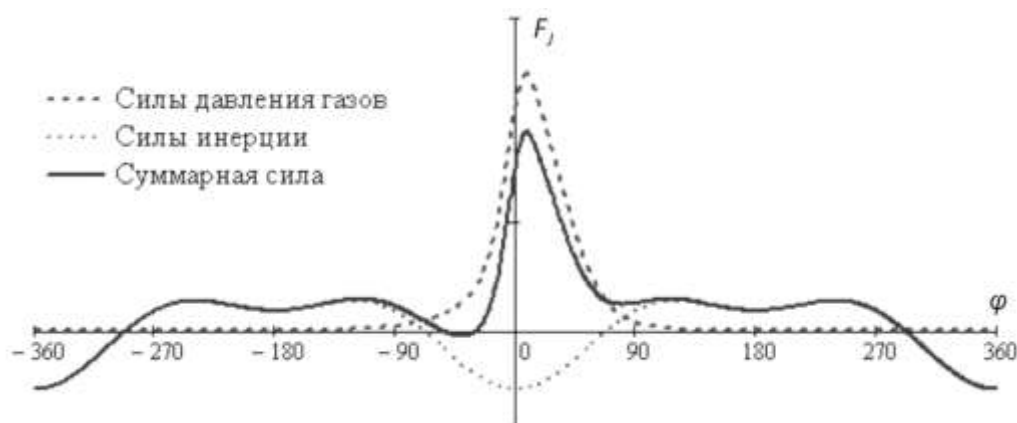


Рис. 4. Диаграмма сил давления газов, инерции и суммарных

Приводя силы, прикладываемые к поршню в направлении его движения, к крутящему моменту на валу двигателя, получаем:

$$M_{KP} = (P \cdot S + F_J) \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\beta)} \cdot l, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь поршня,  $\beta = \arcsin\left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi)\right)$ .

Общий крутящий момент от всех цилиндров находится как сумма моментов отдельных цилиндров, смещенных относительно друг друга на углы срабатывания.

Таким образом построена структурно-определенная модель. Часть её параметров ( $r, l, \varepsilon, S$ ) берётся из паспортных данных двигателя. Приведенная масса возвратно-поступательно движущихся частей ( $m_n$ ) может быть вычислена [2], либо подобрана экспериментально под конкретную модель двигателя. Остальные параметры могут быть заданы жёстко, или подобраны в результате идентификации. Это: коэффициент, описывающий мощность сгорания, индивидуальный для каждого цилиндра ( $p_i$ ), угол опережения впрыска (зажигания) ( $\alpha$ ), задержка от начала горения до точки максимального давления ( $\theta$ ), длительность горения ( $\delta$ ).

Крутящий момент на валу двигателя ( $M_{KP}$ ) пропорционален угловому ускорению коленчатого вала (нагрузка двигателя считается постоянной в течение цикла), которое вычисляется дифференцированием выборки угловой скорости. В процессе нахождения оптимальных параметров ставится задача поиска такой модели, которая даёт максимально похожий на измеренную выборку крутящий момент:

$$J = \int_0^{720} \left( M_{KP}(\varphi) - M_{KP.СРЕДН} - \frac{d\omega}{d\varphi} \right)^2 d\varphi \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $M_{KP.СРЕДН}$  – постоянная составляющая сформированного моделью решения;  $\omega$  – измеренная угловая скорость двигателя, рад/с.

Вычитание постоянной составляющей  $M_{KP.СРЕДН}$  обусловлено тем, что дифференцирование выборки частоты вращения приводит к центрированию относительно нуля, а смоделированный крутящий момент включает некоторую положительную постоянную составляющую (механическая работа двигателя).

В связи с существованием на плоскости решений множества локальных минимумов необходимо на начальном этапе использовать генетический алгоритм, чтобы локализовать оптимальную область. Пространством объектов являются всевозможные комбинации параметров ( $p_i, \alpha, \theta, \delta$ ) из физически допустимого диапазона. Популяцию составляют 10 объектов. После каждого поколения особь с наилучшими жизненными показателями не изменяется, две следующие по качеству показатели пары скрещиваются, остальные 5 особей с наименьшими показателями генерируются заново. Процесс поиска решения останавливается через 100 поколений. Далее для уточнения результата использовался метод наискорейшего спуска.

На рис. 5 показан пример параметрической идентификации построенной модели для шестицилиндрового двигателя, а на рис. 6 – для шестнадцатицилиндрового.

Модель достаточно точно описывает крутящий момент от срабатывания цилиндров, и возможно её использование в целях контроля и диагностики. Однако остаются некоторые расхождения из-за того, что модель основана на некоторых общих, эмпирических суждениях и охватывает сразу множество двигателей внутреннего сгорания. Идентификация модели сопряжена с достаточно большими вычислительными затратами, что затрудняет использование представленного алгоритма в недорогих микроконтроллерах.

В процессе работы двигателя система диагностики периодически ищет описанные параметры модели, которые в дальнейшем могут как выводиться на дисплей оператора, так и обрабатываться автоматически. В последнем случае, если какой-либо из них выходит за допустимые границы, то выдаётся сигнал тревоги. Также возможен анализ деградации параметров в течение длительной эксплуатации двигателя, однако при этом диагностику необходимо производить на идентичных режимах работы двигателя.

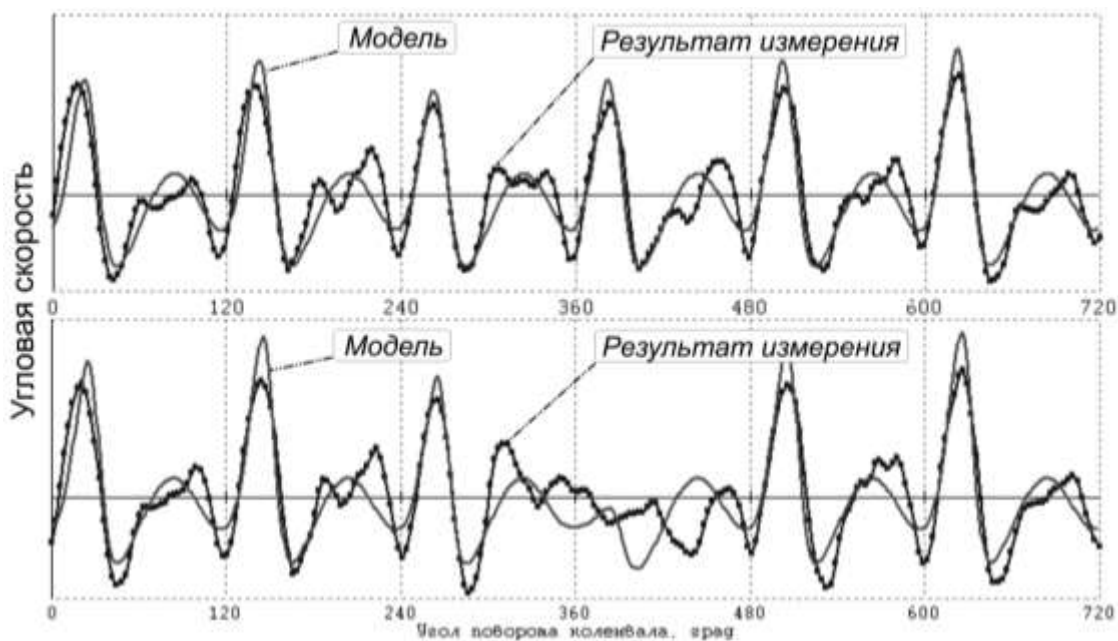


Рис. 5. Результаты диагностического моделирования для шестицилиндрового двигателя 1-ПД4 (750 об/мин, 75%-ная нагрузка). Снизу – один цилиндр отключен

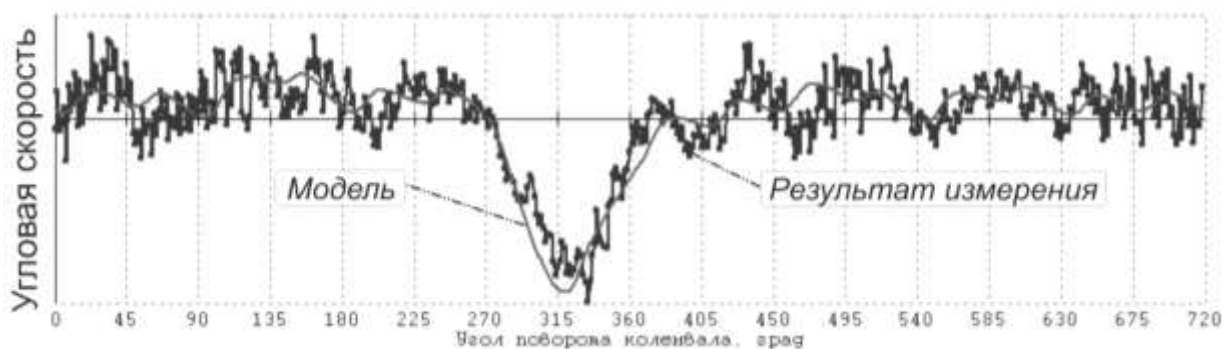


Рис. 6. Результат диагностического моделирования для шестнадцатицилиндрового двигателя 16ЧН26/26 (650 об/мин, 50%-ная нагрузка, один цилиндр отключен)

Система диагностики, основанная на предложенной модели, позволит автономно, без участия оператора, следить за работоспособностью двигателя, на ранних стадиях выявлять неисправность цилиндропоршневой группы и проводить упреждающий ремонт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трюбер С.С. Диагностика мощных дизельных двигателей по неравномерности частоты вращения / С.С. Трюбер // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 4. С. 64-71.
2. Григорьев В.А. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма двигателя: учеб. пособие / В.А. Григорьев. Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2004. 105 с.
3. Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов / В.В. Клементьев, М.В. Фарафонов, Б.А. Шароглазов. Челябинск: ЮУрГУ, 2004. 344 с.

4. Научные основы контроля и диагностирования тепловозных дизелей по параметрам рабочих процессов / А.С. Левченко, В.П. Мохонько, Д.Я. Носырев, Е.М. Тарасов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2001. 174 с.

5. Гоц А.Н. Научные основы расчета и ускоренных испытаний деталей кривошипно-шатунного механизма тракторных дизелей на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук / А.Н. Гоц. Владимир, 2004. 175 с.

**Сивяков Борис Константинович** – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета

**Sivyakov Boris Konstantinovich** – Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Electrical Engineering and Electronics» of Saratov State Technical University

**Трюбер Сергей Сергеевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета

**Tryuber Sergey Sergeevich** – Post-graduate Student of the Department of «Electrical Engineering and Electronics» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 09.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*

---

## **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

---

УДК 621.793.7; 616-089.843; 616.31

**А.В. Лясникова, А.В. Лепилин, В.Н. Лясников,  
Д.А. Смирнов, О.С. Мостовая**

### **КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТИМИКРОБНЫХ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ**

*Одной из главных причин несостоятельности имплантированных внутрикостных конструкций в дентальной имплантологии является микробная инвазия в периимплантатную область. Предлагается нанесение на поверхность внутрикостного имплантата антимикробных биокomпозиционных покрытий на основе серебра, что позволит сократить сроки реабилитации пациентов и повысить эффективность имплантации в целом.*

Дентальный имплантат, немедленная имплантация, антимикробные свойства, серебросодержащий гидроксипатит, электроплазменное напыление, ультразвук.

**A.V. Lyasnikova, A.V. Lepilin, V.N. Lyasnikov,  
D.A. Smirnov, O.S. Mostovaya**

### **COMPLEX RESEARCHES OF PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOMEDICAL PROPERTIES BIOCOMPOSITE ANTIMICROBIAL COATING ON DENTAL IMPLANTS**

*One of the main problem in dental implantology is a rejection implants after microbial invasion to near implant zone. The authors offer spray biocomposite antimicrobial coating with silver on dental implants, which would shorten the period of rehabilitation patients and improve the efficiency of implantation in general.*

Dental implants, immediate implants, antimicrobial properties, silver-hydroxyapatite, plazma spraying, ultrasound.

Современная стоматология все чаще использует метод дентальной имплантации для восстановления отсутствующих зубов. Главным условием длительного функционирования имплантата является выраженность эффекта остеоинтеграции, т.е. непосредственного контакта челюстной кости с поверхностью имплантата [1]. Одним из необходимых критериев при установке имплантатов является полноценная костная ткань, которая формируется в течение 6-9 месяцев по-

сле удаления зуба в альвеоле челюсти. За это время возможно появление деформаций зубных рядов. Также имеется риск убыли кости, связанной с отсутствием функциональной нагрузки [2]. В последнее время перспективной считается установка имплантатов как можно раньше после удаления зуба (например, через 6 недель) или же непосредственно в альвеолу челюсти [3]. Известно, что удаленные зубы часто являются очагом хронической инфекции и в области установленного непосредственно в лунку имплантата может возникнуть воспаление, которое приведет к нарушению процессов остеоинтеграции и образованию мягкотканого фиброзного слоя вокруг имплантированной конструкции, появлению подвижности и отторжению в последующем (Barzilai, 1993, Heitz-Mayfield, 2004, Kesting, 2008).

Необходимо, наряду с назначением профилактического курса антибиотиков, применение противомикробных препаратов непосредственно в зоне контакта имплантат – костная ткань. Перспективным считается использование препаратов серебра, введенных в поверхностный слой имплантата [4].

Механизм бактерицидного действия ионов серебра объясняет множество теорий. Наиболее популярна адсорбционная теория: микробная клетка гибнет при взаимодействии электростатических сил, которые возникают между отрицательно заряженными бактериальными клетками и имеющими положительный заряд ионами серебра, причем последние адсорбируются микробной клеткой [5, 6].

Ряд исследователей указывают на значительное влияние физико-химических процессов, катализатором которых является серебро. Речь идет об окислении кислородом протоплазмы бактерий. Вораз и Тоферн (1957) объясняли олигодинамический эффект серебра блокировкой ферментов, содержащих SH- и COOH-группы, а К. Тонли, Н. Вилсон – нарушением осмотического равновесия микробной клетки [7].

Имеются данные, что ионы серебра способны увеличивать количество свободных радикалов внутри бактериальной клетки, которые снижают концентрацию внутриклеточных активных соединений кислорода. Противомикробная активность серебра также является следствием ингибирования серебром трансмембранного транспорта  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  [8].

В связи с вышеизложенным, представляется весьма актуальной разработка технологии нанесения антибактериальных биокомпозиционных покрытий на поверхность дентальных имплантатов с последующим комплексным исследованием их свойств *in vitro* и *in vivo* с целью установления бактерицидной активности, безвредности для живых организмов и остеоинтеграционного потенциала.

Наиболее целесообразным методом создания таких покрытий, по нашему мнению, является внедрение серебра в пористую структуру исходных частиц порошка гидроксиапатита перед их напылением. Для оценки возможности реализации данного метода проведены теоретические исследования процесса насыщения гидроксиапатита серебром и плазменного напыления такого материала [9].

С помощью метода ртутной порометрии были выявлены параметры пористой структуры порошка гидроксиапатита (ГА), получаемого на кафедре «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» СГТУ «мокрым» гидроаммиачным способом. Установлено, что его частицы характеризуются преимущественно нанопористой структурой: суммарный объем пор размерами 10-100 нм составляет около 26%, объем пор меньшего размера доходит до 74%, поры размером 1 мкм (1000 нм) и более практически отсутствуют. Суммарный объем пор ( $V_{\Sigma}$ ) составляет 0,4 см<sup>3</sup>/г, удельная поверхность ( $S$ ) – 52 м<sup>2</sup>/г. Это позволяет сделать вывод, что порошок ГА является хорошим адсорбентом. Насыщение ГА проводилось путем погружения порошка в водный раствор нитрата серебра, который являлся адсорбатом.

Насыщение пор серебросодержащим компонентом происходило вследствие того, что после извлечения порошка из раствора (адсорбтива) часть раствора остается в объеме пор.

Для получения серебросодержащего гидроксиапатита (СГА) использовали 0,02%-ный раствор  $\text{AgNO}_3$  и порошок гидроксиапатита, которые перемешивали и выдерживали при

комнатной температуре 48 часов. Далее осадок фильтровали при помощи воронки Бюхнера, промывали горячей водой, высушивали при температуре 200°C в течение 6 часов и отжигали при температуре 600°C в течение 2 часов (С.М. Баринов, В.С. Комлев, 2005).

Порошок СГА исследовался при помощи лазерного микроспектрального анализа на установке «СПЕКТР-2000». Результаты исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования состава порошка СГА

Элемент	Основные				Примеси			
	Ca	P	Ag	Cu	Al	Mo	Si	Mg
Содержание, %	48	24	28	0,007	0,003	0,003	0,004	0,010

Напыление покрытий осуществлялось при разных режимах на титановые образцы размеров 10×10×2 мм. Далее полученные покрытия были проанализированы при помощи компьютеризированного комплекса АГПМ-6М. Исследовались морфология покрытий, пористость и связанные с ними характеристики. В результате были отобраны образцы с покрытиями, обладающие оптимальной для взаимодействия с костной тканью структурой (рис. 1).

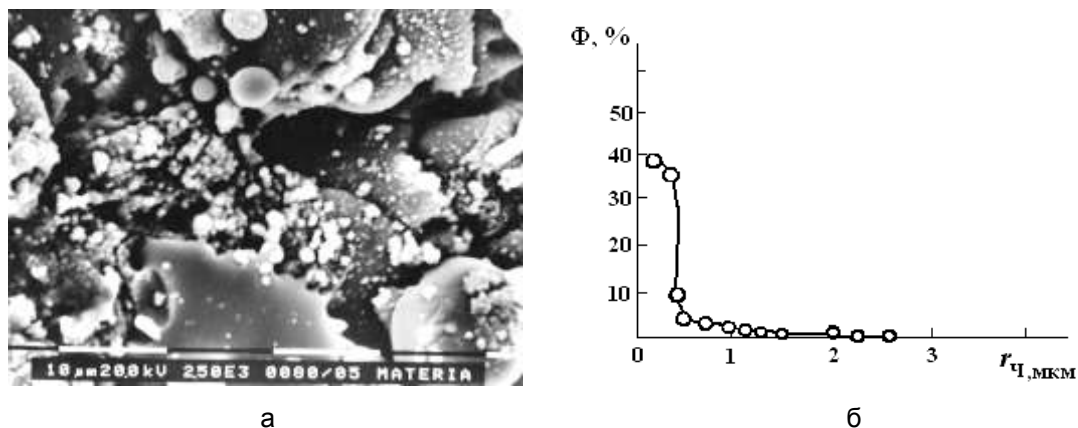


Рис. 1. Наиболее оптимальная для взаимодействия с костной тканью структура СГА покрытия (а) (×2500) и результаты ее статистической обработки (б)

В табл. 2 приведены результаты обработки двух микрофотографий антимикробных покрытий, нанесенных на разных дистанциях напыления. Видно, что покрытие, напыленное на дистанции 80 мм, является значительно более рельефным (количество элементов в поле зрения больше почти в 3,7 раза). В то же время это покрытие и более однородное по морфологии, т.к. дисперсия размеров его элементов меньше почти на 30%, чем при напылении на дистанции 120 мм. Остальные параметры покрытий практически сходны, поскольку средний размер наиболее часто встречающихся частиц составляет в обоих случаях 2,9 мкм.

Далее проводилось исследование отобранных образцов методом лазерного микроспектрального анализа. Наличие серебра в плазмонапыленном Ti/GA-покрытии фиксировалось по линии 3280,6 Å в спектрах лазерного микроанализа. Результаты количественного анализа покрытий, полученных при разных дистанциях напыления, показаны в табл. 3.

С учетом анализа результатов исследований разработана технология нанесения антимикробных покрытий на дентальные имплантаты, особенностями которой являются использование при подготовке поверхности перед напылением ультразвуковой воздушно-абразивной обработки на режимах, исключаящих размерную эрозию (избыточное давление 0,65 МПа, амплитуда УЗ 8-10 мкм, время обработки 30-40 с), и введение дополнительной

операции УЗ химического травления этой поверхности с целью получения равномерного рельефа при увеличенной шероховатости в растворе 2М HNO<sub>3</sub> + 1М HF в течение 5 минут с интенсивностью УЗ 9,6 Вт/см<sup>2</sup>. Дополнительно при напылении титана подложке сообщаются ультразвуковые колебания малой амплитуды (5-6 мкм), способствующие более полному (до 90%) заполнению лунок микрорельефа и увеличению вследствие этого адгезии. При напылении СГА амплитуду УЗК увеличивают до 12-15 мкм. Рекомендуемые режимы плазменного напыления серебросодержащих гидроксиапатитовых покрытий приведены в табл. 4.

Таблица 2

Влияние метода и технологических режимов напыления на параметры морфологии поверхности покрытия серебросодержащего ГА ( $\Delta = 90$  мкм,  $l = 450$  А), ( $\times 200$ )

Режимы напыления		Параметры морфологии покрытия						
L, мм	P <sub>г</sub> , л/мин	количество элементов в поле зрения	средний размер, мкм	дисперсия размеров, мкм <sup>2</sup>	минимальный размер элемента, мкм	содержание элемента минимального размера, %	наиболее часто встречающийся размер, мкм	содержание наиболее часто встречающегося размера, %
120	70	702	9,56	32,14	1,54	5,85	2,9	40,98
80	70	2653	8,51	25,37	1,54	3,9	2,9	36,34

Таблица 3

Количественный анализ серебросодержащего плазмонапыленного Ti/ГА-покрытия

Режим напыления	Содержание, %			
	Ca	P	Ti	Ag
L=80 мм	72	14	0,8	13,132
L=120 мм	73	13	0,7	13,133

Таблица 4

Режимы плазменного напыления титан-СГА покрытий

Технологический параметр	Единицы измерения	Значение	
		при напылении титана	при напылении СГА
Ток плазменной дуги	А	350	540
Дистанция напыления	мм	100-105	80
Дисперсность порошка	мкм	60-100	40-70
Время напыления	мин	0,35	0,13

Для обеспечения равномерного микрорельефа антимикробных покрытий рекомендуются следующие режимы их финишной размерной обработки в ультразвуковом поле: амплитуда ультразвуковых колебаний излучателя 15...20 мкм при резонансной частоте 22 кГц; частота вращения образцов 10...20 об/мин, скорость их возвратно-поступательного перемещения относительно излучателя – 30...40 мм/мин. Образцы помещаются в дистиллированную воду на расстоянии 5...10 мм от торца излучателя. Время обработки должно быть не менее 20 с, т.к. в противном случае результат обработки будет практически не виден. Для получения однородного микрорельефа на поверхности целесообразно сузить зону воздействия ультразвука. Для осуществления данного процесса нами создана специальная установка с системой фокусировки ультразвукового поля. В этом случае для обеспечения обрабатываемости всей поверхности изделия необходимы его согласованное вращение и возвратно-



поступательное движение. С целью снижения массогабаритных характеристик ультразвуковой преобразователь выполнен на пьезокерамических элементах ЦТС-19 размерами 52×22×8 мм. Питание преобразователя может осуществляться от тиристорного генератора УГТ-901 или УГТ-902 мощностью соответственно 250 и 150 Вт. Рабочая частота преобразователя – 22 кГц (меньшие частоты нецелесообразны вследствие высокой шумности, а генераторы, работающие на частотах 44 кГц и более, имеют меньший КПД). Требуемая производительность обеспечивается многоместной обработкой.

Для проведения исследований *in vitro* были изготовлены образцы в виде пластин (1×5×5 мм) из титана ВТ1-00. Все образцы были разделены на пять групп: с плазмонапыленным гидроксипатитовым покрытием, нанесенным по традиционной технологии (1) [10], с плазмонапыленным СГА покрытием, нанесенным по новой технологии без воздействия УЗ-колебаний (0,02%, без УЗ) (2), с плазмонапыленным СГА покрытием, нанесенным по новой технологии с воздействием УЗ-колебаний (0,02%, с УЗ) (3), с плазмонапыленным СГА покрытием, нанесенным по новой технологии без воздействия УЗ-колебаний (0,04%, без УЗ) (4), с плазмонапыленным СГА покрытием, нанесенным по новой технологии с воздействием УЗ-колебаний (0,04%, с УЗ) (5). Каждый образец был отдельно упакован, пронумерован и подвергнут стерилизации в автоклаве Euronda E9 (132°C, 2,2 атм., 20 минут).

Оценка влияния антимикробного покрытия на микрофлору зоны потенциальной имплантации (лунки удаленного зуба) проведена совместно сотрудниками Саратовского государственного аграрного университета к.в.н., доцентом А.В. Красниковым и к.б.н., ст. преподавателем Е.С. Красниковой.

Материалом для исследования послужила микрофлора, полученная из лунки удаленного зуба по поводу хронического периодонтита, потенциально воздействующая на операционную рану непосредственно после установки инфраструктуры. Таким образом, мы хотели определить влияние антимикробного покрытия на микроорганизмы, полученные из зоны потенциальной имплантации.

Были проведены посеvy микрофлоры из 50 лунок удаленных зубов. Необходимым условием было отсутствие острого воспаления.

Методы оценки влияния биокомпозиционного антимикробного покрытия были следующими:

- 1) метод «дисков»;
- 2) метод регистрации показаний роста микроорганизмов на спектрофотометре.

При методе «дисков» исследуемую суточную бульонную культуру в объеме 0,2 мл засеяли сплошным газоном на мясо-пептонный агар (МПА). На МПА помещали титановые пластины таким образом, чтобы покрытие имело непосредственный контакт с флорой (покрытием на агар), инкубировали в термостате при температуре 37°C аэробы, регистрировали зону сдерживания роста по периметру пластины через 24 часа.

Для метода регистрации показаний спектрофотометра была приготовлена миллиардная взвесь суточной культуры микроорганизмов в стерильном физиологическом растворе. По 0,2 мл взвеси было внесено в пробирку с 5 мл стерильного бульона с концентрацией  $4 \times 10^7$  м.г./мл. В каждую пробирку были добавлены пластины с различными видами покрытия, то есть нами был получен ряд из 5 различных видов контактирующего покрытия. Шестая пробирка была оставлена без пластины и являлась контрольной.

Сразу после начала контакта пластины с взвесью микроорганизмов и через каждый час на протяжении 5 часов производили забор 0,2 мл раствора из каждой пробирки в стерильную полистироловую плашку и измеряли показания спектрофотометра. В результате нами были получены цифровые значения роста микрофлоры в присутствии различных покрытий и без него.

При оценке зоны сдерживания роста методом «дисков» нами были получены следующие данные (табл. 5, рис. 2):

Таблица 5

Диаметр зоны сдерживания роста микроорганизмов

Покрытие	Зона (диаметр) через 24 часа, мм
1	0
2	$8,1 \pm 2,2$
3	$10,3 \pm 1,8$
4	$15,9 \pm 2,4$
5	$17,0 \pm 2,6$

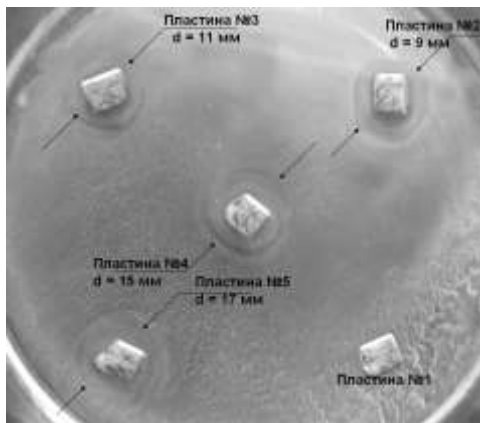


Рис. 2. Зоны сдерживания роста микроорганизмов по периметру пластин с антимикробным покрытием с различным содержанием серебра

Данные, определенные на спектрофотометре, регистрировались в шестичасовом временном промежутке – начало опыта, через один час, через два, три, четыре и пять часов. Начиная с шестого часа, отмечали резкое (до 60%) возрастание числовых показателей спектрофотометра, что связывали с увеличением количества и повышенной адсорбцией микроорганизмов на поверхности пластины. Этот факт считали невозможным *in vivo*, так как в организме присутствуют явления фагоцитоза и происходит очищение операционной раны. Моделирование подобной ситуации *in vitro* не представляется возможным.

Средние значения, полученные при регистрации роста микроорганизмов спектрофотометром, представлены в табл. 6 и на рис. 3.

При оценке результатов были получены следующие данные: взаимодействие микрофлоры и поверхностей с различным содержанием серебра приводит к ингибированию роста микроорганизмов, что наглядно представлено в опыте, проведенном методом «дисков», и при определении показаний спектрофотометра. Также отметили существование зависимости угнетения роста микроорганизмов во времени по отношению к количеству введенного в пластину серебра. Если при воздействии покрытия № 1 произошло увеличение показателей спектрофотометра через 5 часов в среднем на 37,6%, то при контакте покрытия № 5 с микроорганизмами – на 18,07%.

Таким образом, считаем перспективным использовать антимикробное покрытие с целью местного (непосредственно в операционной ране) воздействия на микрофлору, в том числе и при операциях немедленной дентальной имплантации.

Таблица 6

Значения показаний спектрофотометра при воздействии антибактериального покрытия с различным содержанием серебра на микрофлору зоны потенциальной имплантации

Время	Пл. № 1	Пл. № 2	Пл. № 3	Пл. № 4	Пл. № 5
0	0,803	0,795	0,789	0,798	0,791
1	0,836	0,826	0,819	0,811	0,802
2	0,908	0,901	0,885	0,864	0,834
3	0,983	0,935	0,913	0,898	0,873
4	1,097	1,057	1,041	0,934	0,902
5	1,105	1,098	1,084	1,055	0,934

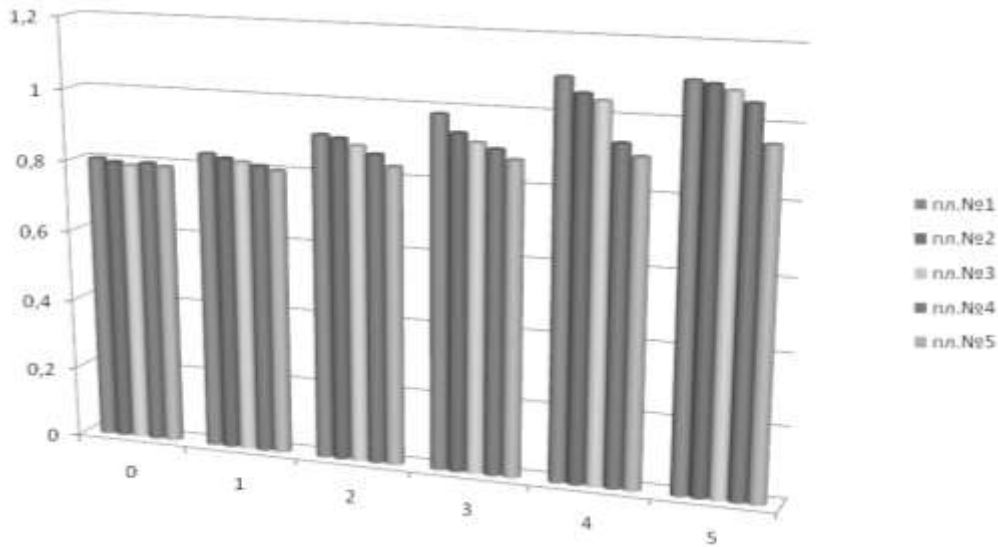


Рис. 3. Значения показаний спектрофотометра при воздействии антибактериального покрытия с различным содержанием серебра на микрофлору зоны потенциальной имплантации

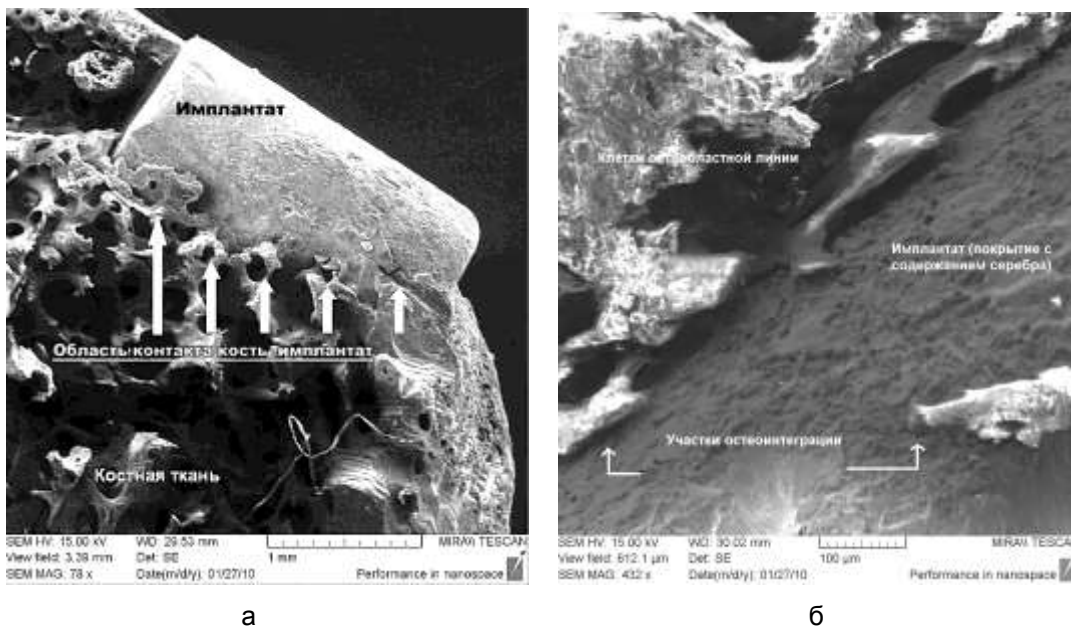


Рис. 4. Микрофотографии имплантатов с СГА покрытием, установленных в костную ткань подопытных животных (крыс): (×78) (а) и (×432) (б)

Для оценки остеоинтеграционного потенциала полученных антимикробных биокомпозиционных покрытий нами были проведены исследования на подопытных животных (рис. 4).

Полученные результаты свидетельствуют о безвредности разработанных покрытий для живых организмов, а также о высоком остеоинтеграционном потенциале. По данным исследований, скорость и качество остеоинтеграции полученных покрытий не уступают аналогичным параметрам биоактивных гидроксипатитовых покрытий, нанесенных по традиционной технологии. При этом предложенные нами покрытия обладают антимикробной активностью, что значительно расширяет потенциальные возможности их клинического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Branemark P.-I. Introduction to osseointegration / P.-I. Branemark, G.A. Zarb, T. Albrektsson, eds. // Tissue-integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry. Chicago: Quintessence, 1985. P. 11-76.
2. Misch C. Density of bone, effect on treatment plans, surgical approach, and healing / C. Misch // Oral Implantol. 1990. № 6. P. 23-31.
3. Immediate implantation of a pure titanium implant into extraction sockets: report of a pilot procedure / I. Barzilay, G. Graser, B. Iranpour, J. Natiella // Oral Maxillofac Implant. 1991. № 6. P. 277-284.
4. Албректсон Т. Поверхности дентальных имплантатов. Обзор литературы, посвященной клинической эффективности различных поверхностей / Т. Албректсон, Э. Венеберг // Prosthodont. 2004. № 17. С. 544-564.
5. Белеванцев В.И. Очерк свойств серебра и его соединений. Применение препаратов серебра в медицине / В.И. Белеванцев, И.В. Бондарчук. Новосибирск: Институт неорганической химии СО РАН, 1994. С. 89-95.
6. Некоторые экспериментальные и клинические результаты применения катионов серебра в борьбе с лекарственно-устойчивыми микроорганизмами. Серебро в медицине, биологии и технике / В.Н. Иванов, Г.М. Ларионов, Н.И. Кулиш и др. Новосибирск: Сиб. отд. РАМН, 1995. С. 53-62.
7. Савадян Э.Ш. Современные тенденции использования серебросодержащих антисептиков / Э.Ш. Савадян // Антибиотики и химиотерапия. 1989. № 11. С. 874-878.
8. Уэбб Л. Ингибиторы ферментов и метаболизма / Л. Уэбб. М.: Мир, 1966. 550 с.
9. Лясникова А.В. Теоретические исследования физико-химических процессов формирования и функционирования серебросодержащих наноструктурированных покрытий / А.В. Лясникова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 2 (38). С. 80-86.
10. Стоматологические имплантаты. Исследование, разработка, производство, клиническое применение / А.В. Лясникова, А.В. Лепилин, Н.В. Бекренев, Д.С. Дмитриенко. Саратов: СГТУ, 2006. 254 с.

**Лясникова Александра Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» Саратовского государственного технического университета

**Lyasnikova Aleksandra Vladimirovna** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor of the Department of «Materials Science and High-efficiency Treatment Processes» of Saratov State Technical University

**Лепилин Александр Викторович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой «Хирургическая стоматология и челюстно-лицевая хирургия» Саратовского государственного медицинского университета

**Lepilin Aleksandr Viktorovich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of «Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery» of Saratov State Medical University

**Лясников Владимир Николаевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» Саратовского государственного технического университета

**Lyasnikov Vladimir Nikolayevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Materials Science and High-efficiency Treatment Processes» of Saratov State Technical University

**Смирнов Дмитрий Александрович** – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры «Хирургическая стоматология и челюстно-лицевая хирургия» Саратовского государственного медицинского университета

**Smirnov Dmitriy Aleksandrovich** – Candidate of Medical Sciences, Junior Teaching Staff Member of the Department of «Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery» of Saratov State Medical University

**Мостовая Ольга Сергеевна** – клинический ординатор кафедры «Хирургическая стоматология и челюстно-лицевая хирургия» Саратовского государственного медицинского университета

**Mostovaya Olga Sergeevna** – Clinical Intern of the Department of «Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery» of Saratov State Medical University

*Статья поступила в редакцию 03.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 691

**Г.П. Пономарёва, А.А. Артёменко, О.М. Сладков**

### **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СЭНДВИЧ – КОНСТРУКЦИЯ ИЗ СЛОИСТОГО ПЛАСТИКА**

*Представлена конструкция тепловой сэндвич-панели из слоистого полимерного композиционного материала на основе пенополиуретана и базальтопластика, между слоями которого размещены нагревательные элементы. Использование базальтового волокна в качестве наружных слоев и среднего пенополиуретанового слоя позволяет создать слоистые полимерные композиционные материалы, обладающие комплексом улучшенных свойств, одним из которых является возможность обогрева внутреннего пространства. Показаны результаты экспериментальных исследований и обоснована целесообразность композиции.*

Сэндвич-панель, пенополиуретан, базальтопластик, базальтовая ткань, эпоксидосодержащая смола, углеродная нить, теплоизоляция, электронагревание.

**G.P. Ponomaryova, A.A. Artyomenko, O.M. Sladkov**

### **LAYERED PLASTIC ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTION**

*The authors present a construction of a thermal sandwich-panel from a layered polymeric composite material on the basis of foampolyurethants and basalt-plastik where there are layers of heating elements between them. Basalt fiber as external layers and average foampolyurethants layer allow to create the layered polymeric composite materials possessing a complex of improved properties, one*

*of which is the opportunity of heating the internal space. Results of experimental researches are shown and the expediency of a composition is proved.*

Sandwich-panel, foampolyurethants, basaltplastik, basalt fabric, pitch, carbon string, thermal isolation, electro heating.

Важной задачей для исследователей и разработчиков в области строительной индустрии является создание новых материалов, отвечающих требованиям современного строительства, в том числе и объектов сельскохозяйственного назначения. К основным требованиям относятся экономичность, энергоёмкость, пожаробезопасность, материалоемкость. В настоящее время широко применяются композиционные материалы на полимерной основе. С созданием облегченных и прочных конструкций значительно ширится и область применения композиционных материалов. Значительный интерес вызывают многослойные пластики, выполненные из легких материалов с высокими техническими характеристиками.

Многослойные пластики или сэндвич-структуры состоят из нескольких слоев, образующих единое целое. Чаще всего в строительной промышленности используются трехслойные сэндвич-структуры или сэндвич-панели. В подобных конструкциях средний слой служит теплоизолятором или звукопоглотителем, поэтому в качестве сердцевины используются материалы, имеющие низкий коэффициент теплопроводности и высокую степень поглощения звука, при этом они должны быть легкими и одновременно прочными. Прочность конструкции, её устойчивость и внешний вид придают наружные облицовочные слои и поэтому материал наружных слоев должен иметь высокие прочностные характеристики и высокие потребительские свойства.

95% всех сэндвич-панелей, производимых за рубежом, имеют наполнители из пенополиуретана (ППУ). Пенополиуретан является неплавкой термореактивной пластической массой с ячеистой структурой. 97% объема занимают полости и поры, заполненные газом фторхлорметаном с низкой теплопроводностью [2]. Такая структура придает материалу механическую прочность.

Основными достоинствами ППУ является низкий коэффициент теплопроводности, высокая химическая стойкость. ППУ не подвержен гниению, воздействию грызунов, работоспособен в большом интервале температур, выдерживает высокие механические нагрузки. Срок службы ППУ составляет 10 лет без потери теплоизолирующей способности и последующие пять лет эта потеря составляет не более 5%. Механические характеристики ППУ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики пенополиуретана [2]

Свойства	Показатель
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	40-120
Прочность при сжатии при 10%-ной деформации, МПа	0,2
Прочность на изгиб (при прогибе 13 мм), МПа	0,5
Адгезионная прочность, МПа	0,3
Содержание закрытых ячеек, %	97
Огнестойкость (отрезок горения), мм	125
Теплопроводность, Вт/м·К	0,029

В большинстве случаев облицовочные слои сэндвич-панелей выполняют из холоднокатаной оцинкованной стали с полимерным покрытием. В настоящей работе рассматривается возможность использования в качестве облицовочных слоев базальтопластика – это несколько слоев базальтовой ткани, пропитанной эпоксидосодержащей смолой.

Физическое совмещение полимерной матрицы пенополиуретана и базальтопластика (БП) представляет интерес для исследователей, а использование базальтовых волокнистых материалов в целом на современном этапе является перспективным направлением в получении композитов. Повышенный интерес к базальтовому волокну объясняется комплексом его уникальных свойств (низкий коэффициент теплопроводности, высокая водо- и паростойкость, высокий коэффициент звукопоглощения, большой интервал температуры эксплуатации, высокая прочность и термовиброустойчивость) [3]. Механические характеристики базальтопластика приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства базальтопластика [3]

Свойства	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8
Разрушающее напряжение, МПа при растяжении	430
изгибе	560
сжатии	440
Модуль упругости при растяжении, ГПа	390
Теплопроводность, Вт/м·ч·К	0,02326
Коэффициент звукопоглощения, Гц	100-8000

Соединение ППУ и базальтопластика осуществляется за счет адгезивных свойств смолы. Кроме того, между слоями базальтовой ткани с одной стороны размещены в определенном порядке нити из токопроводящего углеродного волокна. При пропускании электрического тока углеродные волокна нагреваются, нагревая базальтопластик обращенного внутрь замкнутого пространства, в результате чего панель выполняет функцию нагревательного элемента с распределенной поверхностью обогрева.

Таким образом, получена сэндвич-панель, выполняющая функции строительной конструкции и электронагревателя внутреннего объема помещения. Для обогрева помещения нет необходимости все строение возводить из подобных конструкций, достаточно в определенных местах несколько традиционных панелей заменить на обогреваемую панель. Такие изделия могут найти широкое применение в сельскохозяйственном строительстве, а также в строительстве складских и бытовых помещений, где отсутствует централизованное теплоснабжение. Получены экспериментальные образцы и проведены исследования прочностных и тепловых характеристик. Сравнительные результаты существующих сэндвич-структур и предлагаемой конструкции слоистого композита приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства сэндвич-структур

Состав сэндвич-структуры	Прочность при сжатии, МПа	Прочность сцепления при равномерном отрыве, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность, Вт/м.кв.К
ППС + сталь	0,2	0,2	0,18	0,041
Мин. плита + сталь	0,25	0,2	0,1	0,048
ППУ + сталь	0,3	0,25	0,35	0,025
ППУ + БП	0,4	0,3	0,9	0,020

Примечание: ППУ – пенополиуретан, БП – базальтопластик, ППС – пенополистирол

Экспериментальные образцы размерами 1000×1000×60 мм показали, что при напряжении питания  $U = 12$  В токе в цепи  $J = 10$  А электрическая мощность составляет 120 Вт. Такие характеристики позволяют гарантировать электробезопасность конструкции, а ее питание обеспечивать от аккумулятора или солнечных батарей. Кроме того, применение углеродных волокон в качестве обогревательных элементов ранее затруднялось из-за невозможности обеспечения надежного контакта между ними и токопроводящими медными или алюминиевыми проводами. В настоящей конструкции эта проблема решена – разработана недорогая технология меднения углеродных волокон, что позволяет использовать пайку [4].

Таким образом, предлагаемая структура сэндвич-панели, выполняющая функции строительной конструкции и теплового источника, обладает высокими прочностными характеристиками, высокой энергосберегающей характеристикой и низким энергопотреблением. Экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности использования такой конструкции. Кроме того, подобные конструкции можно изготавливать не только плоскими, но и криволинейными в виде скорлуп, что позволяет расширить область их применения, например, для обогрева труб при транспортировке по ним нефтепродуктов, газа, воды и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. Ф.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; под ред. Б.Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 2. 488 с.
2. Абрамов С.А. Полиуретаны фирмы ООО «Эластокам» для применения в строительстве, производстве сэндвич-панелей в автомобильной и мебельной промышленности / С.А. Абрамов / Пластические массы. 2007. № 9. С. 3-7.
3. Огарышев С.И. Базальтовое волокно – ценный материал из природного камня / С.И. Огарышев // Базальтовая вата: история и современность: сб. материалов. Пермь, 2003. С. 85-89.
4. Борисова Н.В. Разработка конструкции электронагревательных устройств на основе углеродных волокон / Н.В. Борисова, О.М. Сладков, А.А. Артеменко // Химические волокна. 2007. № 1. С. 36-38.

**Пономарёва Галина Павловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия. Инженерная графика» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Артёменко Александр Александрович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Сладков Олег Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Ponomaryova Galina Pavlovna** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Descriptive Geometry. Engineering Graphics» of Engels Institute of Technology (branch) of Saratov State Technical University

**Artyomenko Aleksandr Aleksandrovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Materials Science» of Engels Institute of Technology (branch) of Saratov State Technical University

**Sladkov Oleg Mikhaylovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Chemical Technology» of Engels Institute of Technology (branch) of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 22.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*



УДК 546.719

**Н.А. Таратанов, Г.Ю. Юрков, И.Д. Кособудский****СИНТЕЗ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ  
НА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОГРАНУЛ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА**

*Методом термического разложения металлсодержащих соединений получен наноматериал, представляющий собой ренийсодержащие наночастицы, стабилизированные на поверхности микрогранул политетрафторэтилена (ПТФЭ). Полученные композиции были охарактеризованы методами ПЭМ и РФА. Установлено, что средний размер Re – содержащих наночастиц находится в диапазоне от 6 до 29 нм и зависит от исходного металлсодержащего соединения. Наночастицы имеют сложный состав и состоят из нескольких компонентов: Re, ReO<sub>2</sub> и Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.*

Ренийсодержащие наночастицы, нанокompозиты, гранулы политетрафторэтилена, ПЭМ, РФА.

**N.A. Taratanov, G.Yu. Yurkov, I.D. Kosobudskiy****SYNTHESIS OF THE RHENIUM-CONTAINING NANOPARTICLES  
ON MICROGRANULES SURFACE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE**

*Through the method of thermo destruction of the metal containing compounds nonmaterial is obtained, including of rhenium containing nanoparticles, stabilized on a surface of micro granules polytetrafluoroethylene (PTFE). The obtained compositions is characterized by methods TEM and XRD. The average size Re-containing nanoparticles is in a range from 6 to 29 nanometers and depends from initial metal containing compounds. Nanoparticles have complex structure and consist of several components: Re, ReO<sub>2</sub> и Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.*

Rhenium containing nanoparticles, nanocomposites, polytetrafluoroethylene granules, TEM, XRD.

**Введение**

Задачей нанотехнологии является разработка экономически и экологически эффективных технологий получения новых, практически важных наноструктурированных материалов и высокодисперсных систем, пленок и покрытий, функциональных наноструктур и элементов нанoeлектронных устройств, перспективных для практических применений в различных областях от информационно-телекоммуникационных систем, наномеханики, нанoeлектроники, оптоэлектроники, каталитических систем до медицины и биоинженерии.

Создание наноматериалов из наночастиц является наиболее перспективным по ряду причин; прежде всего это связано с открывшимися в последнее время возможностями бесконечного разнообразия размеров, формы, состава и строения наночастиц, получаемых «химическими» (растворными) методами. Это, в свою очередь, позволяет предварительно определять и варьировать физические свойства наночастиц прежде, чем использовать их в качестве «строительных блоков» для создания наноматериалов.

Другая сторона интереса к таким частицам связана с тем, что покрытие микрогранул наночастицами может существенно изменить их физические и химические свойства; это может обусловить их новые практические применения в электронике [1], создании дисплеев [2], решении энергетических проблем [3-4] и других задач [5-7].

Применение Re-содержащих соединений обусловлено его тугоплавкостью, высокой температурой кипения, механической прочностью и химической инертностью по отношению к некоторым газам. Все это делает Re ценным материалом электроники и электротехники. Re-содержащие соединения используют в качестве катализатора гидрирования (этилена и нефти). Основываясь на вышеперечисленных фактах, была поставлена цель настоящей работы – разработка метода синтеза и исследование состава композиционного наноматериала, состоящего из ренийсодержащих наночастиц, стабилизированных на поверхности микрогранул политетрафторэтилена (ПТФЭ). Успешное выполнение поставленной задачи позволит в дальнейшем создать новый тип катализаторов [8-10], а также оптически активных наноматериалов [10-12].

### Экспериментальная часть

Для синтеза металлсодержащих наноразмерных частиц Re использовались следующие исходные вещества: политетрафторэтилен; масло углеводородное (вакуумное); исходные металлсодержащие соединения (МСС) со степенью чистоты, соответствующей классу «ч.д.а.»: перренат аммония ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ), декакарбонил дирения ( $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$ ), диметилформамид.

Физико-химические характеристики использованного ПТФЭ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические характеристики ПТФЭ

Внешний вид	Белый порошок
Состав, % $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$	99,99
Плотность, $\text{г/см}^3$	1,9 - 2,0
Насыпная плотность, $\text{г/см}^3$	$0,7 \pm 0,1$
Потеря веса при $320^\circ\text{C}$ , % не более	25
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	$10^{17}$
Диэлектрическая проницаемость (пленка) при $60 \cdot 10^6$ Гц	1,9 - 2,2
Твердость (по Бринеллю), кг/мм	0,5 - 0,7
Температура плавления, $^\circ\text{C}$	$\sim 320$

Использованное вакуумное масло подвергалось дополнительной очистке от примесей. Минеральное масло в делительной воронке осторожно смешивали с 1/3 по объёму раствором кислоты (серной, концентрацией 15-20 масс.%). Встряхивали несколько раз, давали отстояться; декантировали масло. Повторяли с одной и той же порцией масла 2-3 операции очистки. Затем масло промывали водой и нагревали в инертной среде до температуры выше  $250^\circ\text{C}$  с целью удаления остатков воды и легколетучих компонентов. В дальнейшем использовались образцы очищенного масла, устойчивые при температуре не ниже  $300^\circ\text{C}$ .

Общая методика получения такого типа композиционных материалов описана в работах [13, 14]. До начала эксперимента готовилась суспензия политетрафторэтилена в углеводородном масле. Для этого навеску полимера помещали в коническую колбу и приливали необходимый объём очищенного масла. Для лучшего смачивания УПТФЭ маслом смесь энергично перемешивали в течение часа в токе инертного газа.

Непосредственно синтез наноматериала осуществлялся в 4-горлой колбе объемом 250 мл из термостойкого стекла, в которую помещали полученную ранее суспензию ПТФЭ –

масло. Содержимое колбы нагревали до 300°C в токе аргона при интенсивном перемешивании. Постоянство температуры поддерживали с помощью реле с контактным термометром. В ходе экспериментов необходимо было достичь как можно более высокой температуры, при которой данное масло еще не разлагается, но происходит распад прекурсоров до образования наночастиц. В большинстве экспериментов рабочая температура составляла 300-320°C. Выше этой температуры происходит плавление политетрафторэтилена и его деструкция, что для наших целей крайне нежелательно, поэтому синтез осуществляли в вышеназванном диапазоне. В ходе выполнения эксперимента было обнаружено, что микрогранулы политетрафторэтилена вследствие их малого размера образуют кипящий слой на поверхности нагретого углеводородного масла. Это свойство ПТФЭ было использовано для металлизации микрогранул, схема которой представлена на рис. 1 а. В капельную воронку помещали рассчитанное количество раствора исходного металлсодержащего соединения (МСС). В разогретую массу по каплям при интенсивном перемешивании и подаче аргона медленно добавляли раствор соединения металла. Новую порцию МСС добавляли только после того, как происходило терморазложение введенного МСС из предыдущей порции. Процесс был организован так, что каждая капля раствора преобразовывалась на микрогрануле политетрафторэтилена по схеме, представленной на рис. 1 б. По мере накопления наночастиц на поверхности микрогранул ультрадисперсного политетрафторэтилена последние смещались в нижнюю часть слоя, а затем и в масло, выходя из зоны реакции (металлизация микрогранул).

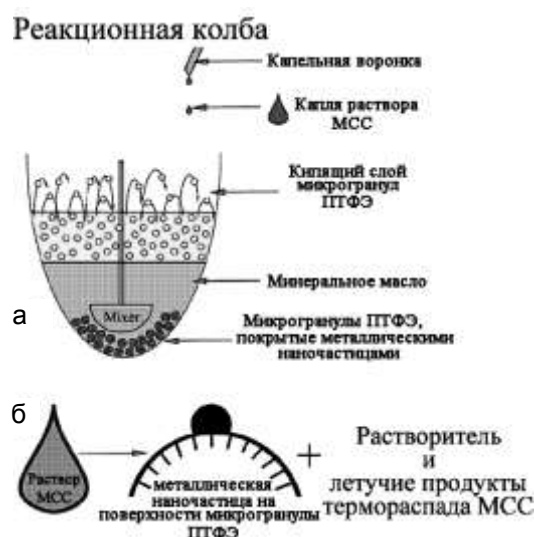


Рис. 1. Схема процесса металлизации наногранул ПТФЭ (а); образование металлсодержащей наночастицы на поверхности наногранулы ПТФЭ (б)

По окончании прибавления всего раствора металлсодержащего прекурсора (МСП) продолжали перемешивать содержимое колбы при температуре синтеза еще в течение 1-2 часов для полноты прохождения реакции. Затем отключали нагрев и при перемешивании в атмосфере аргона реакционную смесь охлаждали до комнатной температуры, затем отфильтровывали на воронке Бюхнера. Полученную массу переносили в аппарат Сокслетта и экстрагировали бензолом в течение нескольких часов. Получали сухой рассыпчатый порошок, цвет которого зависел от концентрации и природы синтезированных наночастиц.

Синтезы проводились по ранее разработанной методике [13, 14], максимальное количество продукта, которое можно получить за один синтез на такой установке, не превышает 50 г.

Подбор растворителя для вышеуказанных соединений осуществляли исходя из природы исходного металлсодержащего соединения. Полученный раствор порциями вводили в

систему ПТФЭ – минеральное масло. В случае использования в качестве МСС перрената аммония ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ) в качестве растворителя использовалась вода, а в случае использования декакарбонила рения ( $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$ ) в качестве растворителя использовали диметилформамид, термическое разложение металлосодержащих соединений проводили при  $290^\circ\text{C}$ .

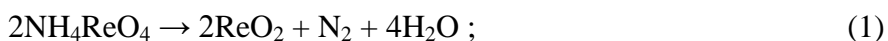
Для характеристики полученных композитов использовали: рентгенофазовый анализ (РФА), для подтверждения размера получаемых частиц в исследуемых материалах использовали просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ).

Рентгенофазовый анализ проводился на приборе «Дрон-3» ( $\text{CuK}\alpha$ -излучение,  $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ , графитовый монохроматор). Полученные дифрактограммы сравнивались с базой данных PDF2 международного комитета JCPDS от 1999 г.

Размеры частиц определяли с помощью просвечивающей электронной микроскопии на установке «JEM-1011» фирмы JEOL, при ускоряющем напряжении 80 кВ. Для исследования образца его подвергали УЗ-диспергированию в гексане, образовавшуюся дисперсию наносили на медную сетку, покрытую углеродом.

### Обсуждение результатов

При синтезе наночастиц необходимо выбирать такие прекурсоры и такие условия термораспада, чтобы при этом получались наночастицы определенного состава. Согласно литературным данным [15, 16], исходные ренийсодержащие соединения должны разлагаться согласно реакциям:



Однако это не всегда удается осуществить, так как наряду с основным направлением термораспада может пойти образование побочных продуктов иного состава [17]. Кроме того, всегда существует возможность взаимодействия образующихся наночастиц с компонентами реакционной смеси – углеводородным маслом и политетрафторэтиленом. Также известно, что наночастицы обладают высокой поверхностной энергией, достаточной для разрыва даже таких прочных связей как С-Н и С-Ф [18, 19].

Ренийсодержащие образцы были получены из разных исходных металлосодержащих соединений. Более детально в настоящей работе были исследованы наночастицы, полученные из перрената аммония ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ) и из карбонила рения ( $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$ ). Первый исследуемый композиционный материал получен из перрената аммония и представлял собой порошок темно-серого цвета, второй материал получен из карбонила рения и представлял собой порошок серого цвета.

Для подтверждения наличия металлосодержащих наночастиц на поверхности микрогранул ПТФЭ была использована просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).

На рис. 2 представлены микрофотографии полученных Re-содержащих композиционных материалов. На снимках отчетливо видны микрогранулы политетрафторэтилена (полимерная матрица) и на ней черные сферические области (металлосодержащие частицы); средний размер наночастиц, полученных из карбонила рения, составляет порядка  $6 \pm 0,2 \text{ нм}$ , а для наночастиц, полученных из перрената аммония ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ), размер составляет порядка  $29 \pm 0,5 \text{ нм}$ . Частицы достаточно равномерно распределены по поверхности микрогранулы ПТФЭ.

Для установления состава синтезированных композитов использовали рентгенофазовый анализ. На полученных дифрактограммах образцов (рис. 3) можно наблюдать характерные максимумы, относящиеся к  $\text{Re}$ ,  $\text{Re}_2\text{O}_7$ ,  $\text{ReO}_2$ . В табл. 2 представлены соотношение экспериментальных данных рентгенофазового анализа образцов, состоящих из гранул ПТФЭ и Re-содержащих наночастиц, с базой данных международного комитета JCPDS.

Из полученных результатов и опираясь на ранее опубликованные работы [13, 14], можно сделать предположение, что наночастица состоит из металлического ядра и оксидной оболочки.

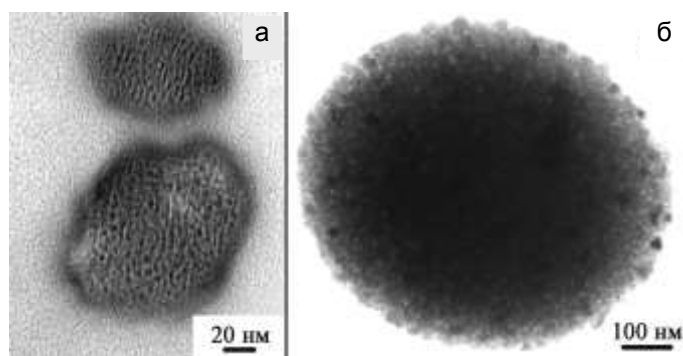


Рис. 2. Микрофотографии полученных образцов наночастиц рения на поверхности политетрафторэтилена: полученного из  $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$  (а), полученного из  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$  (б)

Таблица 2

Соотнесение экспериментальных данных рентгенофазового анализа образцов, состоящих из гранул ПТФЭ и Re-содержащих наночастиц, с базой данных международного комитета JCPDS

Исходное соединение	$d, \text{Å}$	$I/I_0, \%$	$d, \text{Å}$	$I/I_0, \%$	Литературные данные*			
					$d, \text{Å}$	$I/I_0, \%$	$d, \text{Å}$	$I/I_0, \%$
$\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$	Экспериментальные данные		Литературные данные*					
			$\text{Re}_2\text{O}_7$ (№ 39-0934)		$\text{ReO}_2$ (№ 09-0274)		Re (№ 05-0702)	
	2,2641	4	2,2720	4	2,2990	80		
	1,6334	11	1,6050	4			1,6290	11
	1,8548	10	1,8260	2	1,8300	10		
	1,4064	30	1,4350	4	1,4110	30		
$\text{NH}_4\text{ReO}_4$	1,3640	22			1,3940	30	1,3800	22
	1,2947	8	1,2740	8	1,3340	50		
	2,2318	34	2,2720	4			2,2260	34
	1,8530	10	1,8260	2	1,8300	10		
	1,6334	11	1,6050	4			1,6290	11
	1,3605	22			1,3940	30	1,3800	22
	1,2932	8	1,2740	8	1,3340	50		

\* Номер в базе данных JCPDS.

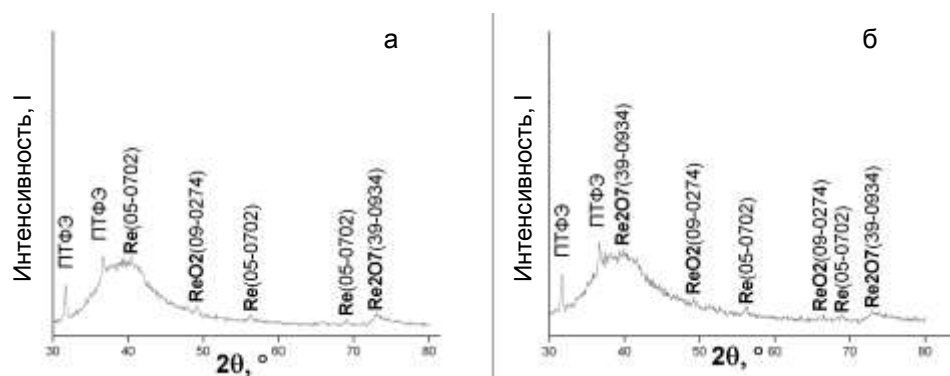


Рис. 3. Дифрактограммы полученных образцов наночастиц рения на поверхности политетрафторэтилена: полученного из  $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$  (а), полученного из  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$  (б)

Наличие вышеперечисленных компонент показывает, что образование наночастиц рения шло не только по основным реакциям (1) и (2), но также и по побочным. На наш взгляд, образование «core-shell» структуры могло происходить следующим образом: поскольку разложение исходных ренийсодержащих соединений протекало в восстановительной атмосфере (разогретое углеводородное масло), поэтому вероятнее всего реакции терморазложения вначале протекали по основным направлениям, а в дальнейшем происходило восстановление образовавшихся оксидов до металлического рения, в случае использования перрената аммония.

Как сказано выше, наночастицы обладают значительной химической активностью, что на стадии хранения образцов могло приводить к частичному окислению частиц, вследствие чего образовывалась оксидная оболочка, очевидно, это справедливо в случае использования карбонила рения, в качестве исходного металлсодержащего соединения. Полученные нами результаты не противоречат ранее выполненным работам по созданию наноматериалов на основе железо- и кобальтсодержащих наночастиц на поверхности микрогранул политетрафторэтилена [19, 20].

### Выводы

В работе показана применимость метода термического разложения МСС для получения ренийсодержащих наночастиц на поверхности микрогранул ПТФЭ. Данный метод позволяет, меняя прекурсоры или параметры синтеза, получать ренийсодержащие наночастицы различного размера. Обнаружено, что наночастицы, образующиеся в результате разложения металлсодержащего соединения при 300°C, состоят как из металлической фазы, так и оксидов рения. С помощью комплекса методов исследований на нескольких примерах установлены состав, размер наночастиц и их взаимодействие с поверхностью полимерной матрицы-стабилизатора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-03-00885, 07-08-00523-а, 08-08-90250\_Узб), Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт № 02.513.11.3373).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Nanometric Dry Powder Coatings Using a Novel Process / J.M. Fitz-Gerald, R.K. Singh, H. Gao, S.J. Pennycook // *Kona. Particles and powders*. 1999. Vol. 17. P. 173-182.
2. Degradation proof modification of ZnS-based phosphors with ZnO nanoparticles / T. Igarashi, T. Kusunoki, K. Ohno et al. // *Mater. Res. Bull.* 2001. Vol. 36. P. 1317-1324.
3. Ramesh S. Synthesis and characterization of submicrospherical silica particles uniformly coated with nanocrystalline yttria stabilized zirconia / S. Ramesh, E. Sominska, A. Gedanken // *Ultrason. Sonochem.* 2002. Vol. 9. P. 61-64.
4. Synthesis and Electrochemical Properties of ZnO-Coated  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$  Spinel as 5 V Cathode Material for Lithium Secondary Batteries / Y.-K. Sun, Y.-S. Lee, M. Yoshio, K. Amine // *Electrochem. Solid-State Lett.* 2002. Vol. 5. № 5. P. A99-A102.
5. Fu X. Synthesis of titania-coated silica nanoparticles using one-ionic water-in-oil / X. Fu, S. Qutubuddin // *Colloids Surf. A*. 2001. Vol. 178. P. 151-156.
6. CuO-SiO<sub>2</sub> Sol-Gel Catalysts: Characterization and Catalytic Properties for NO Reduction / G. Diaz, R. Perez-Hernandez, A. Gomez-Cortes et al. // *J. Catal.* 1999. Vol. 187. P. 1-14.
7. Deraz N.M. Surface and catalytic properties of Cu/Zn mixed oxide catalysts / N.M. Deraz // *Colloids Surf. A* 2001. Vol. 190. P. 251-260.
8. Electronic Conduction in Oxides / N. Tsuda, K. Nasu, A. Yanase, K. Sitanori. Springer, Heidelberg, 1991. 106 p.
9. Mol J.C. Olefin metathesis over supported rhenium oxide catalysts / J.C. Mol // *Catal. Today*. 1999. Vol. 51. № 2. P. 289-299.

10. Wang L. The preparation and properties of rhenia-alumina catalysts / L. Wang, W.K. Hall // J. Catal. 1983. Vol. 82. № 1. P. 177-184.
11. Feinleib J. Optical Properties of the Metal  $\text{ReO}_3$  from 0.1 to 22 eV / J. Feinleib, W.J. Scouler, A. Ferreti // Phys. Rev. 1968. Vol. 165. P. 765-774.
12. Weaver J.H. Low-Energy Optical Absorption in  $\text{ReO}_3$  / J.H. Weaver, D.W. Lynch // Phys. Rev. B. 1972. Vol. 6. P. 3620-3623.
13. Губин С.П. Металлические кластеры в полимерных матрицах / С.П. Губин, И.Д. Кособудский // Успехи химии. 1983. Т. 52. С. 1350-1364.
14. Магнитные наночастицы: методы получения, строение, свойства / С.П. Губин, Ю.А. Кокшаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрков // Успехи химии. 2005. Т. 74. № 6. С. 539-574.
15. Несмеянов А.Н. Методы элементоорганической химии. Подгруппы меди, сандия, титана, ванадия, хрома, марганца. Лантоноиды и актиноиды / А.Н. Несмеянов, К.А. Кочешков. М.: Наука, 1974. 971 с.
16. Друце И. Рений / И. Друце. М.: Изд-во иностранной литературы, 1986. 115 с.
17. Губин С.П. Что такое наночастица? Тенденция развития нанохимии и нанотехнологии / С.П. Губин // Рос. хим. журнал. 2000. Т. 44. № 6. С. 23.
18. Gubin S.P. Nanomaterials based on metal-containing nanoparticles in polyethylene and other carbon-chain polymers / S.P. Gubin, G.Yu. Yurkov, I.D. Kosobudsky // International Journal of Materials and Product Technology. 2005. Vol. 23. № 1-2. P. 2-25.
19. Новый наноматериал: металлсодержащий политетрафторэтилен / М.С. Коробов, Г.Ю. Юрков, А.В. Козинкин и др. // Неорганические материалы. 2004. Т. 40. № 1. С. 31-40.
20. Кобальтсодержащие наночастицы со структурой ядро-оболочка на поверхности микрогранул политетрафторэтилена / Г.Ю. Юрков, Д.А. Баранов, А.В. Козинкин и др. // Неорганические материалы. 2006. Т. 42. № 9. С. 1112-1119.

**Таратанов Николай Александрович** – аспирант Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, г. Москва

**Taratanov Nikolay Aleksandrovich** – Post-graduate Student of the Institute of Metallurgy and Materials Sciences of Russian Academy of Sciences in the name of A.A. Baykov

**Юрков Глеб Юрьевич** – кандидат химических наук, доцент, докторант кафедры «Химия» Саратовского государственного технического университета; старший научный сотрудник Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, г. Москва

**Yurkov Gleb Yuryevich** – Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor, Postdoctoral Student of the Department of «Chemistry» of Saratov State Technical University, Senior Research Officer of the Institute of Metallurgy and Materials Sciences of Russian Academy of Sciences in the name of A.A. Baykov

**Кособудский Игорь Донатович** – доктор химических наук, профессор кафедры «Химия» Саратовского государственного технического университета

**Kosobudskiy Igor Donatovich** – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of «Chemistry» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 17.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

---

УДК 681.518

**В.С. Дрогайцев, В.А. Ушаков, М.Ю. Пименов**

### **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ Часть I**

*Рассматриваются одни из возможных подходов к оцениванию степени соответствия технических характеристик заданным требованиям и диагностированию дефектов сложных технических объектов в условиях влияния критичных факторов внешней среды.*

Интеллектуальные системы, базы данных и знаний, модель диагностирования дефектов.

**V.S. Drogaytsev, V.A. Ushakov, M.Yu. Pimenov**

### **FAULTS DIAGNOSING OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS BEING UNDER THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS Part I**

*Several of possible approaches to assess conformity rate between technical characteristics and prior requirements and faults diagnosing of complex technical objects being under the influence of critical environmental factors are observed in the paper.*

Intelligent systems, data- and knowledge-bases, model of faults diagnosing.

Разработка и использование методов и средств оценки степени соответствия технических характеристик объектов требованиям технического задания (ТЗ) и технических условий (ТУ), а также обнаружение и диагностирование дефектов в условиях критичных факторов внешней среды определяются необходимостью поддержания стадии проектирования технических объектов повышенной надёжности и ответственностью исполнения функций объектов. Результаты решения данной проблемы являются востребованными также на стадиях производства и эксплуатации технических объектов.

Предметная область (ПО) обеспечения данной проблемы включает решение совокупности взаимосвязанных проблемных задач, поддерживаемых средствами интеллектуальных систем.

1. Обоснование видов моделей описания технических объектов.
2. Структуризация исходных данных, структурная и параметрическая идентификация технических объектов.



3. Выявление факторов внешней среды, критичных к допустимому подмножеству дефектов в поведении технических объектов.

4. Установление причинных связей между переменными описания объектов, факторами внешней среды и дефектами (состояниями); агрегирование информационных параметров и признаков, обнаруживающих дефекты в поведении технических объектов.

5. Синтез и минимизация размерности исходной структуры модели диагностирования дефектов.

6. Построение и обучение нейросетевой подструктуры принятия решения в процессах диагностирования дефектов.

Методология диагностирования дефектов рассматривается применительно к бортовым системам управления (БСУ) силовыми установками летательных аппаратов.

Предметная область диагностирования дефектов заданного класса бортовых систем описывается моделью вида кортежа составляющих

$$M_{\text{ПО}} = \langle P_{\text{ПЗ}}, M_0, И, ИС, Q, F, K, A \rangle, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ПЗ}}$  – перечень проблемных задач достижения целей в объёме ПО;  $M_0 = (M^S, M^F)$  – модели БСУ, соответственно структурная ( $M^S$ ) и функциональная ( $M^F$ );  $И$  – исходный перечень данных и знаний, определяемых технической документацией на образцы БСУ, условиями и требованиями к процессам диагностирования дефектов на этапах жизненного цикла (ЖЦ) БСУ;  $ИС$  – перечень интеллектуальных систем поддержки процессов решения проблемных задач;  $Q$  – допустимый перечень дефектов БСУ;  $F$  – перечень формализованных методов достижения целей в рамках заданного перечня проблемных задач ПО;  $K$  – перечень критериев количественной оценки технических характеристик БСУ;  $A$  – аппаратные и программные средства практической реализации методов решения проблемных задач ПО.

Для описания образцов БСУ заданного класса в проблемных задачах, связанных с оценкой степени соответствия технических характеристик систем требованиям ТЗ и ТУ, в качестве исходных используются модели вида дифференциальных и алгебраических уравнений с распространением на системы уравнений соответствующих условий и ограничений [1]

$$\begin{cases} \dot{X} = A_0 X + B_0 U + C_0 W \\ Y = K_0 X + \xi \end{cases}, \quad (2)$$

где  $X \in X(t), U \in U(t), Y \in Y(t), W \in W(t), t \geq t_0$ ;  $X, U, Y, W$  – соответственно векторы состояния, управления, регистрируемый выход, факторы внешней среды;  $\xi$  – шум измерения;  $A_0, B_0, C_0$  – матрицы коэффициентов работоспособного образца БСУ;  $K_0$  – матрица коэффициентов обратной связи:

$$\begin{cases} \Delta \dot{X} = A \Delta X - B \Delta U + W \\ \Delta Y = K \Delta X \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\Delta X, \Delta U, \Delta Y$  – отклонения параметров векторов состояния, управления, выхода истинного движения от номинального (работоспособного) состояния.

Данный вид моделей используется, главным образом, на ранней стадии проектирования образцов БСУ в процессах моделирования нештатных ситуаций, планирования испытаний, предварительного анализа технических характеристик и в процедурах понижения размерности структур моделей путём их декомпозиции.

В качестве базового вида моделей описания БСУ и их составных компонентов в работе используется направленный логический полихроматический граф [2], в котором каждые вершина и ребро могут быть окрашены одновременно в несколько цветов, что позволяет описывать и анализировать подмножества свойств многофункциональных составляющих компонентов и связей в структуре БСУ. При этом цвет отнесён к категории свойств модулей и функциональных подструктур, для описания которых используется единое понятие – контур.

Описание образцов БСУ и составных функциональных подструктур средствами направленного логического полихроматического графа (в терминах контуров) в общем случае позволяет совместить в рамках единой структуры совокупность моделей: структурную, конструктивную, функциональную и логико-временную. Кроме того, имеется возможность учитывать особенности качественно различных свойств, присущих отдельным вершинам и дугам графа.

Выбор данного вида модели обусловлен рядом положительных качеств: возможностью комплексного описания во взаимосвязи разнородных физических объектов и процессов; возможностью построения модели заданной размерности на основе исходной технической документации на образцы БСУ; реализации средствами структуры моделей различных видов; управляемостью адекватностью модели физических объектов и процессов; наглядностью структуры модели; возможностью построения многоуровневой структуры модели; возможностью описания объектов и процессов в аналитической форме, удобной для машинной реализации.

Структурная организация проблемных задач ПО включает разработку теоретических и практических положений: формулирование частных и конечных целей, обоснование стратегии и сценариев их достижения; обоснование видов моделей представления образцов БСУ и процессов; согласование стратегии диагностирования дефектов с условиями и требованиями всех фаз жизненного цикла образцов БСУ; обоснование моделей, принципов, методов и алгоритмов диагностирования дефектов БСУ в условиях влияния критичных факторов внешней среды; обоснование перечней значимых показателей и критериев количественной экспертной оценки соответствия технических характеристик образцов БСУ класса их составных компонентов требованиям ТЗ и ТУ.

В теоретических положениях обеспечения процессов диагностирования дефектов БСУ значимая роль принадлежит методам структурной и параметрической идентификации. Их сущность заключается в установлении на стадии построения и обучения интеллектуальных систем закономерностей функционирования образцов БСУ и выявлении причинно-следственных связей между переменными описания образцов, факторами внешней среды и допустимым подмножеством дефектов.

В процессах параметрической идентификации процедуры анализа и количественной оценки степени соответствия технических характеристик образцов БСУ требованиям ТЗ и ТУ и обнаружения дефектов в их поведении являются многоплановыми, многокритериальными задачами, для решения которых используется три подхода.

В основу первого подхода положены требования ТУ на образцы БСУ и их составные компоненты в виде законов управления, вход-выходных функциональных зависимостей, допусковых зон и пороговых уровней на вход-выходные параметры. Второй подход базируется на методах статистического анализа в пространственно-временном представлении экспериментальных данных, то есть результатов моделирования состояний БСУ в условиях наличия дефектов, которые в дальнейшем используются для формирования обучающих выборок. Третий подход отражает информационно-логическую сущность достигаемых частных и конечных целей в рамках проблемных задач ПО. Второй и третий подходы обеспечиваются, главным образом, на стадии построения и обучения интеллектуальных систем поддержки принятия решений проблемных задач ПО.

В рассматриваемой постановке задач степень совершенства алгоритмов функционирования образцов БСУ определяется критериями:

1. Критерий обнаружения явного дефекта, отождествляемого с нештатной ситуацией в поведении образца БСУ, определяется зависимостью [3,4]

$$K_H^i = \begin{cases} 0 & \text{при } Y_{imin} \leq \mathfrak{F}_i \leq Y_{imax} \\ 1 & \text{при } Y_{imin} > \mathfrak{F}_i, \mathfrak{F}_i > Y_{imax} \end{cases} \left| \{W_j\}, \{Q_p\}, \{\pi_d\} \right. \quad (4)$$

где  $Y$  – измеренное значение выходного параметра образца БСУ;  $Y_{i\max}$ ,  $Y_{i\min}$  – значения выходного параметра, отражающие границы его допусковой зоны, которая определяется ТУ;  $\{Q_i\} \in Q$  – допустимое подмножество дефектов в поведении образца БСУ;  $\{\pi_d\} \in \Pi$  – последовательность элементарных экспериментов в процессах испытания образца БСУ;  $\{W_j\} \in W$  – подмножество факторов внешней среды.

2. Критерий обнаружения скрытых (потенциальных) дефектов, зависящий от уровня деградации выходных параметров образца БСУ для данного режима функционирования в условиях влияния факторов внешней среды

$$K_p^l = \left\{ \left[ \frac{Y_{li\max} - Y_{liH}}{\Delta Y_{li\max}} + \frac{Y_{ljH} - Y_{lj\min}}{\Delta Y_{lj\max}} \right] / 2 \right\} > \beta \left| \{W_r\}, \{Q_h\}, \{\pi_d\} \right\}, \quad (5)$$

где  $Y_{li\max}$ ,  $Y_{li\min}$  – регистрируемые значения  $l$ -го выходного параметра при различных условиях внешней среды и режиме функционирования образца БСУ,  $l = \overline{1, m}$ ,  $i \neq j$  – моменты регистрации выходного параметра;  $\Delta Y = \{|Y_{l\max} - Y_{lH}|, |Y_{l\min} - Y_{lH}|\}$  – граничные значения допусковой зоны  $l$ -го параметра;  $\beta$  – пороговый уровень деградации  $l$ -го параметра на уровне  $i$ ,  $j$ -го измерений;  $Y_{liH}$ ,  $Y_{ljH}$  – номинальные значения  $l$ -го параметра на  $i$ -х,  $j$ -х измерениях.

В работе методология диагностирования дефектов БСУ основывается на использовании баз данных и знаний трёх интеллектуальных систем: выявления ограниченного числа факторов внешней среды, критичных к допустимому подмножеству дефектов; агрегирования информационно-значимых параметров (признаков) и причинно-следственных связей между ними, обеспечивающих обнаружение дефектов; диагностирования дефектов в поведении БСУ.

Методическое обеспечение построения и обучения интеллектуальных систем включает решение совокупности взаимосвязанных задач [3]:

1. Постановка целей и обоснование методов их достижения.
2. Представление физических объектов и процессов моделями.
3. Абстрактное описание физических объектов и процессов.
4. Обоснование структуры и состава переменных концептуальной модели ПО.
5. Построение схемы базы данных и знаний, отражающей нечёткие отношения атрибутов к областям их значений.
6. Извлечение, преобразование, структуризация знаний, понижение неопределённости нечётких отношений переменных.
7. Синтез баз данных и знаний интеллектуальных систем.
8. Описание знаний моделями.

В процессах построения концептуальной модели и схемы базы данных и знаний ПО механизм абстракции заключается в переходе от параметров описания физических объектов и процессов к типам объектов (представленных ситуациями) – классам эквивалентности объектов с разделительными свойствами [4].

Концептуальная модель ПО отображает семантику нечётких отношений переменных, представленных ситуациями.

Структуризация данных и знаний на стадии построения и обучения интеллектуальных систем состоит в выдвигании на первый план формализованных методов, моделей и алгоритмов решения проблемных задач. С другой стороны, подчёркивается важность машинных способов извлечения, преобразования знаний, понижения размерности нечётких отношений переменных, то есть уменьшения неопределённости состояния схемы базы данных и знаний или иначе – достижения заданного уровня достоверности и полноты базы данных и знаний ПО. При этом формализованные методы решения проблемных задач используются в каче-

стве инструментов извлечения и процедур преобразования знаний, что позволяет в значительной степени понизить уровень субъективности оценок, производимых экспертами.

В результате структурирования и логической формализации исходных данных и знаний, определяемых технической документацией на образцы БСУ и результатами моделирования нештатных ситуаций в образцах, в каждый момент времени  $t$  на уровне каждого состояния иерархии системы базы данных и знаний оценивается и анализируется система [5]

$$R_t \subseteq \Theta_t \times P_t, \quad (6)$$

где  $\Theta_t$  – наблюдаемые объекты (атрибуты), представленные ситуациями;  $P_t$  – конечное подмножество свойств этих объектов (значений атрибутов, также представленных ситуациями).

При этом оцениваются свойства различимости и неразличимости объектов модели, что определяет одно из ключевых условий её адекватности. Условием достижения требуемого уровня адекватности модели является также процесс понижения размерности модели, обеспечивающий минимизацию пространства свойств  $P_t$ .

Принцип построения схемы базы данных и знаний ПО базируется на использовании семантики, определяемой структурой концептуальной модели ПО и перечнем формализованных методов решения проблемных задач, поддерживаемых средствами заданного состава интеллектуальных систем.

Актуальность решения проблемной задачи выявления ограниченного числа факторов внешней среды и режимов функционирования БСУ определяется необходимостью раннего и обоснованного обнаружения дефектов в поведении БСУ, что способствует снижению экономических, материальных затрат и сокращению временных циклов установления дефектов.

Модель формализованного метода решения данной проблемной задачи определяется зависимостью вида

$$M_w = (((\Psi^U(t) \times \Psi_{cr}^R(t) \times \Psi_{cr}^W(t)) \times \Psi^Q(t)) \times \Delta\Psi^Y(t)), \quad (7)$$

где  $\Psi^U(t)$  – подмножество ситуаций, характеризующее управляющие сигналы образцов БСУ;  $\Psi^R(t)$  – подмножество критичных режимов функционирования БСУ;  $\Psi_{cr}^W(t)$  – подмножество критичных факторов внешней среды;  $\Psi^Q(t)$  – допустимое подмножество дефектов в поведении БСУ;  $\Delta\Psi^Y(t)$  – подмножество выходных параметров образца БСУ, чувствительных к дефектам в условиях влияния факторов внешней среды.

Процесс извлечения, преобразования знаний и ограничение целостности по заданным критериям описаний состояний схемы базы данных и знаний, представленных нечёткими отношениями, осуществляется в результате анализа ограниченных по объёму обучающих выборок, формируемых по результатам моделирования нештатных ситуаций (дефектов) в поведении БСУ.

Процесс моделирования состояния образцов БСУ регламентируется направленным изменением переменных модели описания состояния схемы базы данных и знаний согласно зависимости вида

$$\Delta Y(t)_{W_{cr}, R_{cr}} = \max [\Delta Y_i(t), f_i(U(t), R_{cr}(t), W_{cr}(t), Q(t))] |_{\{K_j\}, \{D_i\}} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} U(t) \\ W(t) \\ R(t) \\ Q(t) \end{array} \right\} - \text{var}, \quad (8)$$

где  $\Delta Y(t)$  – подмножество выходных параметров образцов БСУ;  $U(t)$  – подмножество управляющих сигналов;  $W_{cr}(t)$  – подмножество критичных факторов внешней среды;  $R_{cr}(t)$  – подмножество критичных режимов функционирования образцов БСУ;  $Q(t)$  – допустимое подмножество дефектов;  $K$  – перечень критериев оценки параметров состояния выхода образцов БСУ;  $D$  – допусковые зоны выходных параметров.

По соображениям обеспечения машинизации процессов анализа результатов моделирования состояний БСУ, формальных процедур обучения интеллектуальных систем, формирования и исполнения правил принятия решений представляется целесообразным переход от непрерывных сигналов (параметров) состояния выхода к бинарному представлению согласно условию вида

$$\Delta Y_j^{W(R)} = \|\alpha_{ij}^{h(d)}\| = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta Y_j(t), f_j(U(t), R_{cr}(t), W_{cr}(t), Q(t)) > \beta_j \in R_j^Q \\ 0, & \text{если } \Delta Y_j(t), f_j(U(t), R_{cr}(t), W_{cr}(t), Q(t)) > \beta_j \notin R_j^Q \end{cases} \Big|_{\{K_i\}, \{D_j\}}, \quad (9)$$

где  $R_j^Q$  – область распределения числовых значений  $j$ -го параметра состояния выхода образца БСУ в пространственно-временном представлении, отражающего факт наличия дефекта в поведении образца БСУ;  $\beta_j$  – пороговый уровень допусковой зоны (ограничения)  $j$ -го параметра, определяемый требованиями ТУ на образец.

База данных и знаний интеллектуальной системы обоснования критичных факторов внешней среды и режимов функционирования образца БСУ определяется логическими условиями вида

$$\begin{aligned} & \forall t, Q; \exists b_1^c, \dots, b_n^c; b_1^y, \dots, b_m^y; F_1, \dots, F_p; \Psi_1^U(t), \dots, \Psi_l^U(t); \Psi_1^R(t), \dots, \Psi_d^R(t); \\ & \Psi_1^W(t), \dots, \Psi_r^W(t); \Psi_1^D(t), \dots, \Psi_n^D(t); \Psi_1^Q(t), \dots, \Psi_d^Q(t); K_1, \dots, K_r \Rightarrow \\ & SKW = [\Delta \Psi_1^Y(t), f_1(\Psi^U(t), \Psi_{cr}^R(t), \Psi_{cr}^W(t), \Psi^D(t), \Psi^Q(t))] \cup \dots \\ & \dots \cup \Delta \Psi_m^Y(t), f_m(\Psi^U(t), \Psi_{cr}^R(t), \Psi_{cr}^W(t), \Psi^D(t), \Psi^Q(t))] = \langle \Psi^Q(t) \rangle / \{K_i\}, \{D_i\}, \{\pi_r\}, \end{aligned}$$

где  $SKW$  – структура координат переменных на базовых шкалах пространственно-временной модели, отражающая чувствительность параметров состояния выхода БСУ в заданных условиях влияния факторов внешней среды и режимов функционирования образцов БСУ;  $b_i^c, b_j^y$  – входные, выходные полюса моделей образцов БСУ, представленных направленным полихроматическим графом;  $F_r, r = \overline{1, k}$  – перечень информационных путей в структуре модели образца БСУ;  $\Psi_i^D(t)$  – заданный перечень активных действий в процессах моделирования и испытания образцов БСУ; здесь обозначения « $\forall$ », « $\exists$ », « $\Rightarrow$ » отражают «для всех», «существует», «следует».

Информационно-значимые параметры и их причинно-следственные связи с дефектами (или состояниями образцов БСУ) используются в качестве источника извлечения знаний и в качестве средства ограничения целостности формальных описаний состояний схемы базы данных и знаний.

Модель описания формализованного метода решения проблемной задачи агрегирования информационно-значимых параметров (признаков) и причинных взаимосвязей между переменными описания образцов БСУ и дефектами в их поведении определяется выражением вида

$$M_{Ag} = \{((\Psi^U(\bar{g}) \times \Psi_{cr}^W(\bar{h}) \times \Psi_{cr}^R(\bar{p})) \times \Psi^Q(t)) \times \Psi^Y(\bar{z})\} / \{K_i\}, \{D_j\}, \quad (11)$$

где  $\bar{g}, \bar{h}, \bar{p}, \bar{z}$  – векторы признаков соответствующих переменных.

Методика построения и обучения интеллектуальной системы поддержки метода решения данной проблемной задачи включает ряд процессов: моделирование состояний образцов БСУ в условиях наличия дефектов; выявление в пространственно-временном представлении значимых параметров (признаков) и причинных связей между параметрами и дефектами заданного подмножества; построение обучающих выборок на основе полученного подмножества выходных параметров.

Обучающие выборки, отражающие причинные связи и числовые значения информативных параметров в пространственно-временном представлении переменных, определяются матрицами вида

$$\Psi_p^Y(\bar{z}) / \{\Psi_{cr,l}^W\} \{\Psi_{cr,d}^R\} = \begin{bmatrix} \alpha_{(1,1)}^{r(d)} & \dots & \alpha_{(1,j)}^{r(d)} & \dots & \alpha_{(1,L)}^{r(d)} \\ \dots & \dots & \alpha_{(i,j)}^{r(d)} & \dots & \dots \\ \alpha_{(N,1)}^{r(d)} & \dots & \alpha_{(N,j)}^{r(d)} & \dots & \alpha_{(N,L)}^{r(d)} \end{bmatrix} \{K_h\} \{D_p\}, \quad (12)$$

где  $\|\alpha_{p(i,j)}^{r(d)}\|$  – элемент матрицы, характеризующий критичность (чувствительность)  $j$ -го параметра к допустимому подмножеству нештатных ситуаций в условиях критичных факторов внешней среды и критичных режимов функционирования образцов БСУ;  $r = \overline{1, H}$  – число допустимых факторов внешней среды;  $d = \overline{1, 1} \dots$  – число критичных режимов функционирования образцов БСУ;  $j = \overline{1, L}$  – число параметров, представленных признаками множества  $Z$ ;  $i = \overline{1, N}$  – число моделируемых дефектов образцов БСУ соответствующего класса.

Анализ обучающих выборок, являющихся результатом агрегирования информативных параметров и причинных взаимосвязей в пространственно-временном представлении переменных, регламентируется совокупностью условий:

– условие бинарного представления параметров состояния выхода образцов БСУ

$$\Psi_j^Y(z) = \|\alpha_{(ij)}^{r(d)}\| = \begin{cases} 1, & \text{если } \{Y_j(\bar{z}), f_j(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}), \Psi^Q(t))\} \in R^{\Psi^Q} \\ 0, & \text{если } \{Y_j(\bar{z}), f_j(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}), \Psi^Q(t))\} \notin R^{\Psi^Q} \end{cases} \{K_i\} \{D_j\}, \quad (13)$$

где  $\{R_j^{\Psi^Q}\}$  – подмножество подпространств распределения числовых значений параметров состояния выходов образцов БСУ относительно работоспособных состояний, отражающее наличие дефекта в образце БСУ;

– условие наличия разделительных свойства  $j$ -го параметра  $(\Psi_{j(i)})$  применительно к  $i$ -му,  $l$ -му дефектам  $(\Psi_i^Q, \Psi_l^Q)$ , которые определяются пересечением  $p$ -го и  $d$ -го подпространств  $(R_{jp}^{\Psi^Q}, R_{jd}^{\Psi^Q})$  распределения числовых значений параметра в структуре пространственно-временного представления переменных описания состояния образцов БСУ и факторов внешней среды, характеризуется выражением

$$R_{jp}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q) \cap R_{jd}^{\Psi^Q}(\Psi_l^Q) = \emptyset. \quad (14)$$

Соответственно, информационная значимость и разделительные свойства  $j$ -го параметра определяются выражением

$$\Psi_j^Y(\Psi_i^Q) \cap \Psi_j^Y(\Psi_l^Q) = \emptyset / \{K_r\} \{D_j\}. \quad (15)$$

Однако, при частичном пересечении  $p$ -го,  $d$ -го подпространств  $(R_{jp}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q), R_{jd}^{\Psi^Q}(\Psi_l^Q))$  применительно к  $i$ -му,  $l$ -му дефектам свойства  $j$ -го параметра  $(\Psi_j^Y)$  определяются поиском центра тяжести

$$R_{jp}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q) \cap (R_{jd}^{\Psi^Q}(\Psi_l^Q) \setminus R_{jp}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q)). \quad (16)$$

При этом информационная значимость и разделительные свойства определяются зависимостью

$$\Psi_j^Y(\Psi_i^Q) \cap \Psi_j^Y(\Psi_i^Q) = \emptyset / \{K_r\}, \{D_j\}. \quad (17)$$

При условии полного пересечения подпространств  $(R_{jp}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q), R_{jd}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q))$  разделительные свойства  $j$ -го параметра  $(\Psi_j^Y)$  определяются разделительными особенностями векторов признаков состояний управляющих сигналов  $(\Psi^U(\bar{g}))$ , факторов внешней среды  $(\Psi_{cr}^W(\bar{h}))$  и режимов функционирования образцов БСУ согласно зависимостям вида

$$R_{jp}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}))) \cap R_{jd}^{\Psi^Q}(\Psi_i^Q(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}))) = \emptyset. \quad (18)$$

Соответственно, разделительные свойства  $j$ -го параметра характеризуются зависимостью

$$\Psi_j^Y(\Psi_i^Q(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}))) \cap \Psi_j^Y(\Psi_i^Q(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}))) = \emptyset. \quad (19)$$

Для отнесения параметров состояния выхода образцов БСУ к соответствующим подструктурам  $(R_i^{\Psi^Q}(\Psi_r^Q))$  пространственно-временного представления могут использоваться также функции принадлежности [6].

Применительно к данной интеллектуальной системе функция принадлежности  $j$ -го параметра  $(\Psi_j^Y(z))$  к подмножеству альтернативных вариантов подпространств  $R_i^{jl}$  в условиях  $l$ -го дефекта в образце БСУ определяется зависимостью

$$F_j^{R_l} = \left\{ \left\langle \mu_{F_j^{R_l}}(R_1^{jl}) / R_1^{jl} \right\rangle \left\langle \mu_{F_j^{R_l}}(R_2^{jl}) / R_2^{jl} \right\rangle \dots \left\langle \mu_{F_j^{R_l}}(R_n^{jl}) / R_n^{jl} \right\rangle \right\} \left\{ R_i^{jl} \right\} \in R^{jl} / \{K_r\}, \{D_j\}. \quad (20)$$

Функция принадлежности  $j$ -го параметра к объединению двух подпространств  $(R_j^n, R_j^m)$ , отображающих  $l$ -й дефект, определяется выражением

$$F_{j(R_{ln}^j \cup R_{lm}^j)} = \max \left\{ \left\langle \mu_{F_j}(R_{ln}^j) \right\rangle \left\langle \mu_{F_j}(R_{lm}^j) \right\rangle / n \neq m \right\} \left\{ K_r \right\}, \left\{ D_j \right\}. \quad (21)$$

Функция принадлежности  $j$ -го параметра к  $l$ -му дефекту, отражающая разделительные свойства двух подпространств  $(R_{lp}^j, R_{ld}^j)$ , регистрируемых при отличающихся значениях компонентов вектора переменных, определяется зависимостью

$$F_{j(R_{lp}^j \cap R_{ld}^j)} = \min \left\{ \left\langle \mu_{F_j}(R_{lp}^j) \right\rangle \left\langle \mu_{F_j}(R_{ld}^j) \right\rangle / p \neq d \right\} / \{K_r\}, \{D_j\}. \quad (22)$$

Согласно исходным данным и знаниям, определяемым  $\gamma$ -векторами  $\forall, \exists$  (10) и результатами моделирования состояний БСУ в условиях допустимого подмножества дефектов, база данных и знаний рассматриваемой интеллектуальной системы представляется структурой координат в пространственно-временном представлении и характеризуется зависимостью вида

$$\begin{aligned} SKA = & [\Psi_1^Y(\bar{z}), f_1(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}), \Psi^Q(t))] \cup \dots \\ & \dots \cup [\Psi_m^Y(\bar{z}), f_m(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}), \Psi^Q(t))] = \langle \Psi_0^Q, \Psi^Q \rangle / \{K_i\}, \{D_j\}, \{\pi_l\}, \end{aligned} \quad (23)$$

где  $\Psi_0^Q, \Psi^Q$  – работоспособное состояние образца БСУ и состояние дефекта соответственно.

Модель метода решения проблемной задачи технического диагностирования дефектов в поведении заданного класса БСУ определяется зависимостью

$$M_l = \left\{ \left( (\Psi^U(\bar{g}) \times \Psi_{cr}^W(\bar{h}) \times \Psi_{cr}^R(\bar{p})) \times \Psi^Y(\bar{z}) \right) \times \Psi^Q(t) \right\} / \{K_i\}, \{D_j\}, \{\pi_l\}. \quad (24)$$

$\Psi_n^W$		$U\Psi_r^U$			...	$U\Psi_l^U$			...	$U\Psi_p^U$		
		$\Psi_1^Y$			...	$\Psi_j^Y$			...	$\Psi_m^Y$		
		$z_{11}$	...	$z_{1p}$	...	$z_{jl}$	...	$z_{jr}$	...	$z_{jh}$	...	$z_{ml}$
$\Psi_i^W$		$U\Psi_r^U$			...	$U\Psi_l^U$			...	$U\Psi_p^U$		
		$\Psi_1^Y$			...	$\Psi_j^Y$			...	$\Psi_m^Y$		
		$z_{11}$	...	$z_{1p}$	...	$z_{jl}$	...	$z_{jr}$	...	$z_{jh}$	...	$z_{ml}$
...	...											
$\Psi_i^Q$	$\Psi_{il}^R$											
	...											
	$\Psi_{id}^R$	...	$\alpha_{(ij)r}^d$	...								
$\Psi_H^W$		$U\Psi_r^U$			...	$U\Psi_l^U$			...	$U\Psi_p^U$		
		$\Psi_1^Y$			...	$\Psi_j^Y$			...	$\Psi_m^Y$		
		$z_{11}$	...	$z_{1p}$	...	$z_{jl}$	...	$z_{jr}$	...	$z_{jh}$	...	$z_{ml}$
$\Psi_1^Q$	$\Psi_{11}^R$											
	...											
	$\Psi_{1k}^R$											
...	...											
$\Psi_i^Q$	$\Psi_{il}^R$											
	...											
	$\Psi_{id}^R$	...	$\alpha_{(ij)r}^d$	...								
	$\Psi_{ir}^R$											
...	...											
$\Psi_p^Q$	$\Psi_{pl}^R$											
	...											
	$\Psi_{pq}^R$											
$L$	...	$a_j$		...								

Модель диагностирования дефектов



Поддержка метода решения проблемной задачи диагностирования дефектов в поведении заданного класса БСУ определяется структурой и содержанием базы данных и знаний интеллектуальной системы агрегирования информативных признаков и причинных связей (23). При этом структура координат в пространственно-временном представлении переменных, представляющая базу данных и знаний интеллектуальной системы с учётом исходных данных и знаний, характеризуется зависимостью вида

$$SKI = [\Psi_1^Y(\bar{z}), f_1(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}), \Psi^Q(t)) \cap \dots \dots \cap \Psi_m^Y(\bar{z}), f_m(\Psi^U(\bar{g}), \Psi_{cr}^W(\bar{h}), \Psi_{cr}^R(\bar{p}), \Psi^Q(t))] = \langle \Psi_i^Q \rangle | \{K_i\}, \{D_j\}, \{\pi_l\}. \quad (25)$$

Структурная организация и содержание модели диагностирования дефектов в поведении заданного класса БСУ формируются на основе баз данных и знаний интеллектуальных систем поддержки методов решения проблемных задач агрегирования (23) и диагностирования (25).

Общий вид исходной структуры модели диагностирования дефектов приведён на рисунке. Структура модели устанавливает причинно-следственные связи между параметрами состояния выхода образца БСУ  $\{\Psi_i^Y(\bar{z})\}$ , управляющими сигналами  $\{\Psi_j^U(\bar{g})\}$ , режимами функционирования образца БСУ  $\{\Psi_r^R(\bar{p})\}$ , факторами внешней среды  $\{\Psi_r^W(\bar{h})\}$  и допустимым подмножеством дефектов в поведении образцов БСУ  $\{\Psi_d^Q(t)\}$ , чем достигается повышение разрешающей способности метода диагностирования дефектов.

Из содержания переменных структуры модели диагностирования (см. рисунок) следует, что дефекты соответствующих образцов БСУ причинно взаимосвязаны с векторами параметров состояний  $\{\Psi^Q(t)\}$ , выхода образцов  $\{\Psi^Y(\bar{z})\}$ , управляющих сигналов  $\{\Psi^U(\bar{g})\}$ , режимов функционирования образцов  $\{\Psi^R(\bar{p})\}$ .

Теоретический и практический интерес представляет проблема диагностирования кратных дефектов в поведении образцов БСУ в условиях изменения факторов внешней среды.

Методы синтеза алгоритмов диагностирования кратных дефектов с учётом влияния факторов внешней среды определяются преобразованием исходной структуры модели диагностирования (см. рисунок) к конечным вариантам, механизм реализации которых будет рассмотрен в дальнейшем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Земляков С.Д. Реконфигурация систем управления летательными аппаратами при отказах / С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский, А.В. Силаев // Автоматика и телемеханика. 1996. № 6. С. 3-20.
2. Павлов В.В. Полихроматические графы и гиперграфы в структурном моделировании систем / В.В. Павлов // Техника, экономика. Сер. Автоматизация проектирования. 1995. Вып. 3-4. С. 30-35.
3. Ушаков В.А. Интегрированная нейросетевая система ситуационного управления процессами обеспечения технических характеристик динамических объектов. I / В.А. Ушаков, Г.С. Говоренко, В.С. Дрогайцев // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 7. С. 14-19.
4. Ушаков В.А. Интегрированная нейросетевая система ситуационного управления процессами обеспечения технических характеристик динамических объектов. II / В.А. Ушаков, Г.С. Говоренко, В.С. Дрогайцев // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 8. С. 21-28.
5. Цаленко М.Ш. Моделирование семантики в базах данных / М.Ш. Цаленко. М.: Наука, 1989. 285 с.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. М.: Мир, 1976. 165 с.

**Дрогайцев Валентин Серафимович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Drogaytsev Valentin Serafimovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Automation and Technological Processes Management» of Saratov State Technical University

**Ушаков Виталий Алексеевич** – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «КБ Электроприбор»

**Ushakov Vitaliy Alekseyevich** – Candidate of Technical Sciences, General Director of JS Company «KB Electropribor»

**Пименов Михаил Юрьевич** – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Pimenov Mikhail Yuryevich** – Post-graduate Student of the Department of «Automation and Technological Processes Management» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 11.11.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 681.0.002

**Я.Н. Отений, А.А. Эпов, Е.Н. Ломкова, А.А. Казначеева**

### **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТАНОЧНОГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО УЧАСТКА**

*Приведены математические модели функционирования станочного металлообрабатывающего оборудования. Разработаны алгоритмы моделирования технико-технологических подсистем, описывающих основные технологические переходы для различных групп станков. В результате синтеза моделей подсистем получена целостная вероятностная имитационная модель функционирования станочного участка.*

Станки, модель функционирования, вероятностная модель.

**Ya.N. Oteniy, A.A. Epov, E.N. Lomkova, A.A. Kaznacheyeva**

### **IMITATIONAL MODEL ELABORATION OF MACHINE-TOOL METAL-WORKING SECTION FUNCTIONING**

*The authors describe mathematical models of machine-tool metal-working equipment in the paper. They present modeling algorithms of techno-technological subsystems describing main technological transitions for different machine-tool groups. As a result of a subsystem models synthesis an integral probability imitational model of a machine-tool section is obtained.*

Machine tool, functioning model, probability model.

При проектировании металлообрабатывающего производства весь процесс механической обработки детали разбивается на отдельные подсистемы – технологические процессы и операции. Их качественная оценка предусматривает альтернативный выбор: 1) методов обработки; 2) станочного оборудования, пригодного для обработки детали в зависимости от его конструкции и годовой (месячной, сменной) программы производства; 3) последовательности обработки; 4) режущего и измерительного инструмента; 4) технологических баз. Количественная оценка предусматривает установление: 1) оптимальной степени дифференциации и концентрации операций технологического процесса; 2) оптимальной структуры системы машин; 3) режимов обработки.

Качественно различные технологические процессы и операции выполняются по различным законам обработки, протекают в различных условиях и, следовательно, с различными скоростями. Это приводит к их количественному различию по продолжительности процессов и операций. Исходя из этого, количественная оценка по затратам времени является основой для определения производительности металлообработки [1].

Таким образом, при решении проектных задач подготовки производства необходимо исходить из обеспечения максимальной производительности станочного оборудования и заданного качества выпускаемой продукции. В результате определяется время обработки в рабочем цикле, а, следовательно, технологическая производительность каждой единицы станочного парка [2]. В настоящей работе в качестве объекта металлообработки принята деталь типа «тело вращения». Данный тип детали входит в конструкцию большинства изделий машиностроения, с помощью которого обеспечивается передача вращательного движения рабочему органу машины.

В общем случае при формальном описании производственного процесса металлообработки изготовление детали типа «тело вращения» начинается с получения заготовки при помощи пилоотрезной операции. Затем на фрезерно-центровальном станке ведётся обработка торцов, включающая две технологические операции: подрезку торцов и сверление в них центровочных отверстий. Далее управление передаётся группе станков для обработки наружных и внутренних поверхностей детали, состоящей из обтачивания, фрезерования, строгания (долбления), шлифования поверхностей; сверления и обработки отверстий. На данных технологических переходах в зависимости от конструктивной сложности детали и типа станочного оборудования возможно выполнение вспомогательных операций: смены инструмента и схемы базирования. Следующая позиция предусматривает нарезание и шлифование зубьев, шлицев, резьбы; протягивание (прошивку) отверстий. По окончании каждой технологической операции выполняется контрольная операция. Завершается процесс изготовления детали тремя финишными переходами: термической обработкой, промывкой и техническим контролем изделия. На практике оптимальный технологический маршрут определяется конструкцией детали и может состоять из операций самой различной последовательности.

Возможности моделирования сложных систем, к которым можно отнести станочный металлообрабатывающий участок, обусловлены рядом принципов. Основными из них являются декомпозиция и иерархичность описания объектов. При формализации таких систем с учетом рекомендаций Н.П. Бусленко [3] сложная иерархическая система расчленяется на конечное число частей. Полученные части при необходимости вновь расчленяются до тех пор, пока не получатся элементы, удобные для математического и алгоритмического описания.

Использование вышеназванных принципов применительно к целостному процессу функционирования станочного участка для обработки детали типа «тело вращения» позволяет выделить на уровне структурных элементов ряд технико-технологических подсистем: «Получение заготовки –  $T_1$ », «Обработка торцов –  $T_2$ », «Обработка наружных и внутренних поверхностей –  $T_3$ », «Обработка зубьев, шлицев, резьбы. Протяжка (прошивка) отверстий –  $T_4$ », «Термическая обработка, промывка и технический контроль детали –  $T_5$ » (табл. 1). При

этом каждая подсистема соответствует технологическому процессу, выполняемому определенным оборудованием станочного участка.

Таблица 1

## Технико-технологические подсистемы металлообработки

Подсистема (ТТП)	Код	Оборудование	Обозначение
1. Получение заготовки	T <sub>1</sub>	Отрезное	О
2. Обработка торцов	T <sub>2</sub>	Фрезерно-центровальное	ФЦ
3. Обработка наружных и внутренних поверхностей детали	T <sub>3</sub>		
3.1. Точение	T <sub>3.1</sub>	Токарное	Т
3.2. Сверление	T <sub>3.2</sub>	Сверлильное	С
3.3. Фрезерование	T <sub>3.3</sub>	Фрезерное	Ф
3.4. Стругание (долбление)	T <sub>3.4</sub>	Стругальное	СТ
3.5. Шлифование	T <sub>3.5</sub>	Шлифовальное	Ш
4. Обработка зубьев, шлицев, резьбы. Протяжка (прошивка) отверстий	T <sub>4</sub>		
4.1. Нарезание зубьев	T <sub>4.1</sub>	Зубонарезное	ЗН
4.2. Нарезание шлицев	T <sub>4.2</sub>	Шлиценарезное	ШН
4.3. Нарезание резьбы	T <sub>4.3</sub>	Резьбонарезное	РН
4.4. Протягивание (прошивка) отверстий	T <sub>4.4</sub>	Протяжное	П
4.5. Шлифование зубьев	T <sub>4.5</sub>	Зубошлифовальное	ЗШ
4.6. Шлифование шлицев	T <sub>4.6</sub>	Шлицешлифовальное	ШШ
4.7. Шлифование резьбы	T <sub>4.7</sub>	Резьбошлифовальное	РШ

Таблица 2

## Кодирование функциональных состояний оборудования металлообрабатывающего производства

Функциональное состояние	Код	Оборудование
Подготовительно-заключительная операция	C <sub>1</sub>	Все группы и типы станочного оборудования
Отрезание заготовки	C <sub>2</sub>	О
Обработка торца	C <sub>3</sub>	ФЦ
Обтачивание поверхности	C <sub>4</sub>	Т
Обработка отверстия	C <sub>5</sub>	С
Фрезерование поверхности	C <sub>6</sub>	Ф
Стругание (долбление) поверхности	C <sub>7</sub>	СТ
Шлифование поверхности	C <sub>8</sub>	Ш
Нарезание зуба	C <sub>9</sub>	ЗН
Нарезание шлица	C <sub>10</sub>	ШН
Нарезание витка резьбы	C <sub>11</sub>	РН
Протягивание (прошивка) отверстия	C <sub>12</sub>	П
Шлифование зуба	C <sub>13</sub>	ЗШ
Шлифование шлица	C <sub>14</sub>	ШШ
Шлифование витка резьбы	C <sub>15</sub>	РШ
Термообработка поверхности детали	C <sub>16</sub>	ТО
Промывка	C <sub>17</sub>	ПМ
Контроль детали	C <sub>18</sub>	К
Отказ по техническим причинам	C <sub>19</sub>	Все группы и типы станочного оборудования
Простой оборудования из-за отсутствия фронта работ	C <sub>20</sub>	Все группы и типы станочного оборудования
Смена заготовки	C <sub>21</sub>	Все группы и типы станочного оборудования
Смена инструмента	C <sub>22</sub>	Оборудование для обработки наружных и внутренних поверхностей детали
Смена схемы базирования	C <sub>23</sub>	Оборудование для обработки наружных и внутренних поверхностей детали

Смена партии деталей	C <sub>24</sub>	Все группы и типы станочного оборудования
Контрольная операция	C <sub>25</sub>	О, ФЦ, Т, С, Ф, СТ, Ш, ЗН, ШН, РН, П, ЗШ, ШШ, РШ

Дальнейшая декомпозиция сложного процесса металлообработки позволяет выделить подсистемы низшего уровня (T<sub>3.1</sub>, T<sub>3.2</sub>, T<sub>3.3</sub>, T<sub>3.4</sub>, T<sub>3.5</sub>, T<sub>4.1</sub>, T<sub>4.2</sub>, T<sub>4.3</sub>, T<sub>4.4</sub>, T<sub>4.5</sub>, T<sub>4.6</sub>, T<sub>4.7</sub>, T<sub>5.1</sub>, T<sub>5.2</sub>, T<sub>5.3</sub>), описывающие основные технологические переходы для различных групп станков [4]. Тогда процесс металлообработки формально можно представить в виде последовательно связанных графов. Вершины графов при этом принимают за функциональные состояния станочного оборудования, включающие основные и вспомогательные технологические операции, а также простой оборудования по различным причинам (технические отказы, отсутствие фронта работ) (табл. 2). Дуги и стрелки при таком подходе будут отражать направленность выполнения операций и их взаимосвязь (см. табл. 3).

На основании графов технологических состояний станочного оборудования разработаны математические модели и алгоритмы моделирования технико-технологических подсистем металлообработки (табл. 3). Экспериментальной основой создания моделей послужило исследование статистических закономерностей распределения случайных величин протекания технологических процессов, наработки на отказ, времени ликвидации технических отказов для различных групп и типов станочного оборудования [5]. Синтез математических моделей подсистем позволил получить обобщенную модель функционирования станочного участка в виде системы логических уравнений, описывающих условия перехода одной технико-технологической подсистемы в другую. При этом учитывается, что подсистема T<sub>3</sub> включает подсистемы низшего уровня T<sub>3.1</sub>, T<sub>3.2</sub>, T<sub>3.3</sub>, T<sub>3.4</sub>, T<sub>3.5</sub>, а подсистемы T<sub>4</sub> и T<sub>5</sub> – соответственно подсистемы T<sub>4.1</sub>, T<sub>4.2</sub>, T<sub>4.3</sub>, T<sub>4.4</sub>, T<sub>4.5</sub>, T<sub>4.6</sub>, T<sub>4.7</sub> и T<sub>5.1</sub>, T<sub>5.2</sub>, T<sub>5.3</sub>. Таким образом, математическая модель функционирования станочного металлообрабатывающего участка примет следующий вид:

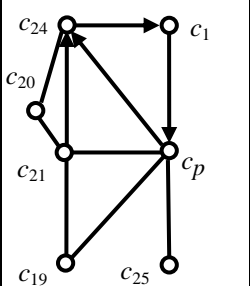
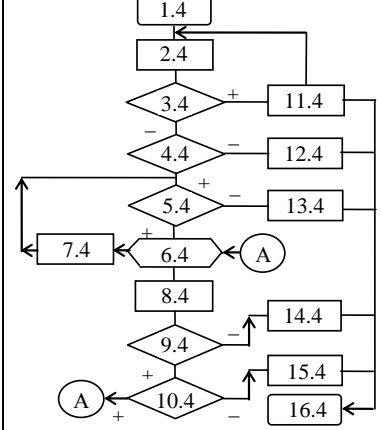
$$\left\{ \begin{array}{l}
 T_1, \text{ если } (T(t) = T_1) \cap N_{n3}(t) < N_{n3} \\
 T_2, \text{ если } (T(t) = T_2) \cap N_{om}(t) < N_{om} \cup (T(t) = T_1) \cap N_{n3}(t) \geq N_{n3} \\
 T_3(T_{3.1}), \text{ если } (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) < N_{on} \cup (T(t) = T_2) \cap N_{om}(t) \geq N_{om} \\
 T_3(T_{3.2}), \text{ если } (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) < N_{ooc} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.3}) \cap N_{\phi n}(t) \geq N_{\phi n} \\
 T_3(T_{3.3}), \text{ если } (T(t) = T_{3.3}) \cap N_{\phi n}(t) < N_{\phi n} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \\
 T_3(T_{3.4}), \text{ если } (T(t) = T_{3.4}) \cap N_{cn}(t) < N_{cn} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \\
 T_3(T_{3.5}), \text{ если } (T(t) = T_{3.5}) \cap N_{un}(t) < N_{un} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.3}) \cap N_{\phi n}(t) \geq \\
 \geq N_{\phi n} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \cup (T(t) = T_{5.1}) \cap N_{nm}(t) \geq N_{nm} \\
 T(t + \Delta t) = \\
 T_4(T_{4.1}), \text{ если } (T(t) = T_{4.1}) \cap N_{\text{нв}}(t) < N_{\text{нв}} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \\
 T_4(T_{4.2}), \text{ если } (T(t) = T_{4.2}) \cap N_{\text{ну}}(t) < N_{\text{ну}} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \\
 T_4(T_{4.3}), \text{ если } (T(t) = T_{4.3}) \cap N_{\text{нр}}(t) < N_{\text{нр}} \cup (T(t) = T_{3.1}) \cap N_{on}(t) \geq N_{on} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \\
 T_4(T_{4.4}), \text{ если } (T(t) = T_{4.4}) \cap N_{\text{но}}(t) < N_{\text{но}} \cup (T(t) = T_{3.2}) \cap N_{ooc}(t) \geq N_{ooc} \\
 T_4(T_{4.5}), \text{ если } (T(t) = T_{4.5}) \cap N_{\text{ув}}(t) < N_{\text{ув}} \cup (T(t) = T_{4.1}) \cap N_{\text{нв}}(t) \geq N_{\text{нв}} \cup (T(t) = T_{5.1}) \cap N_{nm}(t) \geq N_{nm} \\
 T_4(T_{4.6}), \text{ если } (T(t) = T_{4.6}) \cap N_{\text{уу}}(t) < N_{\text{уу}} \cup (T(t) = T_{4.2}) \cap N_{\text{ну}}(t) \geq N_{\text{ну}} \cup (T(t) = T_{5.1}) \cap N_{nm}(t) \geq N_{nm} \\
 T_4(T_{4.7}), \text{ если } (T(t) = T_{4.7}) \cap N_{\text{ур}}(t) < N_{\text{ур}} \cup (T(t) = T_{4.3}) \cap N_{\text{нр}}(t) \geq N_{\text{нр}} \cup (T(t) = T_{5.1}) \cap N_{nm}(t) \geq N_{nm} \\
 T_5(T_{5.1}), \text{ если } (T(t) = T_{5.1}) \cap N_{nm}(t) < N_{nm}
 \end{array} \right. \quad (1)$$

$T_5(T_{5.2})$ , если  $(T(t) = T_{5.2}) \cap N_{no}(t) < N_{no}$

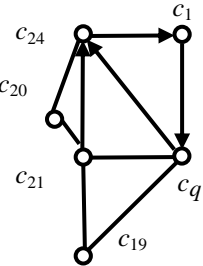
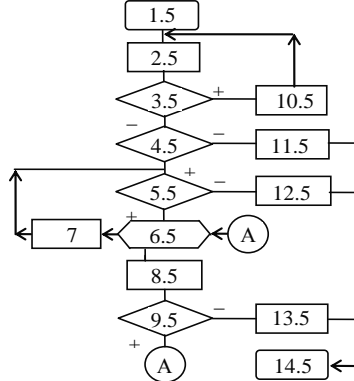
$T_5(T_{5.3})$ , если  $(T(t) = T_{5.3}) \cap N_{mk}(t) < N_{mk}$

Модели и алгоритмы моделирования технико-технологических подсистем (ТТП)

ТТП	Граф технологического состояния оборудования	Математическая модель: $C(t+\Delta t)=$	Алгоритм моделирования
Т <sub>1</sub>		$  \begin{cases}  C_1, \text{ если } (C(t)=C_1) \wedge (t_{n30}(t) < T_{n30}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{24}) \wedge (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd}); \\  C_2, \text{ если } (C(t)=C_2) \wedge (t_{o6p}(t) < T_{o6p}) \wedge (N_{n3}(t) < N_{n3}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_1) \wedge (t_{n30}(t) \geq T_{n30}) \cup \\  \cup (C(t)=C_{25}) \wedge (t_{ko}(t) \geq T_{ko}) \cup (C(t)=C_{19}) \wedge (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\  C_{25}, \text{ если } (C(t)=C_{25}) \wedge (t_{ko}(t) < T_{ko}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_2) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}); \\  C_{19}, \text{ если } (C(t)=C_{19}) \wedge (t_{omn}(t) < T_{omn}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=0) \cup (\beta(t)=1) \cup (C(t)=C_2) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup \\  \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\  C_{21}, \text{ если } (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) < T_{c3}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_2) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{19}) \wedge \\  \wedge (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{20}) \wedge (t_{no}(t) \geq T_{no}); \\  C_{20}, \text{ если } (C(t)=C_{20}) \wedge (t_{no}(t) < T_{no}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{24}) \wedge \\  \wedge (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd}); \\  C_{24}, \text{ если } (C(t)=C_{24}) \wedge (t_{cnd}(t) < T_{cnd}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_2) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{20}) \wedge \\  \wedge (t_{no}(t) \geq T_{no}) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\  \text{где } C \in (C_1, C_2, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{24}, C_{25})  \end{cases}  $	
Т <sub>2</sub>		$  \begin{cases}  C_1, \text{ если } (C(t)=C_1) \wedge (t_{n30}(t) < T_{n30}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{24}) \wedge (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd}); \\  C_3, \text{ если } (C(t)=C_3) \wedge (t_{o6p}(t) < T_{o6p}) \wedge (N_{n3}(t) < N_{n3}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_1) \wedge (t_{n30}(t) \geq T_{n30}) \cup \\  \cup (C(t)=C_{19}) \wedge (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{25}) \wedge (t_{ko}(t) \geq T_{ko}); \\  C_{25}, \text{ если } (C(t)=C_{25}) \wedge (t_{ko}(t) < T_{ko}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_3) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_5) \wedge \\  \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}); \\  C_5, \text{ если } (C(t)=C_5) \wedge (t_{o6p}(t) < T_{o6p}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_3) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{19}) \wedge \\  \wedge (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{25}) \wedge (t_{ko}(t) \geq T_{ko}); \\  C_{19}, \text{ если } (C(t)=C_{19}) \wedge (t_{omn}(t) < T_{omn}) \wedge (\beta(t)=0) \wedge (\alpha(t)=0) \cup (\beta(t)=1) \cup (C(t)=C_3) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup \\  \cup (C(t)=C_5) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\  C_{21}, \text{ если } (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) < T_{c3}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_3) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_5) \wedge \\  \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{19}) \wedge (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{20}) \wedge (t_{no}(t) \geq T_{no}); \\  C_{20}, \text{ если } (C(t)=C_{20}) \wedge (t_{no}(t) < T_{no}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{24}) \wedge \\  \wedge (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd}); \\  C_{24}, \text{ если } (C(t)=C_{24}) \wedge (t_{cnd}(t) < T_{cnd}) \wedge (\beta(t)=1) \wedge (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_3) \wedge (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{20}) \wedge \\  \wedge (t_{no}(t) \geq T_{no}) \cup (C(t)=C_{21}) \wedge (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\  \text{где } C \in (C_1, C_3, C_5, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{24}, C_{25})  \end{cases}  $	

ТПП	Граф технологического состояния оборудования	Математическая модель: $C(t+\Delta t)=$	Алгоритм моделирования
T <sub>3</sub>	 <p><math>c_n (C_4, C_5, C_6, C_7, C_8)</math></p>	<p> <math>C_{1,}</math> если <math>(C(t)=C_1) \cap (t_{n30}(t) &lt; T_{n30}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd});</math>  <math>C_n,</math> если <math>(C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) &lt; T_{o6p}) \cap (N_{n3}(t) &lt; N_{n3}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_1) \cap (t_{n30}(t) \geq T_{n30}) \cup (C(t)=C_{25}) \cap (t_{ko}(t) \geq T_{ko}) \cup (C(t)=C_{22}) \cap (t_{cu}(t) \geq T_{cu}) \cup (C(t)=C_{23}) \cap (t_{cc6}(t) \geq T_{cc6}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3});</math>  <math>C_{25,}</math> если <math>(C(t)=C_{25}) \cap (t_{ko}(t) &lt; T_{ko}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p});</math>  <math>C_{22,}</math> если <math>(C(t)=C_{22}) \cap (t_{cu}(t) &lt; T_{cu}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{25}) \cap (t_{ko}(t) \geq T_{ko}) \cup (C(t)=C_{23}) \cap (t_{cc6}(t) \geq T_{cc6}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn});</math>  <math>C_{23,}</math> если <math>(C(t)=C_{23}) \cap (t_{cc6}(t) &lt; T_{cc6}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{22}) \cap (t_{cu}(t) \geq T_{cu}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn});</math>  <math>C_{19,}</math> если <math>(C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) &lt; T_{omn}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=0) \cup (\beta(t)=1) \cup (C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{23}) \cap (t_{cc6}(t) \geq T_{cc6}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{22}) \cap (t_{cu}(t) \geq T_{cu});</math>  <math>C_{21,}</math> если <math>(C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) &lt; T_{c3}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup C(t)=C_{20} \cap (t_{no}(t) \geq T_{no});</math>  <math>C_{20,}</math> если <math>(C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) &lt; T_{no}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd});</math>  <math>C_{24,}</math> если <math>(C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) &lt; T_{cnd}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_n) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) \geq T_{no}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3});</math>          где <math>C \in (C_1, C_n, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}); C_n \in (C_4, C_5, C_6, C_7, C_8)</math> </p>	
T <sub>4</sub>	 <p><math>c_n (C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15})</math></p>	<p> <math>C_{1,}</math> если <math>(C(t)=C_1) \cap (t_{n30}(t) &lt; T_{n30}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd});</math>  <math>C_p,</math> если <math>(C(t)=C_p) \cap (t_{o6p}(t) &lt; T_{o6p}) \cap (N_{n3}(t) &lt; N_{n3}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_1) \cap (t_{n30}(t) \geq T_{n30}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{25}) \cap (t_{ko}(t) \geq T_{ko});</math>  <math>C_{25,}</math> если <math>(C(t)=C_{25}) \cap (t_{ko}(t) &lt; T_{ko}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_p) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p});</math>  <math>C_{19,}</math> если <math>(C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) &lt; T_{omn}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=0) \cup (\beta(t)=1) \cup (C(t)=C_p) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3});</math>  <math>C_{21,}</math> если <math>(C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) &lt; T_{c3}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_p) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) \geq T_{no});</math>  <math>C_{20,}</math> если <math>(C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) &lt; T_{no}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd});</math>  <math>C_{24,}</math> если <math>(C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) &lt; T_{cnd}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_p) \cap (t_{o6p}(t) \geq T_{o6p}) \cup (C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) \geq T_{no}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3});</math>          где <math>C \in (C_1, C_p, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{24}, C_{25}); C_p \in (C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15})</math> </p>	



ТТП	Граф технологического состояния оборудования	Математическая модель: $C(t+\Delta t)=$	Алгоритм моделирования
$T_5$	 <p><math>c_q (c_{16}, c_{17}, c_{18})</math></p>	$\left\{ \begin{array}{l} C_1, \text{ если } (C(t)=C_1) \cap (t_{n30}(t) < T_{n30}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd}); \\ C_q, \text{ если } (C(t)=C_q) \cap (t_{obp}(t) < T_{obp}) \cap (N_{n3}(t) < N_{n3}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_1) \cap (t_{n30}(t) \geq T_{n30}) \cup \\ \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\ C_{19}, \text{ если } (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) < T_{omn}) \cap (\beta(t)=0) \cap (\alpha(t)=0) \cup (\beta(t)=1) \cup (C(t)=C_q) \cap (t_{obp}(t) \geq T_{obp}) \cup \\ (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \\ C_{21}, \text{ если } (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) < T_{c3}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_q) \cap (t_{obp}(t) \geq T_{obp}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{omn}(t) \geq \\ \geq T_{omn}) \cup (C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) \geq T_{no}); \\ C_{20}, \text{ если } (C(t)=C_{20}) \cap (t_{no}(t) < T_{no}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}) \cup (C(t)=C_{24}) \cap \\ \cap (t_{cnd}(t) \geq T_{cnd}); \\ C_{24}, \text{ если } (C(t)=C_{24}) \cap (t_{cnd}(t) < T_{cnd}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cup (C(t)=C_q) \cap (t_{obp}(t) \geq T_{obp}) \cup (C(t)=C_{20}) \cap \\ \cap (t_{no}(t) \geq T_{no}) \cup (C(t)=C_{21}) \cap (t_{c3}(t) \geq T_{c3}); \end{array} \right.$ <p>где <math>C \in (C_1, C_3, C_5, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{24}, C_{25})</math>; <math>C_q \in (C_{16}, C_{17}, C_{18})</math></p>	

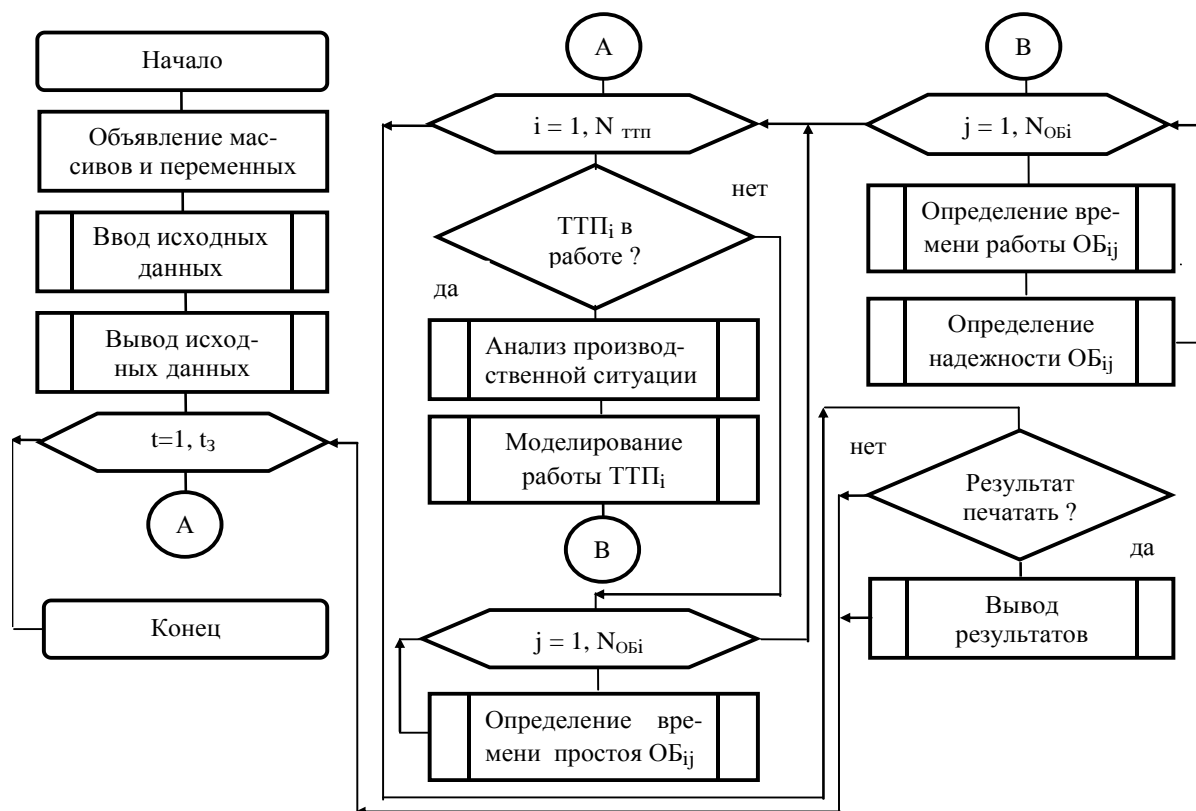
**В математических моделях (табл. 3):**  $t$  и  $\Delta t$  – произвольный момент и шаг приращения времени моделирования;  $N_{n3}(t)$  – случайная функция количества полученных заготовок;  $N_{n3}$  – необходимое количество заготовок для данной партии деталей;  $\alpha(t)$  – случайная функция, характеризующая работоспособность оборудования (0 – не работает, 1 – работает);  $\beta(t)$  – случайная функция, характеризующая степень обработки поверхности детали (0 – не обработана, 1 – обработана);  $t_{n30}(t)$ ,  $t_{cnd}(t)$ ,  $t_{obp}(t)$ ,  $t_{cu}(t)$ ,  $t_{ccb}(t)$ ,  $t_{ko}(t)$ ,  $t_{omn}(t)$ ,  $t_{c3}(t)$ ,  $t_{no}(t)$  – случайные функции времени выполнения: подготовительно-заключительной операции, смены партии деталей, обработки детали на соответствующем переходе, смены инструмента, смены схемы базирования, контрольной операции, отказа по техническим причинам, смены заготовки, простоя оборудования (из-за отсутствия фронта работ);  $T_{n30}$ ,  $T_{cnd}$ ,  $T_{obp}$ ,  $T_{cu}$ ,  $T_{ccb}$ ,  $T_{ko}$ ,  $T_{omn}$ ,  $T_{c3}$ ,  $T_{no}$  – регламентированное значение времени: выполнения подготовительно-заключительной операции, смены партии деталей, обработки детали на соответствующем переходе, смены инструмента, смены схемы базирования, контрольной операции, отказа по техническим причинам, смены заготовки, простоя оборудования (из-за отсутствия фронта работ).

**В математической модели (1):**  $N_{n3}(t)$ ,  $N_{om}(t)$ ,  $N_{on}(t)$ ,  $N_{oo}(t)$ ,  $N_{fn}(t)$ ,  $N_{cn}(t)$ ,  $N_{un}(t)$ ,  $N_{nm}(t)$ ,  $N_{nz}(t)$ ,  $N_{no}(t)$ ,  $N_{nu}(t)$ ,  $N_{np}(t)$ ,  $N_{nuz}(t)$ ,  $N_{nuu}(t)$ ,  $N_{npr}(t)$ ,  $N_{nd}(t)$ ,  $N_{mk}(t)$  – случайные функции: количества полученных заготовок, обрабатываемых торцов, обтачиваемых поверхностей, обрабатываемых отверстий, фрезеруемых, строгаемых, шлифуемых поверхностей, поверхностей термообработки, нарезаемых зубьев, протягиваемых отверстий, нарезаемых шлицев, витков резьбы, шлифуемых зубьев, шлицев, витков резьбы, промываемых деталей, деталей, подвергающихся техническому контролю;  $N_{n3}$ ,  $N_{om}$ ,  $N_{on}$ ,  $N_{oo}$ ,  $N_{fn}$ ,  $N_{cn}$ ,  $N_{un}$ ,  $N_{nm}$ ,  $N_{nz}$ ,  $N_{no}$ ,  $N_{nu}$ ,  $N_{np}$ ,  $N_{nuz}$ ,  $N_{nuu}$ ,  $N_{npr}$ ,  $N_{nd}$ ,  $N_{mk}$  – необходимое количество для данной партии деталей: заготовок, обрабатываемых торцов, обтачиваемых поверхностей, обрабатываемых отверстий, фрезеруемых, строгаемых, шлифуемых поверхностей, поверхностей термообработки, нарезаемых зубьев, протягиваемых отверстий, нарезаемых шлицев, витков резьбы, шлифуемых зубьев, шлицев, витков резьбы, промываемых деталей, деталей, подвергающихся техническому контролю.

**На блок-схемах в алгоритмах моделирования (табл. 3):** 1.1...15.1, 2.1...2.18, 3.1...3.20, 4.1...4.16, 5.1...5.14 – первая цифра в нумерации блоков-модулей обозначает порядковый номер следования блоков, вторая – принадлежность к соответствующей ТТП; 1.1...1.5 – начало алгоритма; 2.1...2.5 – объявление массивов и переменных; 3.1...3.5 – выполнение проверки последовательно по трем условиям: смена партии деталей произведена?, предварительно-заключительная операция (ПЗО) выполнена?, смена заготовки (СЗ) произведена?; 6.3...6.5 – задание цикла реализации технологических переходов; 6.1, 6.2, 8.3...8.5, 9.2 – генерирование времени выполнения технологической операции (ТО); 7.1, 7.2, 10.2, 9.3...9.5 – выполнение проверки: ТО выполнена? 8.1, 8.2, 10.3, 10.4 – выполнение проверки: контрольная операция (КО) выполнена? 9.1, 11.2, 7.3...7.5 – определение оставшегося времени моделирования; 10.3, 10.4 – выполнение проверки последовательно по двум условиям: инструмент меняется?, схема базирования меняется?; 10.1, 12.2, 13.3, 11.4, 10.5 – корректировка исходных данных; 11.1, 13.2, 14.3, 12.4, 11.5 – определение времени ПЗО; 12.1, 14.2, 15.3, 13.4, 12.5 – определение времени СЗ; 13.1, 15.2, 17.2, 16.3, 14.4, 13.5 – определение времени ТО; 14.1, 16.2, 17.3, 15.4 – определение времени КО; 18.3, 19.3 – определение времени смены инструмента и схемы базирования; 15.1, 18.2, 20.3; 16.4, 14.5 – конец алгоритма.

Для того чтобы реализовать на ЭВМ обобщенную имитационную модель сложной системы, необходимо синтезировать ее из отдельных алгоритмов (модулей), описывающих функционирование компонент системы (см. табл. 3). Одним из основных вопросов, возникающих при синтезе модели, является вопрос о принципах построения моделирующих алгоритмов основных и вспомогательных модулей. Этот принцип выбирается из известных существующих принципов: « $\Delta t$ », «особых состояний», «последовательной проводки заявок» [3]. При разработке имитационной модели использованы два принципа: « $\Delta t$ » (для программирования вспомогательных модулей, которые должны отражать взаимосвязи между подсистемами, а также организацию и технологию обработки) и принцип «особых состояний» (для программирования технико-технологических подсистем, являясь весьма удобным и экономичным в отношении машинного времени).

Обобщенный алгоритм имитационной модели, представленный на рисунке, начинает работу с управляющей программы, в которой резервируются поля памяти под массивы и переменные, обнуляются их начальные значения. Для работы генератора случайных чисел определяются их случайные начальные значения. Затем управляющая программа обращается к модулям ввода и вывода исходных данных, включает счетчик модельного времени  $t$ , который будет наращиваться с шагом  $\Delta t$  до заданного значения времени моделирования  $t_3$ .



Алгоритм имитационного моделирования станочного металлообрабатывающего участка

На каждом шаге проверяется, функционирует ли  $i$ -я технико-технологическая подсистема. Если да, то для моделирования процессов в  $TTP_i$  и анализа производственной ситуации задается цикл по перебору всех  $TTP_i$  ( $i = 1, N_{mnn}$ ). Если нет, то в цикле определяется время простоя каждой единицы станочного оборудования  $Об_{ij}$  с фиксацией причины простоя (отказ оборудования по техническим причинам, простой оборудования из-за отсутствия фронта работ). Следующим этапом работы алгоритма является еще один цикл просмотра всего оборудования, задействованного в  $TTP_i$  ( $j = 1, N_{Обi}$ ). Для каждого станка определяются

время работы и его надежность. Установление надежности осуществляется путем моделирования наработки на отказ и времени восстановления соответствующего технологического оборудования. После этого проверяется: нужно ли выводить на печать информацию, сложившуюся на момент времени  $t$ ? Если да, то подключается модуль «Вывод результатов».

Если нет, то сразу переходим на цикл по наращиванию модельного времени  $t_3$ . Процесс моделирования заканчивается по достижении заданной величины  $t_3$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов / Г.А. Шаумян. М.: Машиностроение, 1983. 636 с.
2. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий. Л.: Машиностроение, 1990. 588 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. М.: Наука, 1978. 401 с.
4. Формализация процессов металлообработки при компьютерной имитации станочных участков / А.А. Эпов, П.В. Ольштынский, Я.Н. Отений, А.Н. Зайцев // Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия: материалы Второго Междунар. симпозиума. Орел: ОрелГТУ, 2003. С. 139-142.
5. Смольников Н.Я. Компьютерное статистическое моделирование временных параметров функционирования станочного оборудования / Н.Я. Смольников, А.А. Эпов, А.Н. Зайцев // Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы III Всерос. конф. Камышин: КТИ ВолгГТУ, 2005. С. 55-58.

**Отений Ярослав Николаевич** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Камышинского технологического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета

**Эпов Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика» Камышинского технологического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета

**Ломкова Елена Николаевна** – старший преподаватель кафедры «Информатика» Камышинского технологического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета

**Казначеева Анастасия Александровна** – старший преподаватель кафедры «Информатика» Камышинского технологического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета

**Oteniy Yaroslav Nikolayevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Technology of Machine Building» of Kamyshynsk Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University

**Epov Aleksandr Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of the Department of «Information science» of Kamyshynsk Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University

**Lomkova Yelena Nikolayevna** – Senior Lecturer of the Department of «Information science» of Kamyshynsk Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University

**Kaznachejeva Anastasiya Aleksandrovna** – Senior Lecturer of the Department of «Information science» of Kamyshynsk Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University

*Статья поступила в редакцию 09.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

---

УДК 378; 378.1

**А.Н. Васин**

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА – ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

*Рассматриваются вопросы актуальности реформирования современного образования, на базе широкомасштабных федеральных программ создания единой информационно-образовательной среды в образовательных учреждениях; участие Саратовского государственного технического университета в реализации этих задач.*

Образовательная среда, информационные технологии.

**A.N. Vasin**

### **INFORMATION EDUCATIONAL ENVIRONMENT – THE WAY TO EDUCATIONAL PROCESS EFFICIENCY INCREASE**

*The questions of modern education reformation urgency are considered here by the author, on the basis of large-scale federal programs of creation of the uniform information educational environment in educational establishments; participation of Saratov State Technical University in realization of these tasks.*

Educational environment, information technologies.

Стремительно развивающаяся научно-техническая революция стала основой глобального процесса информатизации всех сфер жизни общества. Уровень и темпы информационно-технологического развития во многом определяют состояние экономики, качество жизни людей, национальную безопасность, роль страны в мировом сообществе.

В условиях динамично меняющегося мира, глобальной взаимозависимости и конкуренции, необходимости широкого использования и постоянного развития и усложнения технологий, фундаментальное значение имеет информатизация сферы образования.

Содержание и качество образования, его доступность, соответствие потребностям конкретной личности в решающей степени определяют состояние интеллектуального потенциала современного общества.

Интенсивное развитие сферы образования на основе использования информационных и телекоммуникационных технологий становится важнейшим национальным приоритетом.

Во всех развитых и во многих развивающихся странах осуществляются широкомащтабные программы информатизации образования.

В нашей стране, в соответствии с поручением Президента РФ от 29.12.2000 г. № Пр-2582 и поручением Правительства РФ от 06.01.2001 г. № МК-П8-00267 была разработана и утверждена Постановлениями Правительства Российской Федерации от 28.08.2001 г. № 630 и от 23.10.2002 г. № 767 Федеральная целевая программа «Развитие единой образовательной информационной среды (ФЦП РЕОИС) на 2001-2005 годы». В качестве цели было сформулировано: создание и развитие в Российской Федерации единой образовательной информационной среды, обеспечивающей:

- единство образовательного пространства на всей территории страны;
- повышение качества образования во всех регионах России;
- сохранение, развитие и эффективное использование научно-педагогического потенциала страны;
- создание условий для поэтапного перехода к новому уровню образования на основе информационных технологий;
- создание условий для предоставления российских образовательных услуг русскоязычному населению за рубежом.

Результатами реализации Программы ожидалось:

- 1) создание основ единой образовательной информационной среды, обеспечивающей:
  - доступ учащихся и преподавателей учебных заведений профессионального образования к высококачественным локальным и сетевым образовательным информационным ресурсам, в том числе к системе современных электронных учебных материалов по основным предметам;
  - возможность проведения тестирования и оценки качества образования с использованием специализированного программного обеспечения на всей территории Российской Федерации;
  - методическая поддержка и возможность непрерывного повышения квалификации преподавателей образовательных учреждений всех уровней;
  - подключение вузов к глобальным информационным ресурсам по высокоскоростным каналам;
  - поэтапный переход к новой организации российского образования на основе информационных технологий и др.;
- 2) достижение отвечающего современным требованиям уровня подготовки российских преподавателей в области информационных технологий;
- 3) повышение качества обучения в образовательных учреждениях путем организации их доступа к существующим образовательным ресурсам, рационального использования педагогических кадров высшей квалификации, подготовки специалистов в области новых информационных технологий;
- 4) создание сети ресурсных центров, обеспечивающих информационную и научно-методическую поддержку учебного процесса, обслуживание аппаратно-программных средств, оказание консультационных услуг;
- 5) развитие фундаментальных и прикладных исследований для реализации задачи, формулой которой является «образование через всю жизнь», и др.

Основой образовательной системы является высококачественная и высокотехнологичная информационно-образовательная среда. Ее создание и развитие представляют технически сложную и дорогостоящую задачу. Но именно она позволяет системе образования коренным образом модернизировать свой технологический базис, перейти к образовательной

информационной технологии в широком смысле этого слова и осуществить прорыв к открытой образовательной системе, отвечающей современным требованиям. Электронные и традиционные учебные материалы должны гармонично дополнять друг друга как части единой образовательной среды. Использование новейших информационных технологий должно способствовать решению педагогических задач, которые сложно или невозможно решать традиционными методами.

Для создания и развития информационно-образовательной среды должен быть полностью задействован научно-методический, информационный, технологический, организационный и педагогический потенциал, накопленный отечественной системой образования. При этом нельзя допустить разрушения сложившейся системы, утраты положительных результатов российского образования. Используя опыт и достоинства сложившейся образовательной системы, имеющей глубокие традиции, необходимо выстроить новую открытую образовательную систему, интегрирующую все доступные информационные технологии, обеспечить переход преподавателей к сознательному использованию методических и информационных средств в полном объеме.

Широкое распространение новых информационных технологий сформировало необходимые предпосылки для создания электронных библиотек как средства накопления и распространения информационных и методических ресурсов. Благодаря интенсивно развивающейся сетевой инфраструктуре эти ресурсы становятся все более доступными любому пользователю сети и открывают неограниченные перспективы расширения аудитории обучающихся. В составе электронных библиотек должны быть сформированы тематические базы обучающихся, справочных, иллюстративных, каталогизированных материалов для обеспечения адресного поиска и свободного доступа к ним через глобальные сети.

В целях обеспечения надлежащего качества средств информационных технологий учебного назначения должны быть выполнены работы по созданию нормативных документов по стандартизации в области образования, информационных технологий, информационной поддержки образования, развития телекоммуникационных сетей, открытых систем, систем передачи, хранения и обработки данных, учитывающие сложившуюся международную практику в этой области. Указанные работы должны осуществляться (и уже реализуются) в рамках Федеральной программы развития образования и Федеральной целевой программы «Электронная Россия».

Доктрина информационной безопасности Российской Федерации ставит перед системой образования такие задачи, как развитие системы подготовки кадров, обучение культуре работы с информацией и многие другие.

В рамках модернизации образования, обновления содержания образования, методов и форм организации учебного процесса должен быть сформирован перечень необходимых электронных средств обучения с учетом интеграции их с учебными средствами на традиционных носителях. Разработка электронных учебных материалов должна основываться на новейших технологиях, дающих возможность решать такие педагогические задачи, которые невозможно решить традиционными методами.

С учетом специфики отдельных вузов и большого числа специальностей значительное количество учебных электронных материалов для обучающихся должно готовиться силами самих высших учебных заведений в соответствии с государственными стандартами высшего профессионального образования.

Повышение квалификации и профессиональная переподготовка преподавателей должны включать не только обучение работе с компьютером, но и освоение новых методов работы в преподавании учебных дисциплин. Они должны носить практический характер, направленный на использование опыта практического применения информационных и телекоммуникационных технологий.

Цель политики модернизации образования в среднесрочной перспективе состоит в обеспечении конкурентоспособности России на мировом уровне. Указанная цель достижима, если в ближайшие годы обеспечить оптимальное соотношение затрат и качества в сферах образования и науки. Для этого необходимо внедрить в систему образования новые организационно-экономические механизмы, обеспечивающие эффективное использование имеющихся ресурсов и способствующие привлечению дополнительных средств, повысить качество образования на основе обновления его структуры, содержания и технологий обучения, привлечь в сферу образования квалифицированных специалистов, повысить его инновационный потенциал и инвестиционную привлекательность.

Задачи, направленные на обеспечение качества, доступности и эффективности образования, определены в Концепции модернизации российского образования на период до 2010 года. Применительно к периоду действия Программы они сводятся к следующему:

- развитие современной системы непрерывного образования;
- повышение качества профессионального образования;
- обеспечение доступности качественного общего образования;
- повышение инвестиционной привлекательности сферы образования;
- формирование эффективного рынка образовательных услуг и переход на принципы подушевого финансирования.

Федеральная целевая программа «Развитие единой образовательной информационной среды (ФЦП РЕОИС) на 2001-2005 годы» создала условия для поэтапного перехода к новому уровню образования на основе информационных технологий. Благодаря мерам, принятым в 2001-2005 годах в рамках реализации Концепции, была создана база для решения новых задач, направленных на усиление роли образования в социально-экономическом развитии страны:

- приведение содержания образования, технологий обучения и методов оценки качества образования в соответствие с требованиями современного общества;
- разработка механизмов управления, адекватных задачам развития системы образования;
- создание экономических механизмов, обеспечивающих инвестиционную привлекательность сферы образования.

Организационной основой реализации государственной политики Российской Федерации в сфере образования стала Федеральная целевая программа развития образования на 2006-2010 годы (ФЦПРО), обеспечивающая продолжение модернизации российского образования.

В соответствии с ФЦП РЕОИС и ФЦПРО в СГТУ была разработана и принята на ректорате, протокол № 1-31 от 17.02.09 г., «Программа создания информационно-образовательной среды в СГТУ».

Целью Программы ИОС является повышение качества образования в университете в соответствии с международными стандартами качества, государственными образовательными стандартами, концепцией модернизации российского образования, требованиями аккредитационных процедур.

Чтобы достичь поставленной цели, необходимо решить целый ряд сложных и важных задач. Решение этих задач рассчитано на несколько лет и потребует напряженной работы практически всего преподавательского состава университета и значительной части сотрудников.

Для решения этих задач составлен План мероприятий по разработке и внедрению «Программы создания информационно-образовательной среды в СГТУ». Он включает в себя 8 этапов. **Первым**, и одним из самых трудоемких этапов, является этап, связанный с формированием **электронных учебно-методических комплексов дисциплин (ЭУМКД)**. Для ре-

лизации этого этапа было разработано и принято постановлением Ученого совета СГТУ № 5 от 29 мая 2009 г. «Положение об учебно-методическом комплексе», разработаны методические указания по использованию информационно-образовательной среды и издан приказ ректора за № 703-П от 16.06.2009 г., предписывающий до конца 2010 г. завершить подготовку электронных УМКД по всем дисциплинам федерального компонента.

**Второй и пятый** этапы носят больше технический характер – это подготовка портала университета для получения доступа к информационно-образовательным ресурсам и программно-техническое обеспечение информационно-образовательной среды – определение потребности в технических средствах, их приобретение и оборудование новых мультимедийных аудиторий.

**Третий** этап связан с уже действующим в настоящее время пилотным проектом, использующим на МФ ПИТ программные средства *Microsoft E-Learning Gateway*. С 1 сентября 2009 года на этом факультете проводятся занятия с использованием разработанных в рамках пилотного проекта электронных УМК, а по окончании зимней промежуточной аттестации полученные результаты будут проанализированы и принято окончательное решение о возможности использования программных средств *Microsoft E-Learning Gateway* в рамках всего университета.

**Четвертый этап** связан с разработкой системы соблюдения авторских прав на результаты интеллектуальной деятельности сотрудников университета. Этим вопросом занимается наше правовое управление.

Разработкой программы формирования электронной библиотеки на **шестом** этапе занимается группа, состоящая из сотрудников управления информатизации и телекоммуникаций и научно-технической библиотеки СГТУ.

Очень непросто видится и **седьмой этап**, планирующий разработку программы создания электронного издательства в нашем университете.

Заканчивается проект Программы **восьмым этапом** – анализом результатов реализации разработанных мероприятий и разработкой программы дальнейших действий.

Таким образом, реализация мероприятий Программы создания ИОС в нашем университете позволит в полной мере сформировать среду, необходимую для внедрения современных образовательных технологий в учебный процесс на основе комплексной взаимосвязи с Федеральными программами информатизации образования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 августа 2001 г. № 630 «О Федеральной целевой программе «Развитие единой образовательной информационной среды (2001-2005 годы)»»
2. Постановление Правительства РФ от 23 декабря 2005 г. № 803 «О Федеральной целевой программе развития образования на 2006 - 2010 годы» (с изменениями от 5 мая 2007 г., 24 марта 2008 г.)
3. Федеральная целевая программа развития образования на 2006-2010 годы (утв. Постановлением Правительства РФ от 23 декабря 2005 г. № 803) (с изменениями от 5 мая 2007 г., 24 марта 2008 г.)

**Васин Алексей Николаевич** –  
доктор технических наук, начальник  
Управления контроля качества образования  
Саратовского государственного  
технического университета

**Vasin Aleksey Nikolayevich** –  
Doctor of Technical Sciences,  
Head of Department  
of «Education Quality Control Management»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 16.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*



УДК 004.896, 007.51, 519.71

**О.А. Иванникова****СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД В СОЗДАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗДАНИЯ**

*Рассматривается возможность применения ситуационного подхода для создания математической модели интеллектуального здания. Приведены общие схемы управления объектом при традиционном подходе к системе автоматического управления, а также с учетом принципов ситуационного управления. Указаны основные свойства интеллектуального здания как нетрадиционного объекта управления. Поставлена задача ситуационного управления и приведена схема ее решения. Сделаны выводы о целесообразности применения данного метода наряду с другими методами управления.*

Математическая модель, ситуационное управление, идентификация объекта, критерии управления, текущая ситуация, полная ситуация, одношаговые решения, корреляционные правила, процедуры классификации, Анализатор, Классификатор, Экстраполятор, Коррелятор, Блок случайного выбора.

**О.А. Ivannikova****THE SITUATIONAL APPROACH IN CREATION OF MATHEMATICAL MODEL OF AN INTELLECTUAL BUILDING**

*Possibility of application of the situational approach for creation of mathematical model of an intellectual building is considered. The general schemes of management are resulted by object at the traditional approach in automatic control system, and also taking into account principles of situational management. The basic properties of an intellectual building as nonconventional object of management are specified. The task in view of situational management also is resulted the scheme of its decision. Conclusions are drawn on expediency of application of the given method along with other management methods.*

Mathematical model, situational management, object identification, criteria of management, the current situation, full situation, single-step decisions, correlation rules, classification procedures, Analyzer, Qualifier, Extrapolator, Correlator, casual choice Block.

Построение математической модели интеллектуального здания с распределенными параметрами позволяет оценить степень влияния этих параметров как на объект управления в целом, так и на отдельные составляющие его подсистемы, а также определить качественный и количественный состав этих параметров и их значений в разных точках объекта и моментах времени.

Рассмотрим схему управления на рис. 1 [1].

Здесь  $x_n$  – воздействующие на объект входы, значение которых можно оценить в каждый момент времени;  $w_r$  – входы, значение которых неизвестно (отсутствие датчиков, физическая невозможность измерения, дороговизна измерения);  $y_m$  – выход ОУ;  $u_k$  – управляющее воздействие, подаваемое от СУ на ОУ;  $Z$  – корректирующий вектор, с помощью которого оператор вносит изменения в СУ.

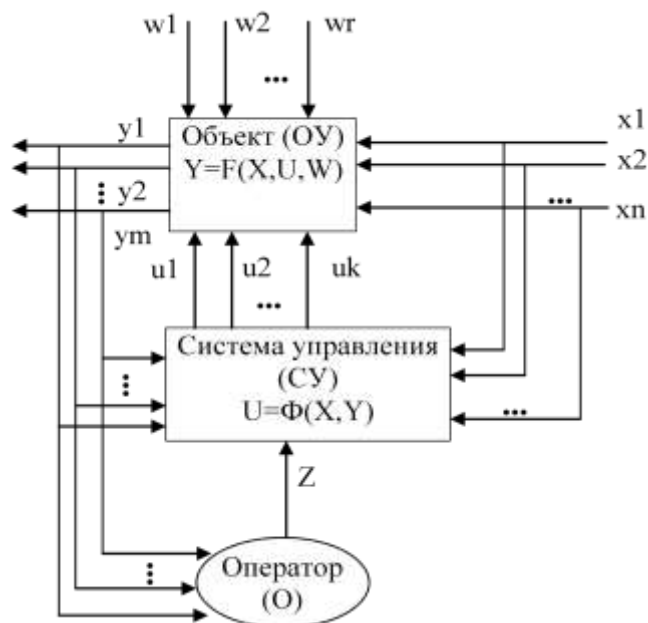


Рис. 1. Общая схема управления объектом

Задача Оператора состоит в создании такой системы управления, чтобы при наличии информации о текущих значениях  $X$  (при этом информация о значениях  $W$  СУ недоступна) добиться необходимых значений  $Y$ . Таким образом, СУ реализует некоторую зависимость вида:

$$U = \Phi(X, Y), \quad (1)$$

с помощью которой она находит необходимые управляющие воздействия на объект. Следовательно, функция, описывающая ОУ, имеет следующий вид:

$$Y = F(X, W, U). \quad (2)$$

Таким образом, для того, чтобы Оператор мог построить удовлетворяющую его СУ, он должен знать следующее: множество предпочтительных векторов  $Y$  и как задано отображение  $F$ . При этом отображение  $F$  описывает функционирование ОУ, а знание предпочтительных значений  $Y$  говорит о понимании цели его функционирования.

Так возникает цепочка: описание объекта управления (т.е. его структуры и функционирования) – описание целей существования объекта управления – формирование критерия управления им, в котором воплощаются требования к системе управления – на основе этого проектирование и создание системы управления (заключительный этап).

При проектировании и создании системы управления интеллектуальным зданием одними из ключевых задач являются идентификация объекта и выявление критериев управления им. Но интеллектуальное здание как объект управления обладает рядом свойств, затрудняющих выполнение этих задач [3-5]:

1. Уникальность – каждый объект обладает такой структурой и функционирует так, что система управления им должна строиться с учетом его качеств и к нему нельзя применить какую-либо типовую стандартную процедуру управления.

2. Отсутствие формализуемой цели существования приводит к реализации различных критериев управления.

3. Отсутствие оптимальности – критерии управления являются субъективными, целиком зависящими от Оператора.

4. Динамичность – объект является живой системой, с изменяющейся с течением времени структурой и функциями (перепланировка здания, изменение его функционального назначения или условий его функционирования).

5. Неполнота описания – отсутствие полной информации, которой заведомо хватило бы для создания системы управления объектом (многообразие инженерных систем, технология специализированных процессов, описание всех возможных состояний объекта).

6. Наличие свободы воли – в управлении интеллектуальным зданием люди являются элементами его структуры, они функционируют в нем с учетом своих личных интересов и целей. Их индивидуальное поведение практически невозможно учесть при создании системы управления, и требуются специальные приемы для нейтрализации их воздействия на функционирование объекта управления.

Итак, проблема описания интеллектуального здания как уникального объекта управления состоит в учете в этом описании не только его специфической структуры и функционирования, но и поведения людей, и возможности эволюции объекта во времени. Поэтому именно применение ситуационного подхода в создании математической модели интеллектуального здания дает возможность описывать на едином языке как сам объект управления и его функционирование, так и процедуру управления им.

Рассмотрим постановку задачи управления сложными объектами [1-2]:

1. Будем называть текущей ситуацией на объекте управления совокупность всех сведений о структуре объекта управления и его функционировании в данный момент времени и обозначать текущую ситуацию через  $Q_j$ , где  $j$  – отличительный номер ситуации.

2. Будем называть полной ситуацией на объекте управления совокупность, состоящую из текущей ситуации, знаний о состоянии системы управления в данный момент и знаний о технологии управления, и обозначать текущую ситуацию через  $S_i$ , где  $i$  – отличительный номер ситуации.

3. Пусть в распоряжении системы управления имеется  $n$  различных способов воздействия на объект управления — одношаговых решений. Каждое такое решение будем обозначать как  $U_k$ , где  $k$  – отличительный номер воздействия.

Таким образом, элементарный акт управления можно представить в следующем виде:

$$S_i, Q_j \xrightarrow{U_k} Q_i. \quad (3)$$

Данное преобразование называется корреляционным правилом, согласно которому, если на объекте управления сложилась ситуация  $Q_j$  и состояние системы управления и технологическая схема управления, определяемые  $S_i$ , допускают использование воздействия  $U_k$ , то оно применяется, и текущая ситуация  $Q_j$  превращается в новую ситуацию  $Q_i$ . Полный список таких правил задает возможность системы управления воздействовать на процессы, протекающие на объекте [1-2].

Очевидно, что в силу конечности числа различных воздействий все множество возможных полных ситуаций распадается на  $n$  классов, каждому из которых будет соответствовать одно из возможных воздействий на объект управления. Возникают процедуры классификации, которые позволяют классифицировать полные ситуации так, чтобы из них можно было образовать столько классов, сколько различных одношаговых решений есть в распоряжении системы управления. Если для некоторых полных ситуаций невозможно в силу не слишком хорошего знания как объекта, так и влияния воздействия на него, указать единственное одношаговое решение, то можно включить эту ситуацию в несколько классов.

Но из-за такого пересечения классов возникает задача выбора того или иного решения из числа возможных для данной полной ситуации. Для осуществления подобного выбора существуют процедуры экстраполяции последствий принятия того или иного решения. С их помощью можно на основании знаний об объекте управления и его функционировании заранее оценить результаты применения выбранного воздействия и сравнить полученные прогнозы для всех возможных для данной полной ситуации воздействий.

Таким образом, с учетом применения данных процедур, общая схема решения задачи управления имеет следующий вид (рис. 2):



Рис. 2. Общая схема решения задачи ситуационного управления

Описание текущей ситуации, сложившейся на объекте управления, дается на вход Анализатора. Его задача состоит в оценке сообщения и определении необходимости вмешательства системы управления в процесс, протекающий в объекте управления. Если текущая ситуация не требует такого вмешательства, то Анализатор не передает ее на дальнейшую обработку. В противном случае описание текущей ситуации поступает в Классификатор. Используя информацию, хранящуюся в нем, Классификатор относит текущую ситуацию к одному или нескольким классам, которым соответствуют одношаговые решения. Эта информация передается в Коррелятор, в котором хранятся все корреляционные правила. Коррелятор определяет то правило, которое должно быть использовано. Если такое правило единственное, то оно выдается для исполнения. Если же таких правил несколько, то выбор лучшего из них производится после обработки предварительных решений в Экстраполяторе, после чего Коррелятор выдает решение о воздействии на объект. Если Коррелятор или Классификатор не могут принять решение по поступившему описанию текущей ситуации, то срабатывает Блок случайного выбора и выбирается одно из воздействий, оказывающих не слишком большое влияние на объект, или же система отказывается от какого-либо воздействия на объект. Это говорит о том, что система управления не располагает необходимой информацией о своем поведении в данной ситуации [1, 2].

Фактически из-за сложности интеллектуального здания как объекта управления, исходные данные о нем и способах управления им не будут достаточно полными. Поэтому система управления таким объектом должна быть открытой. Она должна иметь возможность корректировать свои знания об объекте и методах управления им. В работе такой системы управления имеется два этапа: этап обучения и настройки и этап работы. В начальный период, когда система управления интеллектуальным зданием только еще создается, собираются многочисленные сведения от технологов, инженеров, хорошо знающих объект управления. С их помощью формируются классы ситуаций и корреляционные правила. Они определяют целесообразность использования тех или иных воздействий на объект управления в той или иной ситуации. При этом мнения экспертов могут не совпадать, что приводит к попаданию одной и той же ситуации в различные классы по управлению. С помощью экспертов формируются и процедуры экстраполяции, способы оценки ситуаций, исходящие из желаемого функционирования объекта управления. Это означает, что на первом этапе в проект системы закладывается значительное количество субъективной информации об объекте управления и процедурах управления им.

После этапа накопления знаний и формирования вышеописанных процедур (рис. 2), система может начинать работать. При этом число различных полных ситуаций обычно весьма велико, а число решений конечно и невелико:

$$|\{S_i\}| \gg |\{U_k\}|. \quad (4)$$

При этом, чем больше число возможных ситуаций и чем меньше число допустимых одношаговых решений, тем эффективнее будет работать схема управления, показанная на рис. 2. Но и тогда, когда

$$|\{S_i\}| \approx |\{U_k\}|, \quad (5)$$

можно применить подобную схему. Хотя ее эффективность в таком случае и не будет очень высока, но, возможно, что это единственный путь управления таким объектом [2].

Итак, ситуационный подход при создании математической модели интеллектуального здания имеет ряд особенностей:

1. Ситуационное управление требует больших затрат на создание предварительной базы сведений об объекте управления, его функционировании и способах управления им. Эти затраты оправданы только тогда, когда традиционные пути формализации описания объекта управления и процедуры управления реализовать невозможно.

2. Описание ситуаций, складывающихся на объекте управления (текущих ситуаций), должно быть произведено на таком языке, в котором отражались бы все основные параметры и связи, необходимые для классификации этого описания и сопоставления ему одношагового решения по управлению. При этом необходимо правильно выбрать уровень описания, который не должен быть ни слишком подробным, ни слишком грубым. При слишком подробном описании возникает «шумовой эффект», частности и несущественные для управления факты и явления могут сильно усложнить понимание сути функционирования объекта и сделать построение системы управления невозможным.

3. Язык описания ситуаций должен позволять отражать в нем не только количественные факты и соотношения, характеризующие объект управления, но и качественные знания, которые не могут быть формализованы в обычном математическом смысле.

4. Классификация ситуаций, объединение их в классы при использовании одношаговых решений происходит на субъективной основе, т.к. первоначальная информация о соответствии той или иной текущей ситуации тому или иному решению, получается от экспертов. Система как бы суммирует знания отдельных экспертов и становится носителем коллективного опыта людей. Однако процедуры классификации должны быть построены таким образом, чтобы сама классификация была бы применима для тех текущих ситуаций, о которых система не получила информации от экспертов. Это приводит к тому, что задача классификации становится аналогичной задаче формирования понятий на основе обучающих последовательностей. Система, сформировав некоторое понятие, обладает уже большими знаниями, чем те, которые были заложены в нее вначале экспертами, хотя эти дополнительные знания могут оказаться и неверными, что может выявиться в процессе ее эксплуатации.

5. Первоначально и корреляционные правила также получают с помощью информации, сообщаемой экспертами. Уточнение этих правил, уничтожение противоречий в них и формирование новых происходят уже в процессе эксплуатации системы. Все это верно и для правил экстраполяции и для оценки тех или иных текущих ситуаций.

6. Из пунктов 4, 5 вытекает вывод о том, что системы ситуационного управления не могут оптимизировать сам процесс управления. Они ориентированы лишь на такое управление, когда достигнутые результаты будут не хуже лучших результатов, которые мог бы получить человек.

7. Для многих реальных объектов управления одношаговые решения не определяют стратегии управления. В таких объектах необходимо формировать в качестве решений цепочки из одношаговых решений. Для этого в системе экстраполяции должны быть преду-

смотрены специальные процедуры «склейки» одношаговых решений. С их помощью формируются более сложные решения по управлению.

Таким образом, при создании математической модели интеллектуального здания с помощью ситуационного метода управления необходимо учитывать ряд особенностей данного метода, а также возможность применения других методов, частично более широких, а частично и более узких по сравнению с тем, что вкладывается в понятие метода ситуационного управления, таких как семиотическое моделирование, семиотическое управление, логико-лингвистические методы управления и т.п.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. М.: Наука, 1986. 285 с.
2. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтение и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
3. Максименко В.А. Интеллектуальные здания: автоматизация и диспетчеризация систем жизнеобеспечения здания / В.А. Максименко // АВОК. 2003. № 1. С. 84.
4. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 240 с.
5. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.

**Иванникова Олеся Александровна** – ассистент кафедры «Вычислительная техника и электроника» Института информационных технологий и коммуникаций Астраханского государственного технологического университета

**Ivannikova Olesya Aleksandrovna** – Junior Teaching Staff Member of the Department of «Computer Techniques and Electronic Engineering» of the Institute of Information Technologies and Communications of Astrakhan State Technological University

*Статья поступила в редакцию 23.11.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 004.9 + 903.024

**Р.А. Сингатулин**

#### **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ**

*Рассматриваются проблемы информации и информационные возможности археологической керамики, связанные с процессом взаимодействия историка и исторического источника. Рассматриваются проблемы историко-культурного и информационного подходов, возможности новых информационных технологий – палеофонографических исследований, с целью решения широкого круга археологических задач при исследовании массового керамического материала.*

Информация, виброакустика, археологическая керамика.

---

**R.A. Singatulin****ARCHEOLOGICAL CERAMICS INFORMATION PROBLEMS  
AND OPPORTUNITIES**

*The problems of information and information opportunities of archeological ceramics connected to process of interaction of the historian and a historical source are considered here. The author focuses on the problems of the historical-cultural and information approaches, opportunity of new information technologies – vibroacoustic researches with the purpose of the decision of a wide circle of historical tasks at research of a mass ceramic material.*

Information, vibroacoustic, archeological ceramics.

*Важные исследования задерживаются из-за того, что в той или иной области неизвестны результаты, уже давно ставшие классическими в смежной области*

*Норберт Винер*

Процесс интеграции естественно-научных и технических наук с областью гуманитарного знания сопровождается появлением новых средств и методов исследований. Вместе с тем до настоящего времени многие информационные процессы и явления, прежде всего исторического плана, связанные с изучением социально-экономических процессов, хозяйственно-культурных отношений, явлений материальной и духовной культуры, рассматриваемые с точки зрения их информационных свойств, не до конца осознаны. По словам Н. Винера, «...значительная часть важнейших физических явлений нам неизвестна, ибо мы проходим сквозь них слишком быстро и не умеем их регистрировать» [5]. Эти физические явления, процессы часто предстают в форме «скрытой информации», определяются случайными процессами и другими факторами. В археологии, как ни в какой другой научной дисциплине, до последнего времени скептически относились к подобной возможности. Так, например, появление и развитие методов палеофонографии (виброакустических исследований археологической керамики), возможность получить информацию с гончарной посуды иного рода, чем допускалось, продолжительное время ставились под сомнение [13]. И хотя известны многочисленные успешные исследования в данном направлении [17, 12, 8], тем не менее, ещё встречаются факты недооценки, а порой и полного непонимания информационного феномена гончарной керамики, что вызвано крайне слабой разработанностью данной темы.

Вместе с тем, палеофонографические исследования археологической керамики не являются чем-то особенным, недоступным или запредельным. Используемые технологии базируются на хорошо отработанных решениях в смежных науках, на основе методов и средств виброакустических информационно-измерительных систем (ИИС), использующих теоретические и практические наработки в области звукозаписи, криминалистики, физиологии, психологии, лингвистики, информатики и других наук. Вопрос заключается в другом, как эти технологии могут проявить себя в гуманитарных исследованиях, например, при изучении массового керамического материала? В свете учения об информации, следует говорить о повышении информативной отдачи источника, каким является археологическая керамика, методами точных наук. В то же время, расширение объекта исследования, в свете информационных подходов, требует коррекции методов исторической науки, в первую очередь источниковедческих, когда в качестве общенаучной методологии необходимо придерживаться классической теории информации, а не использовать ее «переосмысленный» историко-культурный эквивалент.

В границах информационного подхода носителем информации является сообщение, под которым понимается условно кодированный эквивалент события, зафиксированный источником информации и выраженный с помощью определённой последовательности условных образов или физических обозначений, символов и пр., образующих некую упорядоченную совокупность. С этой точки зрения, древняя гончарная продукция как материальный носитель, после своего изготовления становится формой сознательного, а иногда и бессознательного «зашифрованного» информационного сообщения, в котором материал, поверхность, структура, форма, цвет, орнамент гончарного изделия и пр., проявляют свойства носителей информации.

С точки зрения историко-культурного подхода носителем информации являются не столько произведённые керамические изделия, сколько обусловленные причинно-следственные связи с обществом, историко-культурной средой. Сообщение определяется через поэтапное изучение различных свойств керамического изделия во взаимосвязи с обществом: его формы, состава теста, структурных построений, орнамента, расположения в культурном слое, подобия, культурных связей и других особенностей научного исследования.

Существенным моментом обоих подходов (т.е. историко-культурного и информационного) является презумпция того, что разнообразные сообщения, имеющие неодинаковые содержания и относящиеся к самым различным вопросам, могут быть адаптированы и переведены на язык конкретной науки, введены в научный оборот. В то же время нельзя не обратить внимание на существенные различия между указанными подходами, выражающиеся в отсутствии качественных методов измерения выявленной информации при историко-культурном подходе, т.к. только с помощью количественной меры (не путать со статистическими методами) можно оценивать условно передаваемые сообщения независимо от формы, в которую они заключены. Это положение является краеугольным камнем общей научной теории информации. В итоге, существующее определение информационного источника с позиций историко-культурного подхода, без меры учёта исходной информации, приводит к безвозвратной потере данных и, в свою очередь, к их дефициту. В сложившихся представлениях об информационных взаимодействиях не учтены особенности носителей информации с точки зрения теории информации. Налицо препятствие в понимании и использовании свойств носителя информации (т.е. гончарной керамики). Выход за рамки классических гуманитарных представлений при решении информационных задач возможен, если допустить, что существует некий источник скрытой информации. Или можно говорить о какой-то форме регистрируемого сигнала (явления или процесса), который в настоящее время в силу определённых обстоятельств, вызванных техническими или методическими причинами, невозможно интерпретировать, т.е. получить информацию в её историческом контексте. Ведь только визуальная фиксация (например, формы изделия, надписи, орнамента и др.) вовсе не означает, что получена информация, т.к. сам сигнал может и не иметь непосредственной физической связи с процессом или явлением. По выражению Н. Винера, информация есть характеристика не сообщения, а соотношения между сообщением и его потребителем (исследователем) [5].

Содержательный аспект информации, её релевантность по отношению к деятельности людей являются первостепенными с точки зрения историко-культурного подхода. Очевидная направленность исторических исследований в сторону решения социально-экономических вопросов на примере гончарного производства, широкий охват тем, рассмотрение общих технологических признаков, крупных устойчивых производств, смешанных и несмешанных культурных традиций заслоняют другие, не менее важные проблемы, связанные с индивидуализацией, проявлением тонких психофизических взаимодействий, физиологических процессов, влияний окружающей среды, динамических особенностей используемых машин и механизмов и др., которые в совокупности создают информационный фон или информационное поле деятельности человека. Как показывает практика, современные методы археологических исследований применимы лишь к некоторым областям исторических знаний, по-



сколькx они не в состоянии рассмотреть и охватить весь спектр термодинамических и химико-биологических процессов, определить или измерить информацию, содержащуюся в сообщении [2]. При этом определение величины, меры количественного восприятия «исторической информации» часто трактуется как уменьшение неопределённости наших знаний об объекте. Однако данная трактовка вовсе не означает стремления к упрощённой интерпретации при рассмотрении вопросов историко-культурного содержания. В действительности «анализ одного процесса может привести к выводам, имеющим значение для исследования другого процесса» [4]. Это означает, что многие проблемы исторического исследования могут быть решены междисциплинарным взаимодействием, прежде всего, с помощью информационного подхода. Например, атрибутивный поиск орнамента (символа, рисунка или иного информационного сообщения) на поверхности гончарной продукции можно рассматривать как выбор одного сообщения из конечного наперёд заданного множества из  $N$  равновероятных сообщений, а количество информации  $I$ , содержащееся в выбранном сообщении, определять по известной формуле Хартли, как двоичный логарифм  $N$

$$I = \log_2 N ,$$

или по классической формуле Шеннона:

$$I = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2 + \dots + p_N \log_2 p_N) ,$$

где  $p_i$  – вероятность того, что именно  $i$ -е сообщение выделено в наборе из  $N$  сообщений. Если вероятности  $p_1, \dots, p_N$  равны, то каждая из них равна  $1/N$  и формула Шеннона превращается в формулу Хартли.

Существуют и другие подходы по определению количества информации, которые могут быть адаптированы к решению некоторых историко-культурных задач. Однако любые другие результаты применимы лишь к определенному кругу случаев, сформулированных исследователем, через его цели и потребности и с помощью доступных ему технологий. При этом использование информационно-математических методов смежных наук вовсе не подменяет процедуру исторических исследований смещением фокуса познания в сторону информационных отношений. Наоборот, использование методов информационных технологий приводит к выделению информации лишь по отношению к другому методу, способному в конкретных условиях максимально воспринять (извлечь) и использовать эту информацию. Важно отметить, что нематематическая (неинформационная) модель не способна отобразить (измерить) неизвестный аспект исследуемой реальности, тем более учесть его свойства, связи. А модель, описываемая информационно-математическим языком, способна [11].

Остановимся на информационно-математическом анализе наличия некоей неизвестной информации на поверхности археологической керамики, отвечающей признакам круговой технологии (т.е. изготовленной с помощью гончарного круга). Круговая формовка гончарного изделия предполагает какое-то внешнее динамическое воздействие на процесс изготовления. В качестве основного форм-фактора обычно выступают руки человека. Наблюдаемые трассологические следы на поверхности гончарных изделий являются, в основном, образованиями вследствие технологических операций гончара-обработчика (рис. 1).

Физическое взаимодействие между чётко зафиксированным инструментом обработки (резец, ложило, стек, пальцы рук и т.п.) и обрабатываемой поверхностью оставляет след, глубина и форма которого регулируются биомеханической цепью гончара, сознательно или подсознательно, но обязательно управляется, причём обработчик реализует, как правило, собственную программу обработки изделия. Это означает, что процесс обработки изделия будет неизбежно промодулирован собственными частотами обработчика, отражающими его внутренние физиологические процессы (сердцебиение, дыхание и другие физиологические процессы), внешними взаимодействиями (вибрация гончарного круга, полового покрытия и пр.), ритмами (периодические удары для поддержки вращения круга с помощью рук, ног или с помощью других средств), речевой деятельностью и др. (рис. 2). Очевидно и другое, что гончар-

ный круг является механическим устройством или системой, предназначенной для производства быстрого, качественного и необходимого продукта потребления. Гончарный круг – это, прежде всего, показатель технической культуры общества, технологического совершенства. Охарактеризовать такое устройство, которое можно описать на основании протекающих физических процессов, необходимо не с позиций исторических представлений, а в ракурсе технических наук – языком теории машин и механизмов. Кроме того, необходимо рассматривать произведённую гончарную продукцию как носитель, «матрицу», на которой зафиксирован информационный процесс внутренних и внешних преобразований. В этом контексте возможность выявить на поверхности керамического изделия и, прежде всего, в трассологических структурах, какой-либо виброакустический (палеофонографический) сигнал – технологической, речевой, физиологической или иной продуктивной деятельности, с учётом различных технологических, антропогенных и иных факторов, носит теоретико-вероятностный характер [3]. На основании отдельных экспериментальных исследований [1] делать какие-либо вероятностные оценки затруднительно. Однако качественное представление взаимодействий в системе «гончар – изделие – круг», обусловленных информационным феноменом – наличием виброакустической информации, представляет интерес, поскольку позволяет оценить хотя бы примерно информационный резерв скрытого параметра и выявить условия его представления в информационно-энергетическом сигнале. В то же время, априорные заявления об отсутствии такого рода информации напоминают нам высказывание известного чеховского героя: «Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда».

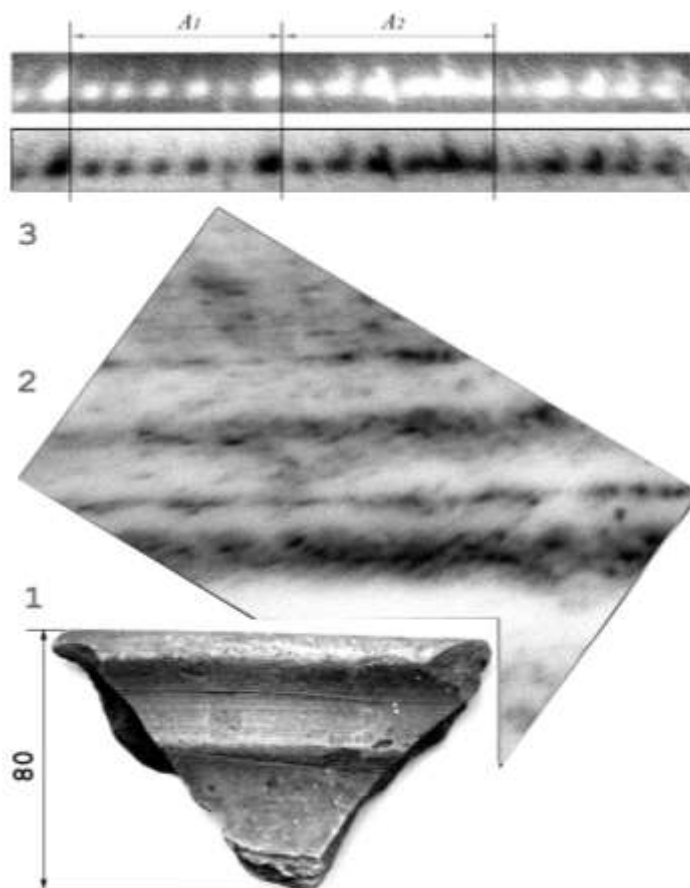


Рис. 1. Фрагмент венчика кувшина с Увекского городища. Золотоордынская культура II пол. XIV в. Фонды Энгельсского краеведческого музея:  
 1 – технологические следы на поверхности керамики; 2 – изображение участка (увеличено) поверхности с характерными промодулированными трассологическими структурами;  
 3 – фонограмма выявленного периодического сигнала, связанного с сердцебиением

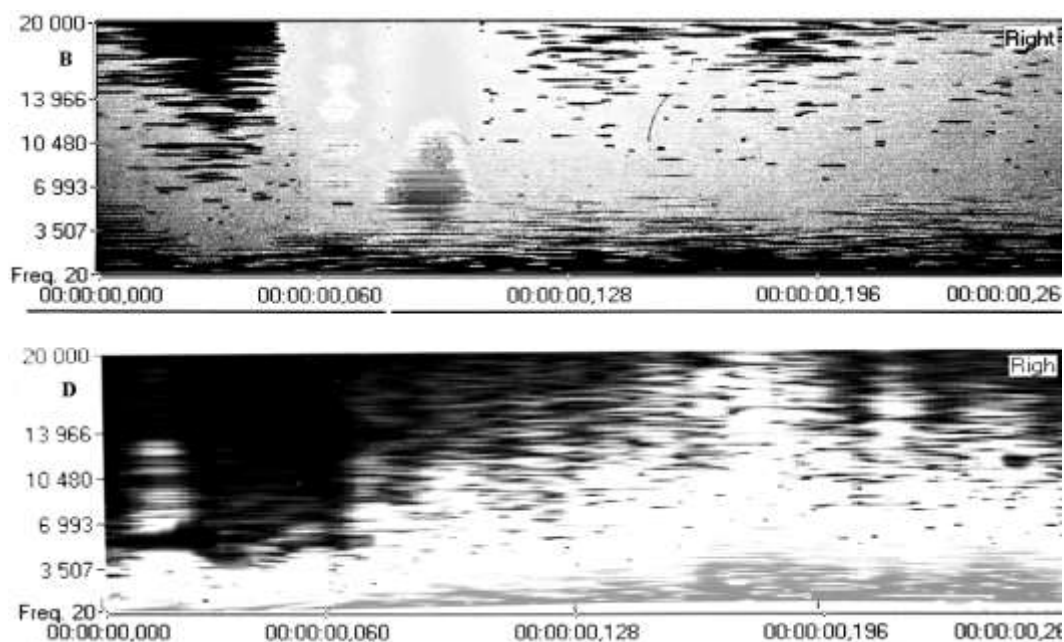


Рис. 2. Фрагмент фонограммы со следами интерпретируемых акустических сигналов, полученных с поверхности средневековой гончарной керамики

Поиск палеофонографической информации с помощью современных технологий на древних гончарных изделиях может быть сравним с исследованиями «чёрного ящика», под которым условно понимается любой объект, функциональные свойства которого неизвестны или известны недостаточно [16]. По степени искажения сигнала в процессе прохождения его через «чёрный ящик» можно судить о функциональном состоянии изучаемой системы или комплекса систем. На характер передачи сигналов по системам «чёрного ящика» большое влияние оказывают побочные воздействия, которые в технической кибернетике определяются как шум. Чем значительнее шум, тем менее эффективно будет исследование функционального состояния изучаемого объекта [15].

В отличие от многолетних поисков «речевой» компоненты в спектре виброакустического сигнала [17], выделение и интерпретация биомеханических составляющих, связанных с динамикой гончарного станка (круга) и активной физиологической деятельностью человека (фиксацией сигналов, вызванных дыханием, биением сердца, движением тока крови по кровеносным сосудам, работой кишечника и другими процессами, сопровождающимися колебаниями поверхности человеческого тела в диапазоне около 0,01-1000 Гц), на данный момент имеют большую перспективу [1]. Такие методы исследований опираются на широко апробированную и доступную технологию, связанную с медико-биологическими и промышленными применениями, что в достаточной степени благоприятно сказалось на возможности проведения исследований в данном направлении. Однако нельзя не отметить, что всё-таки существуют определённые трудности, связанные с непосредственным поиском физиологических сигналов гончара-обработчика. Многие исследователи объясняют их неповторимостью физиологических и психических процессов у одного человека. Но эта лишь одна из возможных причин плохой воспроизводимости результатов (с использованием метода БПФ) в некоторых научных коллективах, связанная с тем, что физиологические процессы, протекающие в организме человека, часто адаптируются на внешние причины [7] и, следовательно, выделение физиологической информации необходимо производить не с одного или двух специально отобранных гончарных изделий, а с археологических материалов из большой выборки (десятки, сотни), желательнее в границах одной культуры. Так, например, виброакустические исследования отобранных образцов золотоордынской культуры [1] показали, что

на 1140 образчиков гончарной посуды приходится 798 единиц, в которых выделен биомеханический сигнал (вибрация станка, пульсация сердца, дыхания и др.), и только 2 образца имеют, предположительно, речевую составляющую. Очевидно, что вероятность выявления виброакустического сигнала на золотоордынской гончарной посуде достаточно высока, что, прежде всего, связывается с развитой гончарной технологией. Если обозначить через  $\Phi C$  событие, связанное с обнаружением физиологического (биомеханического) сигнала, и через  $PC$  – речевой сигнал, то из определения вероятности следует, что:

$$P(\Phi C) = 798/1140 = 0,7 ;$$

$$P(PC) = 2/1140 = 0,0017 .$$

Из теоремы сложения вытекает, что:

$$P(\Phi C \cup PC) = P(\Phi C) + P(PC) = 0,7017 .$$

Таким образом, вероятность обнаружения какой-либо виброакустической информации из предварительно отобранных гончарных изделий составляет достаточно высокую величину – 0,7017. Однако процедура проведённых исследований предполагала предварительную селекцию образцов по определённым критериям: длине и рельефу трассологических образований, состояния поверхности, кривизне окружности, площади фрагментов и др. Это означает, что реальное количество фрагментов и цельных сосудов золотоордынской культуры было больше и составляло 4652 единицы, причём часть обломков являлись фрагментами единого изделия. С учётом данного обстоятельства, вероятность обнаружения какой-либо виброакустической информации на поверхности золотоордынской посуды составляет величину – 0,172.

Отдельно хочется выделить тенденцию, отмеченную в работах различных научных коллективов, в частности, в трудах украинских исследователей в 2002-2003 гг. (Институт археологии НАНУ совместно с Институтом кибернетики им. В.М. Глушкова) на гончарных изделиях античного периода и керамики трипольской культуры (Институт археологии НАНУ совместно с археологической лабораторией Педагогического института СГУ) [8], о возрастании вероятности обнаружения палеофонографической информации в связи с большой предварительной работой по отбору образцов с ярко выраженными поверхностными трековыми образованиями. Критерием отбора служат визуально наблюдаемые круговые трассологические следы на поверхности гончарной посуды, которые могут интерпретироваться по аналогии с фонографическими дорожками (глубинной или поперечной модуляции) механической звукозаписи. В отличие от детерминированных виброакустических сигналов, связанных с механическими и физиологическими процессами (в основном периодического характера) в системе «гончар – изделие – круг», значения случайных информационных сигналов, к которым можно отнести и речевую деятельность гончара-обработчика, не могут быть вычислены, но могут быть предсказаны в определённом диапазоне значений с определённой вероятностью, меньшей единицы. На основании современных представлений о ведущей презентативной системе человека, можно предположить, что биоакустический канал гончара при обработке гончарных изделий мог быть использован в качестве основной сигнальной системы, причём не только сопровождаться речевой деятельностью, но также использоваться для передачи чувств и настроения посредством тембра, ритма, высоты, мелодии и громкости звука. Это даёт возможность предсказать диапазон случайных информационных процессов, вызванных речевой деятельностью, производить их оценку в сравнении. Событие (информационный феномен), связанное с обнаружением речевого сигнала (в 2000 г. были интерпретированы гласные звуки) на основании проведённых исследований золотоордынской посуды [12], составило около 0,0017, что является неплохим ориентиром для новых изысканий.

Несмотря на некоторые технические трудности, связанные с количественной обработкой археологической керамики, исследование тонких информационных проявлений в регистрируемых структурах – достаточно перспективная область знаний, открывающая новые

возможности для исследования массового керамического материала. В то же время, для целостного восприятия информационных возможностей археологической керамики и комплексного решения возникающих исследовательских задач требуется не только специализированная информационно-измерительная (прецизионная) аппаратура – необходима принципиально новая концептуальная платформа, отражающая естественные связи и отношения между предметами и явлениями в той мере, в какой они могут максимально достоверно решать различные исторические проблемы с позиций информационных взаимодействий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балановский А.В. О применении новых информационных технологий при анализе виброакустической информации с керамической посуды / А.В. Балановский, Р.А. Сингатулин, Ю.А. Царёва // Сучасні проблеми археології: зб. наук. пр. Киев: Інститут археології НАН України, 2002. С. 35-36.
2. Беседин В.И. Применение метода размытой классификации для морфологического анализа древней керамики / В.И. Беседин // Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер». М., 1995. С. 76-77.
3. Венчаковский Л.В. Построение оценок математического ожидания и дисперсии по некоррелированной выборке случайного процесса / Л.В. Венчаковский // Автоматика и телемеханика. 1962. Т. 23. № 5. С. 14-25.
4. Винер Н. Творец и робот: Обсуждение некоторых проблем, в которых кибернетика сталкивается с религией / Н. Винер. М.: Прогресс, 1966. 103 с.
5. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. М.: Советское радио, 1968. 328 с.
6. Мартынов А.И. Методы археологического исследования / А.И. Мартынов, А.Я. Шер. М.: Высшая школа, 1989. 224 с.
7. Маточкин В.В. Некоторые результаты исследования модуля и фазы входного механического импеданса руки / В.В. Маточкин // Борьба с шумом и звуковой вибрацией. М.: МДНТП, 1972. С. 140-149.
8. Овчинников Е.В. Фонографічний (палеофонографічний) метод вивчення трипільської кераміки / Е.В. Овчинников // Енциклопедії трипільської цивілізації. Т. 1. Донецьк, 2005. С. 566-567.
9. Потёмкин Б.А. О критериальных функциях, основанных на нормах допустимых вибраций, для синтеза систем виброзащиты человека при случайных воздействиях / Б.А. Потёмкин, А.В. Синёв, К.В. Фролов // Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты. М.: Наука, 1974. С. 497-506.
10. Пронштейн А.П. Вспомогательные исторические дисциплины / Пронштейн А.П., В.Я. Кияшко. М.: Высшая школа, 1973. 112 с.
11. Рыбников К.А. Введение в методологию математики / К.А. Рыбников. М.: МГУ, 1979. 128 с.
12. Сингатулин Р.А. Палеофонографические исследования гончарной керамики с Увекского городища / Р.А. Сингатулин // Проблемы древней и средневековой истории Среднего Поволжья. Казань: РИЦ ИИ АНТ, 2002. С. 185-191.
13. Сингатулин Р.А. Палеофонография: проблемы новых технологий / Р.А. Сингатулин // Археологический вестник. СПб. 2004. № 11. С. 324-328.
14. Сингатулин Р.А. Введение в палеофонографию / Р.А. Сингатулин. Саратов: Научная книга, 2007. 136 с.
15. Харкевич А.А. О ценности информатики / А.А. Харкевич // Проблемы кибернетики. М.: Физматгиз, 1960. С. 53-57.
16. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения человека / У.Р. Эшби. М.: Просвещение, 1964. 316 с.

17. Kleiner M. The Brittle Sound of Ceramics – Can Vases Speak? / M. Kleiner, P. Astrom // Archaeology and Natural Science. Goteborg: Scandinavian Archaeometry Center, Jonsered, 1993. Vol. 1. P. 66-72.

18. Von Gierke H.E. Effects of Noise on People / H.E. Von Gierke, K. Mck Eldred. News Int. 1993. № 2. P. 67-89.

**Сингатулин Рустам Адыгамович** –  
кандидат исторических наук,  
доцент кафедры «Информационные системы  
и технологии в обучении»  
Педагогического института  
Саратовского государственного университета  
им. Н.Г. Чернышевского

**Singatulin Rustam Adygamovich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor of the Department  
of «Information Systems and Technology  
in Education» of Pedagogical Institute  
of Saratov State University  
in the name of N.G. Chernyshevskiy

*Статья поступила в редакцию 26.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 621.3:681.3

**Н.В. Слепцов, С.В. Щербакова**

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕЙРОСЕТЕЙ**

*Рассмотрены возможные новые подходы к проектированию структурированных искусственных нейросетей для задач обработки последовательностей образов. Предложен эффективный алгоритм построения ИНС, обеспечивающий конструктивный подход к созданию и обучению сети в сочетании с умеренными требованиями к вычислительным ресурсам.*

Искусственная нейросеть, оптимизация структуры.

**N.V. Sleptsov, S.V. Tsherbakova**

### **AUTOMATIC NEURAL NETWORK OPTIMIZATION**

*The article presents number of new approaches in developing the structured neural networks for temporal sequence pattern processing. The effective algorithm of net constructing is proposed with traits of research approach combining with small demands to computing resources.*

Artificial neural network, structure optimization.

Создание оптимальных человекомашинных интерфейсов является одной из актуальных областей информатики в целом, поэтому системы распознавания речи, рукописного текста, жестов, чтение по артикуляции губ приближают создание мультимодальных интерфейсов, обеспечивающих более эффективные и естественные средства общения между людьми и машинами. Для этих систем главной парадигмой стали искусственные нейронные сети (ИНС). Все упомянутые выше системы требуют обработки динамически меняющихся образов или последовательностей образов.

В рамках применения искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения проблемы обработки последовательностей образов предложено несколько архитектурных решений, например, успешным подходом к обработке временного контекста ИНС является применение сетей с временными задержками TDNN [1, 3]. Подход привлекателен с точки зрения реализации, а также мотивирован особенностями процессов в естественных нейронных сетях, в которых реальные аксоны имеют ограниченную скорость проводимости (зависящую от диаметра аксона), а длина большинства аксонов существенно больше, чем евклидово расстояние между связанными нейронами, что приводит к большому разбросу временных задержек в естественных нейронных сетях.

**Структурированные и полносвязанные сети.** Для специализированных приложений сильно структурированные сети значительно превосходят полносвязанные решения по способности обобщения из-за причин, которые связаны с явлением сверхприспособленности (переобученности). Этому есть два объяснения:

1. Между числом настраиваемых параметров, количеством данных в обучающей выборке и показателями обобщения существует связь ([2] и др.). Сети с большим числом настраиваемых параметров при заданной величине обучающей выборки хорошо обучаются, но имеют недостаточную обобщающую способность, поскольку у них слишком много степеней свободы и они вследствие этого чувствительны к шуму в учебных данных. Для малого числа настраиваемых параметров сеть не имеет достаточной емкости для обучения по учебным данным и показывает низкие характеристики на тестовых данных. Для структурированной сети уменьшение числа настраиваемых параметров может увеличить обобщающую способность [1, 2].

2. Обеспечение структурированности сети может также выдвинуть на первый план существенные черты данных и уменьшить способность сети обучаться на таких несущественных особенностях данных, как шумовые. Другой особенностью является специфика задачи. Например, при распознавании речи фонемы могут иметь изменяемую оболочку в зависимости от субъекта или контекста, в которых они появляются. Было бы нежелательно, чтобы нейронная сеть обучалась именно таким изменениям на учебных данных. Таким образом, структуры, которые являются инвариантными к сдвигам по времени, выделяют особенности, которые являются независимыми от времени [3].

**Концепция алгоритма автоматической оптимизация структуры.** Высокоструктурированные сети могут быть оптимизированы намного большим количеством способов, чем полносвязанные сети. Алгоритм автоматической оптимизации структуры (ААОСТ) позволяет обеспечить оптимальные характеристики итоговой сети при одновременной и взаимно усиливающей оптимизации структуры и общего количества настраиваемых параметров. Принцип функционирования ААОСТ состоит в том, что создание структуры сети начинается не с некоторого промежуточного представления, а осуществляется добавлением узлов и связей для выборочного улучшения определенных фрагментов сети. В начале процесса обучения внутреннее представление сети является полностью локальным и становится при реализации процесса оптимизации все более и более распределенным. Перед обучением фактически должна быть определена только концепция структурирования сети, которая является производной от сведений о характеристиках задачи, являющихся ее инвариантами. Для поиска структуры сети, которая по определению соответствует задаче и текущему количеству обучающих данных применяется конструктивный метод обучения.

В целом предлагаемый алгоритм основан на совместном использовании следующих принципов:

- встроенные инварианты;
- автоматическая декомпозиция модели;
- конструктивное размещение ресурсов;
- классификация, зависящая от размещения ресурсов;
- раннее размещение ресурсов.

**Встроенные инварианты.** При наличии любых данных о задаче они могут и должны быть преобразованы (встроены) в структуру сети. Например, для распознавания речи или рукописного текста желательной является робастность классификатора по отношению к временным искажениям.

**Автоматическая декомпозиция модели.** В данном случае идея декомпозиции состоит в том, чтобы вместо изучения очень сложных поверхностей решения для классификации некоторых событий анализировать классификации при распознавании подсобытий, которые должны рассматриваться совместно.

**Конструктивное размещение ресурсов.** Одно из ключевых требований для алгоритма – пригодность как для малых систем (~1000 параметров), так и для больших систем (более 10 000 параметров). В этих условиях преимуществом конструктивного подхода является то, что в начале процесса обучения сеть имеет незначительные размеры, соответственно, требования к вычислительным ресурсам незначительные. Если обучение будет прервано до формирования оптимальной архитектуры сети, например, по временным ограничениям, то такая субоптимальная архитектура для большинства ситуаций оказывается полностью работоспособной и, как правило, превосходит сеть очень большого размера, обучение которой продолжалось только несколько эпох из-за тех же временных ограничений.

**Размещение ресурсов, зависимое от классификации.** Критическое значение для успешной работы ААОСТ имеет выбор подходящего критерия распределения ресурсов. Поскольку рассматриваемые приложения по сути основываются на реализации классификации, в качестве критерия ошибки обучения логично использовать результаты текущей классификации, иначе говоря, сеть улучшается там, где она работает неудовлетворительно, при этом ошибки обучения также используются для настройки весов в рамках фиксированной архитектуры.

**Начальное размещение ресурсов НС.** Процесс получения результатов учебного прогона и последующего принятия решений для дальнейшей оптимизации сети в вычислительном отношении затратен. Опыт работы с классификаторами, основанными на нейронных сетях, показывает, что в процессе обучения возможно очень быстро обнаружить самые существенные классификаторы, при условии применения умеренных критериев обучения. В такой ситуации самым эффективным действием будет изменение архитектуры на ранних этапах процесса обучения, при этом повторное возобновление процесса обучения с самого начала не является необходимым.

### Инструментальные средства ААОСТ

**Матрица неупорядоченности.** Матрица неупорядоченности является основным инструментом для анализа сетевых архитектур в рамках излагаемого подхода. Пример матрицы приведен на рисунке. По горизонтали отложены целевые продукции от  $A$  к  $Z$ , по вертикали – фактически полученные результаты. Определенная архитектура обучается до достижения критерия остановки, после чего проводится оценка матрицы неупорядоченности.

Матрица неупорядоченности показывает все случаи неверной классификации, но при этом непосредственно нельзя идентифицировать случаи парной неверной классификации – например, объект класса  $A$  идентифицирован как  $B$ , а объект из  $B$  – как  $A$ . Пусть  $c_{ij}$  – элемент матрицы неупорядоченности  $C$ . Введем матрицу симметрии  $S$ , элементы которой определим следующим образом:

$$s_{ij} = c_{ij} c_{ji}. \quad (1)$$

Применение матрицы  $S$  в ААОСТ вызвано тем обстоятельством, что при обучении/оптимизации применение разных критериев для различных типов ресурсов дает дополнительные преимущества. Матрица  $S$  непосредственно показывает случаи парных ошибочных классификаций и применяется как критерий распределения для ресурсов, которые решают эти парные коллизии.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	74	1			2					6																1
B	1	65		2							2						1				1	2				
C			74																3							3
D		3		80		1	2													2			2			1
E	1				73					1							1			1	4					
F				1	77	1						1	1		1			2	1			3	1	1		
G			1				78	19									1									
H	3	1			3			63		1							1			1		1				
I	1								73							2	3		3							
J							1			76	1					1										1
K		1									79	2			1									1	1	
L			1		1				1			79			2											
M		2			1				1				74	37	2			3						1	1	
N				1	1								4	44	1											
O	2								6		5	1	74					1								2
P		2		1		1		1			1					81	2	1					1	1		
Q			2				2	2		2							78			1				2		
R									3				2	1	1				74			1				2
S			3			1	1					1								78				1		
T			1														1				80				1	
U					2																	79	1			
V	3	9			1	4						1				1	1					1	75	3	1	4
W		1		1		1										2							1	76		
X																									77	1
Y								1	1								1									74
Z			3																	2			1			79

Матрица неупорядоченности для сегментированной словарной базы данных для промежуточной учебной стадии (75 учебных эпох). Результаты для учебных данных – 87,5%

Основания алгоритма ААОСТ базируются на двух предположениях:

1. Нейронные сети, которые являются слишком малыми для данной задачи, не изменяют распределения наиболее существенных классификаторов, если параметры обучения (уровень обученности) установлены нормально и отсутствуют осцилляции, иными словами, на ранних этапах обучения могут быть обнаружены наиболее существенные случаи неупорядоченности и, следовательно, уже на этих этапах может быть начат конструктивный процесс реализации оптимальной архитектуры.

2. Распределение коэффициентов матрицы неупорядоченности не является равномерным, так, наиболее типичными случаями являются локальные коллизии, которые и могут легко быть обнаружены анализом матрицы.

Эти предположения основаны на эмпирических данных процесса обучения нейросетей. Например, для приложений, связанных с распознаванием речи и почерка при обучении сети, слишком малой по размерам для соответствия задаче, после 200 эпох наблюдается слишком много коллизий. Уровень обученности для учебных данных составляет 50,0%. Дальнейшее обучение изменяет эти показатели только очень незначительно.

### Распределение ресурсов

Алгоритм ААОСТ осуществляет попытку оптимизации архитектуры сети для обеспечения максимально достижимых характеристик обобщения. Оценка ошибки на тестовом наборе может быть представлена как [3]

$$\langle E_{тест}(\lambda) \rangle_{\xi\xi} \approx \langle E_{об}(\lambda) \rangle + 2\sigma_{эфф}^2 \frac{P_{эфф}}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество тестовых задач в обучающем множестве  $\zeta$ ;  $\sigma_{эфф}^2$  – дисперсия для полученных переменных отклика (ответа);  $\lambda$  – параметр уменьшения веса (регуляризации);  $p_{эфф}$  – эффективное число параметров в нелинейной модели [3].

Принцип работы алгоритма состоит в том, что процесс должен начинаться с небольшого числа параметров для данного обучающего множества (что дает малую величину второго слагаемого в правой части приведенного уравнения) с постепенным увеличением этого числа, имея целью уменьшить величину ожидаемой ошибки на обучающем множестве (первое слагаемое). Цель состоит в увеличении второго слагаемого и уменьшении первого слагаемого до возможно лучшего компромисса между низкой ошибкой обучения и достигнутым высоким числом параметров.

Размещение и распределение ресурсов имеет целью обеспечить наименьшее возможное количество эффективных параметров, соответствующее требуемому уровню характеристик обобщения. Общее количество параметров обеспечивает только уровень вычислительной сложности.

**Критерии распределения ресурсов.** Критерии для конструктивного распределения ресурсов получается с помощью матриц  $C$  и  $S$  для обучающего множества. Построение производится для каждой эпохи обучения.

Для распределения ресурсов, производных от этих матриц, возможно применение нескольких критериев. Простейшим критерием является сумма всех элементов матрицы элементов по каждому столбцу – фактически, подсчет суммарного количества ошибок отдельного устройства. Пусть  $C$  – матрица неупорядоченности размером  $n \times n$ :

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & & c_{2n} \\ & & & \\ c_{n1} & & & c_{nn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$A_j$  – сумма элементов в столбце:  $A_j = \sum_{i=1}^m c_{ij}$ .

Размещение новых ресурсов проводится, если величина  $A_j$  превышает среднее значение этого показателя, т.е.  $A_j > \overline{A} \cdot f(p, n)$ , где  $\overline{A}$  – среднее для всех  $A_j$  и  $f(p, n)$  – функция, ограничивающая размещение ресурсов в зависимости от числа параметров  $p$  и числа обучающих образов  $n$ .

Принцип формирования другого критерия основывается на том, чтобы придать больший вес коллизиям, если они распределены между большим числом классов. Это может быть обеспечено с помощью такого произведения:

$$B_j = \prod_{i=1}^m (c_{ij} + 1). \quad (4)$$

Матрица симметрии неупорядоченности дает следующий критерий. Пусть  $S$  – матрица:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & & s_{2n} \\ & & & \\ s_{n1} & & & s_{nn} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Критерий для распределения новых ресурсов будет достигнут при рассмотрении максимума для всех  $s_{ij}$ , если

$$\max\{s_{ij} \mid s_{ij} \in S, i > j\} > f(p, n) \cdot (\text{average}\{s_{ij} \mid s_{ij} \in S, i > j\}), \quad (6)$$

где  $f(p,n)$  – функция, ограничивающая размещение ресурсов в зависимости от числа параметров  $p$  и числа обучающих образов  $n$ .

**Ограничения распределения ресурсов, обусловленные размером обучающей выборки.** Для любых конструктивных алгоритмов распределения ресурсов необходим критерий останова, определяющий ситуацию, когда отсутствует потребность в любых дополнительных ресурсах. На поверхности лежит метод, который останавливает распределение после того, как сети в процессе обучения будут предъявлены все обучающие образы. Для реальных приложений это малоприменимо, поскольку а) не всегда возможно обучить на всех учебных примерах, например, из-за наличия в них ошибок, некорректностей, и б) обучение на всех образах или примерах может привести к переобученности для учебных данных.

Прекращение распределения ресурсов при снижении характеристик обработки сетью отдельного набора данных для верификации не решает проблемы из-за следующего эффекта: характеристики работы сети (например, качество распознавания) проявляют тенденцию к незначительному снижению при добавлении новых ресурсов с последующим их возрастанием при продолжении обучения. Поэтому для обеспечения высоких характеристик сети, в первую очередь – обобщающей способности, представляется необходимым наличие двух различных критериев – один для ограничения распределения ресурсов, второй – ограничения процесса обучения сети. Конструктивные алгоритмы, которые распределяют различные типы ресурсов (такие, как ширина окна входа, число устройств/состояний, количество скрытых слоев\устройств, как для задачи оптимизации архитектуры), должны проводить различие между глобальным критерием ограничения (который является ограничивающим для всех типов ресурсов, для архитектуры в целом) и локальными критериями ограничения (которые являются ограничивающими только для одного типа ресурса).

Простейшим способом является фиксация верхних границ для всех этих критериев. Это легко осуществимо, но при этом должны быть доступны, по крайней мере, некоторые данные о необходимых ресурсах и о распределении по различным типам ресурсов. Более изящным решением является мягкая или изменяющаяся ограничивающая функция.

**Критерии глобального ограничения ресурсов, зависящего от размера обучающей выборки.** Алгоритм ААОСТ использует простую зависимость изменения глобального критерия распределения ресурсов от значения функции  $f$ , которая зависит от числа обучающих образов (примеров)  $n$  и общего количества параметров в сети  $p$ :

$$f(p,n) = \frac{\left(\frac{p}{n}\right)^2}{\alpha} + 1, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – константа, значение которой критическим не является (например, ее величина в диапазоне 5-20 дает хорошую эффективность критерия). Влияние критерия – в том, что добавление ресурсов в сеть облегчается при числе связей, малом в сравнении с числом обучающих примеров, и затрудняется с ростом числа связей. Такой подход позволяет обходить проблему точного установления верхних границ для ресурсов сети. В табл. 1 приведены результаты оценки работы сети для различных значений  $\alpha$ .

Квадратичная функция показывает хорошие результаты для всех прогонов, но близкие результаты получаются и с постоянным критерием:

$$f(p,n) = \beta. \quad (8)$$

При  $\beta \approx 1,1 \dots \beta \approx 1,5$  применение альтернативного критерия дает почти те же результаты. Результаты оценки работы сети приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что выбор величины  $\beta$  не является критическим, хотя большая величина  $\beta$  приводит к более «медленному» распределению ресурсов на ранней стадии обучения, что в общем случае ведет к увеличению времени обучения (точнее, к большему числу эпох обучения).

Таблица 1

Оценка работы сети для различных значений  $\alpha$ ,  
обучающая выборка – 520 примеров

Значение $\alpha$	Уровень распознавания, %
3	79,8
5	81,5
10	81,2
15	81,2
20	80,0

Таблица 2

Оценка работы сети для различных значений  $\beta$ ,  
обучающая выборка – 520 примеров

Значение $\beta$	Уровень распознавания
1,0	78,2
1,1	81,5
1,3	81,0
1,5	81,5
1,7	80,7
2,0	80,4

**Инициализация новых ресурсов.** Новые веса могут быть инициализированы тремя способами:

- малыми случайными числами;
- нулевыми значениями;
- некоторыми определенными значениями, ненулевыми и неслучайными.

ААОСТ использует все эти возможности в зависимости от особенностей инициализируемых весов. Если никакие сведения о цели соединения не доступны, веса инициализированы малыми случайными числами. Случайный характер весов имеет то преимущество, что они не слишком нарушают процесс обучения, то есть ошибка обучения после размещения таких весов сильно измениться не может.

Веса инициализированы определенными неслучайными числами, если связь устанавливается для разрешения отдельного случая попарной неупорядоченности (например, веса от скрытых слоев до узлов с определенным состоянием). Веса инициализируются нулем, если данные веса непосредственно не необходимы для разрешения конкретной неупорядоченности, но могут оказаться востребованными для других нарушений упорядоченности в случае, если алгоритм обучения – обычно алгоритм обратного распространения ошибки – значительно изменяет вес.

### Применение алгоритма ААОСТ к сетям MS-TDNN

Нейронные сети с временными задержками (MS-TDNN) отвечают двум первым принципам применимости алгоритма ААОСТ – обеспечивают декомпозицию задачи и обладают встроенными инвариантами. Они – очень мощные классификаторы и могут быть подвергнуты оптимизации различными способами. Критическое значение для оптимальных показателей работы сети имеют размер окон входа, количество скрытых узлов сети, топология последовательности состояний, что делает MS-TDNN пригодными для демонстрации возможностей алгоритма ААОСТ.

Алгоритм оптимизирует все параметры структуры сети типа MS-TDNN на заданном количестве данных обучения. Минимальная конфигурация сети MS-TDNN включает вход-

ной слой, слой состояний, выходной слой [1, 2]. Рассмотрим задачу распознавания слова, когда каждый элемент выходного слоя представляет слово. Каждый узел состояния представляет звук, фонему или подфонему. Сеть инициализирована со следующими параметрами: размер окна входа – единица (одна связь между входным узлом и узлом следующего слоя) и один узел состояния на узел выхода. Вход сети передается на выход вычислением интегральной характеристики весов связей от одного или нескольких узлов состояния в течение определенного периода, обычно сигмоидной. Узлы состояния могут рассматриваться как особый вид скрытых узлов из-за крайне ограниченного набора связей с выходными узлами.

По умолчанию распределение ресурсов алгоритмом основывается на величинах элементов матрицы симметрии и соответствующих критериях. При этом возможны две независимые схемы размещения – одна – для оптимизации размера входного окна для прямых связей от входов к узлам состояний (слева) и размещение скрытых узлов и оптимизация размера входного окна для этих скрытых узлов.

**Увеличение размера входных окон.** Алгоритм начинает работу с размера окна, равного единице (отсутствует временный контекст), одного узла состояния и отсутствия скрытых узлов. Размер окон входа увеличивается в зависимости от величин  $A_j$  и  $B_j$ . Вначале размер входного окна от входа сети до узла состояния увеличивается добавлением некоторого множества случайных связей. Во время следующей эпохи обучения эти новые связи обучаются совместно с уже существующими связями.

**Ограничение размера входных окон.** Максимальный размер окон входа зависит от числа узлов состояния, с помощью которых сеть моделирует слово. Если слово моделируется большим количеством узлов, то эти узлы не нуждаются в таком большом размере окна, который присущ сети, где на узел приходится одно слово. В качестве максимальной величины окна можно взять целое от отношения средней продолжительности моделируемого события (например, произносимой буквы), к фактическому числу состояний.

$$m_i = \text{int} \left( \frac{a_i}{s_i} \right). \quad (9)$$

**Размещение узлов состояния.** Если размер окна входа узла состояния сходится к определенной величине, а количество ошибок на соответствующем выходе все еще больше, чем в среднем, то добавляется новый узел. Чтобы предотвратить взрывное увеличение числа параметров обучения, размер окна входа «старого» узла состояния делится на два. «Новый» узел получает вход от окна входа того же самого размера как «старый» узел после деления на два, но со случайными связями. С этого момента выходной узел получает вход от двух узлов состояния.

**Размещение скрытых узлов.** В качестве критерия размещения скрытых узлов в первоначальных экспериментах использовалась матрица неупорядоченности, результаты работы на 2210 учебных образцов приведены в табл. 3. Базовая система получена автоматической оптимизацией ширины окна входа в соответствии с матрицей неупорядоченности  $C$  и обеспечивала уровень верной классификации в 85,2% для верификационного множества (схема – один узел на символ и без скрытых узлов). Если в дополнение к размерам окна в соответствии с  $C$  размещаются скрытые узлы, результаты увеличились до 88,5%. Если в соответствии с  $C$  одновременно изменяются размеры окна и число узлов сети, то показатели составляли 88,5%. Если все три типа ресурсов назначались в соответствии с  $C$ , то уровень верной классификации составлял также 88,5%, иначе говоря, преимущества автоматического размещения узлов состояния и скрытых узлов не обладают аддитивным эффектом при использовании критерия используется для всех типов ресурсов. Если же размеры окна и число узлов состояния назначались в соответствии с  $C$ , а скрытые узлы размещались согласно  $S$ , показатели увеличились до 90,2%.

Из приведенных результатов, в частности, следует предназначенность узлов состояния и скрытых узлов для решения различных типов проблем, иначе говоря, они должны быть специализированы для различных целей и обеспечить различные функциональные возмож-

ности системы в целом. Например, скрытые узлы необходимы, если требуется нелинейное отображение входных данных в данные узлов состояния [1]. При линейной границе появляется множество попарных ошибочных классификаций «А» с «В» и «В» с «А». Скрытые узлы позволяют избежать этого, а матрица  $S$  обеспечивает непосредственно представление таких попарных неупорядоченностей.

Таблица 3

## Результаты распознавания речи.

Критерий определения ширины окна	Критерий размещения узлов сети	Критерий размещения скрытых узлов	Результативность, %
С	– (1 фиксир.)	– (отсутствуют)	84,2
С	– (1 фиксир.)	С	88,7
С	С	– (отсутствуют)	88,5
С	С	С	88,5
С	С	С	90,2

Возможны и альтернативные подходы, например, возможно вычисление суммы  $c_{ij}+c_{ji}$ . Однако, критерий для размещения скрытых узлов должен в максимально возможной степени выявлять ситуации, которые еще не обнаружены стандартной матрицей беспорядка  $C$ . Произведение  $c_{ij} \cdot c_{ji}$  обеспечивает максимальное значение, если коэффициенты неупорядоченности симметрично распределены по обе стороны границы, т.е. для наихудшего случая, и стремится к нулю, если разграниченность имеет явный характер. Это означает, что скрытые узлы не назначаются, когда в них нет необходимости, т.е. при линейной разделимости, но если отсутствует любая возможности перемещения границы, применяется назначение скрытых узлов.

Веса от скрытых узлов до узлов состояний инициализируются таким образом, чтобы решить одну попарную коллизию. Два веса от нового скрытого узла к двум узлам состояния, связанным с попарной коллизией, инициализируются различными начальными величинами, например 0,3 и  $-0,3$ . Веса от входных узлов сети до скрытых инициализируются случайным образом. Благодаря этому скрытый узел начинает обучаться различать два класса при первом же процессе обратного распространения ошибки. Все другие веса от скрытых узлов к другим узлам состояния инициализируются величиной 0.0. Настройка этих весов обеспечивается алгоритмом обратного распространения, так что другие узлы состояния могут извлечь преимущества от использования скрытого узла, но первичным назначением скрытого узла является разрешение попарной коллизии.

Скрытые узлы всегда добавляются к уже существующим прямым связям от входных узлов к узлам состояния.

**Инициализация новых ресурсов.** Все связи как от входных узлов до узлов состояния, так и от входных узлов до скрытых узлов инициализируются случайным образом, что уменьшает риск нарушения хода процесс обучения при введении новых связей. Побочным эффектом такой инициализации является то, что добавление шума препятствует застреванию сети в локальных минимумах. Шум в дальнейшем уменьшается благодаря совместному обучению новых связей с уже существующими.

В табл. 4 приведены результаты экспериментов для отличной от случайной инициализации весов между входными узлами и узлами состояний после размещения нового узла состояния. Поскольку размер входного окна «старого» узла разделен на два для того, чтобы избежать взрывного увеличения числа настраиваемых параметров, представляется возможным использовать величины удаленных весов для инициализации связей «нового» узла. Оба метода сравнивались при прочих равных условиях на задаче распознавания алфавита для 520 учебных примеров. Случайная инициализация дает несколько более высокие результаты.

В табл. 5 показаны результаты экспериментов со случайной инициализацией весов от скрытых узлов до узлов состояния в сравнении с симметрической/нулевой неслучайной инициализацией, откуда следует, что случайная инициализация дает незначительно худшие результаты, чем неслучайная.

Таблица 4

Сравнение различных методов инициализации для весов от входных узлов до узлов состояния после размещения нового узла

Инициализация весов	Результативность
Случайная	81,5%
Весами удаленных узлов	78,3%

Таблица 5

Сравнение двух различных методов инициализации для весов от недавно размещенных скрытых узлов до узлов состояния

Инициализация весов	Результативность
Симметричная / ноль	81,5%
Случайная	80,6%

**Проблема одинакового обучения всех связей.** В сеть добавляется множество связей в условиях, когда ошибка, обеспечиваемая выходами сети, уже достаточно низка, а это означает, что к таким связям не применяют процесс обучения в полном объеме в сравнении с теми связями, которые обучались с самого начала. Это может быть преимуществом, потому что уменьшается опасность внесения «новыми» связями своего вклада в переобучение или сверхприспособление, особенно если они инициализированы малыми случайными величинами.

Малый процесс обучения новых связей может также быть и недостатком, поскольку потенциал этих связей используется не полностью. Проверке подвергались следующие методы адаптации нормы обученности, зависящие от «возраста» связей:

$$\varepsilon_{1ij} = \varepsilon_0 \left( \frac{\min age}{age_{ij}} \right); \quad (10)$$

$$\varepsilon_{2ij} = \varepsilon_0 \left( \frac{1}{age_{ij} + 1 - \min age} \right), \quad (11)$$

где  $\min age$  – «возраст» самой молодой связи в сети;  $age_{ij}$  – возраст соответствующей связи;  $\varepsilon_0$  – стандартная норма обучения. Оба метода уменьшают норму обучения для старых связей при добавлении новых. Обучение сетей шло несколько дольше, и результаты были хуже, а это показывает, что неравномерное обучение действительно является преимуществом конструктивных алгоритмов обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Серия «Нейрокомпьютеры и их применение» / А.И. Галушкин. М.: ИПРЖР, 2000. Кн. 1. 456 с.
2. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления. Серия «Нейрокомпьютеры и их применение» / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. М.: ИПРЖР, 2002. Кн. 8. 480 с.
3. Bodenhausen U. Application oriented Automatic Structuring of Time-Delay Neural Networks for High Performance Character and Speech Recognition / U. Bodenhausen, A. Waibel // Proceedings ICNN 2003. San Francisco, March 2003. P. 46-52.

**Слепцов Николай Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и организация производства» Пензенского государственного университета

**Sleptsov Nikolay Vladimirovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Economics and Production Organization» of Penza State University

**Щербакова Светлана Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пензенского государственного университета

**Tsherbakova Svetlana Vladimirovna** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Automatics and Telemechanics» of Penza State University

*Статья поступила в редакцию 11.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 539.193/.194;535/.33/34

**П.М. Элькин, Е.Ю. Степанович, В.Ф. Пулин, Н.А. Можаяева, М.Ф. Булатов**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «GAUSSIAN» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПОЛИМЕРОВ**

*На примере полиакрилонитрила описана схема расчета колебательных спектров полимеров в рамках гибридного метода функционала плотности DFT/b3LYP.*

Полиакрилонитрил, колебательные спектры, структурные модели.

**P.M. Elkin, E.Yu. Stepanovich, V.F. Pulin, N.A. Mozhaeva, M.F. Bulatov**

### **COMPUTER TECHNOLOGIES IN VIBRATION SPECTRA MODELLING OF POLYACRYLONITRILE**

*On the example of polyacrylonitrile the scheme of calculation of vibration spectra for polymers by DFT/b3LYP methods is described.*

Polyacrylonitrile, vibration spectra, structural models.

**Введение.** Предварительный этап в исследовании структуры известного металлополимера – полиакрилонитрил +Fe, +Ni предполагает анализ конформационной структуры базового соединения – полиакрилонитрила.

Использование методов колебательной спектроскопии для изучения кристаллической структуры полиакрилонитрила (ПАН) предпринято, к примеру, в работе [1]. Анализ колебательных спектров ПАН при различных конформациях отдельных звеньев полимерной цепи осуществлялся в рамках классического подхода [2]. Исходные значения гармонических силовых постоянных и электрооптических параметров были перенесены из соединений парафинового ряда и ацетонитрила [3].

Недостатки такого подхода хорошо известны [4], а достоверность полученной информации нуждается в дополнительном подтверждении. Таковым являются неэмпирические квантовые расчеты силовых и электрооптических параметров молекулярных фрагментов,



позволяющие оценить влияние ангармонизма колебаний. Для свободных молекул подобные исследования представлены, к примеру, в работе [5], для димеров – в публикациях [6-8]. Для ПАН можем сослаться на работы [9-11]. Однако используемый метод ХФР [12], как показано в монографии [5], для описания колебаний молекулярных фрагментов  $\text{CH}_2$  и  $\text{CH}_3$  неработоспособен.

В данной работе описаны возможности метода функционала плотности DFT/b3LYP/6-311G(d,p), реализованного в компьютерной технологии «Gaussian-03» [13].

**Модельные расчеты геометрии и колебательных состояний ПАН.** Помимо проблемы выбора базиса и метода расчета возникает вопрос о количестве рассматриваемых звеньев цепи и выборе ее конечных фрагментов. Для одного звена (ПАН\_1) конечными фрагментами нами выбраны метильные группы ( $\text{CH}_3$ ), поскольку замена двух атомов водорода этой группы на метильный и акрильный ( $\text{C}\equiv\text{N}$ ) фрагменты создает новое звено цепи ПАН (см. рисунок,  $X_5 = \text{H}$ ,  $Y_7 = \text{H}$ ). Взаимное расположение указанных фрагментов для двух соседних звеньев (модель ПАН\_2) определяет конформацию модельного соединения (см. рисунок,  $X_5 = \text{C}_5$ ,  $Y_7 = \text{C}_7\text{N}_{11}$ ). Отметим, что в этом случае меняется симметрия модельной молекулы ( $\text{C}_s$  и  $\text{C}_2$ ). Для других конформаций модельной молекулы из двух звеньев не удалось достичь оптимизации геометрии.

При отсутствии ангармонических резонансов качественная оценка ангармонического смещения колебательных полос фундаментальных колебаний может быть осуществлена применением процедуры масштабирования [14], или метода спектроскопической массы [3], что хорошо согласуется с результатами использования адиабатической теории возмущения второго порядка для описания ангармонизма колебаний [15]

$$E^{(v)} = v_s(n_s + g_s/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2)(l + 1/2\delta_{sr}). \quad (1)$$

Методика такой оценки, а также границы применимости соотношения (1) подробно рассмотрены в работе [16].

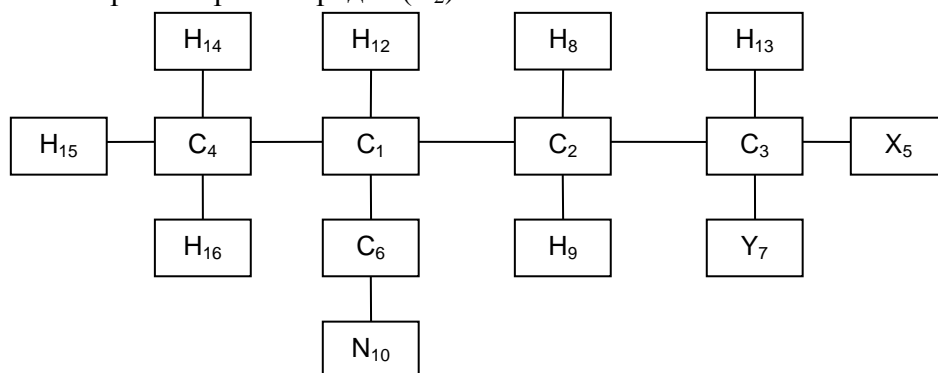
Оптимизация геометрии ПАН\_1 достигается для трансконформационного расположения молекулярных фрагментов относительно связей  $\text{C}_1\text{C}_2$  и  $\text{C}_2\text{C}_3$  и приводит к следующим результатам. Длины связей  $\text{C}_1\text{C}_2$ ,  $\text{C}_1\text{C}_4$ ,  $\text{C}_1\text{C}_6$ ,  $\text{C}_2\text{C}_3$  равны соответственно 1,55, 1,54, 1,47, 1,53 Å, связи  $\text{C}_6\text{N}_{10}$  – 1,15 Å, связей  $\text{CH}$  изменяются в пределах 1,09-1,10 Å, что с точностью до 0,01 Å совпадает с соответствующими длинами связей в пропане и ацетонитриле [3]. Отклонение валентных углов от тетраэдрических значений не превышает 3°. Исключение составляет значение угла  $\text{A}(\text{C}_1\text{C}_2\text{C}_3) = 114,2^\circ$ . Отклонение угла  $\text{A}(\text{C}_1\text{C}_6\text{N}_{10})$  от линейного укладывается в интервал 1,5°.

Интерпретация фундаментальных колебаний модельной молекулы ПАН\_1, представленная в табл. 1, позволяет сделать вывод о характеристичности колебаний метильной группы и фрагмента  $\text{CH}_2$  ( $q$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ) – валентных и деформационных колебаний связей  $\text{CH}$  ( $q'$ ,  $\beta$ ), валентных колебаний связи  $\text{CN}$  ( $Q_{\text{CN}}$ ). При этом расчетные значения частот указанных фундаментальных колебаний хорошо согласуются как с экспериментальными данными для указанных фрагментов из монографии [3] (в табл. 1 помечено \*), так и с отнесением, предложенным для этих молекулярных фрагментов в работе [1]. Поэтому при рассмотрении последующих молекулярных моделей, связанных с наращением звеньев в полимерной цепи, указанные колебания не рассматриваются, так же как крутильные колебания метильных групп.

Таким образом, интерес представляет характер поведения полос, интерпретированных как валентные колебания связей  $\text{CC}$ :  $\text{C}_1\text{C}_2$ ,  $\text{C}_1\text{C}_4$  ( $Q$ ),  $\text{C}_1\text{C}_6$  ( $Q''$ ), деформационные колебания валентных углов углеродного остова ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ), деформационные колебания валентных углов нитрильного фрагмента:  $\text{CCN}$  ( $\theta$ ,  $\rho$ ). Все эти колебания лежат в диапазоне ниже  $1100 \text{ cm}^{-1}$ , имеют слабую интенсивность в спектрах ИК и КР.

Добавление второго звена приводит к модельной молекуле ПАН\_2 (см. рисунок), две конформационные модели которой определяются относительным положением фрагментов

$N_{10}C_6C_1H_{12}$  и  $N_{11}C_7C_3H_{13}$ . Первая конформационная модель имеет плоскость симметрии ( $C_s$ ), вторая – ось симметрии второго порядка ( $C_2$ ).



Модельные молекулярные фрагменты полиакрилонитрила

Таблица 1

Интерпретация фундаментальных колебаний модельной молекулы ПАН\_1

Форма	$\nu_{\text{экс}}$	$\nu_{\text{гар}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	Форма	$\nu_{\text{экс}}$	$\nu_{\text{гар}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
q	2973*	3114	2970	20,6	67,4	$\beta$	1310	1367	1332	2,00	8,18
q	2973*	3109	2963	28,8	61,6	$\beta$	1247	1310	1285	0,05	8,53
q', q	2969*	3102	2961	23,8	55,2	$\beta, \alpha$	1227	1284	1252	0,19	1,34
q, q'	2930*	3093	2949	36,9	57,7	$\alpha, \beta$	1175	1179	1152	0,17	2,61
q	2930	3062	2918	8,67	78,8	$\beta, \alpha$	1115	1140	1119	0,99	1,12
q	2890*	3039	2954	26,0	150	Q', Q, $\alpha$	1070	1111	1084	2,49	6,86
q'	2890*	3030	2955	32,3	42,8	Q', Q	-	1027	1001	0,25	0,74
q, q'	2875*	3027	2951	9,10	119	Q', Q, $\alpha$	-	1021	1004	4,98	3,81
q''	2860	3017	2882	2,34	139	$\alpha, \beta, \varphi$	-	980	966	4,84	0,20
Q <sub>CN</sub>	2237	2348	2318	8,30	68,7	Q, Q'', $\alpha$	862	893	879	0,42	4,52
$\alpha$	1487*	1509	1471	6,87	2,91	$\beta, \alpha$	778	820	812	2,11	3,09
$\alpha$	1468*	1505	1462	8,44	6,53	Q'', $\beta$	-	745	736	0,35	4,89
$\alpha$	1468*	1502	1461	5,48	13,2	$\theta, \rho, \gamma'$	-	588	583	0,22	1,21
$\alpha, \beta$	1447	1498	1461	7,08	16,7	$\rho, \theta, \gamma'$	532	552	543	1,08	3,02
$\alpha, \beta$	1460*	1488	1450	1,80	4,66	$\gamma$	430	408	408	0,45	2,33
$\alpha, \beta$	1390*	1422	1390	6,18	0,60	$\theta, \rho$		281	277	1,24	1,44
$\alpha, \beta$	1360	1416	1387	1,85	1,58	$\gamma, \gamma'$	259	266	271	0,85	0,54
$\beta$	1335*	1370	1338	3,50	0,73	xx, $\theta, \gamma'$	127	163	170	3,60	1,98

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

Результаты оптимизации геометрии приводят к следующим результатам. Отличие соответствующих длин валентных связей ПАН\_1 и ПАН\_2 не превосходит  $0,002 \text{ Å}$ , тетраэдрических валентных углов –  $0,8^\circ$ . Такого же порядка отличие для соответствующих геометрических параметров конформационных моделей ПАН\_2. Наибольшее различие  $\sim 1,7^\circ$  имеет место для угла  $A(C_1C_2C_3)$  конформеров. Приведем расстояния между атомами фрагментов  $N_{10}C_6C_1H_{12}$  и  $N_{11}C_7C_3H_{13}$  конформеров. Для конформера симметрии  $C_s$  оптимизация дает следующие значения:  $R(N_{10}, N_{11}) = 3,75 \text{ Å}$ ,  $R(H_{12}, H_{13}) = 2,44 \text{ Å}$ ,  $R(N_{10}, H_{13}) = 4,35 \text{ Å}$ . Для конформера симметрии  $C_2$  соответствующие расстояния  $5,20 \text{ Å}$ ,  $3,07 \text{ Å}$ ,  $3,10 \text{ Å}$ . Как это сказывается на значениях частот фундаментальных колебаний, демонстрирует табл. 2.

Имеет место расхождение частот  $\sim 50 \text{ см}^{-1}$  для валентных колебаний углеродного скелета  $\text{C}_1\text{C}_2(\text{Q})$  и деформационного угла  $\text{C}_1\text{C}_2\text{C}_3$  ( $\gamma$ ). Для остальных колебаний в рассматриваемом диапазоне различие в параметрах полос не может служить основанием для идентификации конформеров. Интерпретация полос фрагмента  $\text{NCCH}$  в ПАН\_1 и ПАН\_2 дает основание говорить об их характеристичности по частоте при наращивании звеньев полимерной цепи.

Таблица 2

Интерпретация колебательного спектра модельной молекулы ПАН\_2

Модель_1					Модель_2				
Форма колеб.	$\nu_{\text{r}}$	$\nu_{\text{m}}$	ИК	КР	Форма колеб.	$\nu_{\text{r}}$	$\nu_{\text{m}}$	ИК	КР
	Тип симметрии A'					Тип симметрии A			
$\text{Q}_{\text{CN}}$	2349	2259	10,9	150	$\text{Q}_{\text{CN}}$	2343	2253	7,16	140
$\beta, \text{Q}, \gamma'$	1174	1140	2,76	3,22	$\beta, \alpha, \text{Q}$	1170	1137	1,79	2,67
$\text{Q}, \gamma'$	1081	1051	1,12	2,43	$\beta, \text{Q}, \gamma'$	1103	1072	0,29	4,42
$\beta, \text{Q}$	933	908	0,04	1,27	$\text{Q}, \beta, \gamma'$	1016	988	0,04	0,99
$\gamma', \text{Q}'', \beta$	771	751	0,58	4,65	$\text{Q}', \gamma, \beta$	791	771	0,71	7,62
$\rho, \theta, \gamma'$	599	585	0,17	5,68	$\gamma', \rho, \theta$	612	597	0,13	3,50
$\rho, \gamma'$	539	526	1,70	4,12	$\rho, \theta$	541	528	0,29	5,10
$\gamma, \theta$	363	355	0,89	2,38	$\gamma', \theta$	367	359	0,11	5,10
$\theta, \gamma'$	155	152	1,05	0,21	$\theta, \gamma$	109	107	0,20	2,16
Тип симметрии A''					Тип симметрии B				
$\text{Q}_{\text{CN}}$	2348	2258	0,89	14,9	$\text{Q}_{\text{CN}}$	2343	2253	13,7	45,4
$\text{Q}, \gamma', \beta$	1131	1099	4,37	3,60	$\text{Q}, \beta, \gamma'$	1134	1102	7,83	6,08
$\text{Q}, \beta$	1046	1018	1,04	5,29	$\text{Q}, \beta, \gamma'$	1050	1021	1,22	6,65
$\text{Q}, \beta$	1026	998	0,01	4,77	$\beta, \text{Q}$	968	942	2,29	0,65
$\text{Q}', \beta'$	810	789	0,26	0,09	$\text{Q}', \beta$	773	753	0,13	1,12
$\rho, \theta, \gamma'$	575	562	0,48	0,25	$\gamma, \rho, \theta$	578	564	0,54	0,31
$\theta, \rho$	564	551	0,04	0,40	$\theta, \rho$	566	553	1,69	0,01
$\gamma', \rho$	352	345	0,13	0,02	$\gamma', \rho$	356	348	1,03	0,01
$\theta, \gamma'$	153	150	13,4	5,11	$\theta, \gamma'$	201	197	6,69	0,98

Оптимизация геометрии модельной молекулы ПАН\_3 (см. рисунок) осуществлена для двух конформаций, связанных с взаимным расположением фрагментов  $\text{NCC}$ . Первая конформация соответствует простой трансляции указанного фрагмента вдоль трехзвневой цепи, вторая – перестановке центрального фрагмента  $\text{N}_{10}\text{C}_6\text{C}_1$  и примыкающей связи  $\text{C}_1\text{H}_{12}$ . Иными словами, два соседних звена образуют конформационную модель\_2 ПАН\_2. Обе модели принадлежат группе симметрии  $\text{C}_5$ .

Отличие в значениях соответствующих геометрических параметров для валентных связей и валентных углов модельных молекул ПАН\_2 и ПАН\_3 находятся в границах, указанных выше при сравнении ПАН\_1 и ПАН\_2. Расстояния между атомами соседних фрагментов  $\text{NCC}$  для первого конформера таковы:  $R_{\text{NN}}=3,76\text{\AA}$ ,  $R_{\text{NH}}=2,46\text{\AA}$ ,  $R_{\text{NH}}=3,87\text{\AA}$ . Для второго конформера соответственно  $5,19\text{\AA}$ ,  $3,04\text{\AA}$ ,  $3,09\text{\AA}$ . Таким образом, добавление звена приводит к увеличению  $R_{\text{NH}}$  для первой конформационной модели ПАН\_3. Сопоставление расчетных значений фундаментальных частот колебаний для рассмотренных двух конформеров модельной молекулы ПАН\_3 проведено в табл.3. Различие, по которому можно идентифицировать конформеры, определяется диапазоном ниже  $200 \text{ см}^{-1}$ , в котором численные методы компьютерной технологии «Gaussin» не обладают достаточной степенью надежности, о чем упоминалось, к примеру, в монографии [5].

Сравнение модельных расчетов, представленных в табл. 2 и 3, подтверждает, что они делокализованы.

Таблица 3

## Интерпретация колебательного спектра модельной молекулы ПАН\_3

Форма колеб.	Модель_1				Модель_2				
	$\nu_r$	$\nu_m$	ИК	КР	Форма	$\nu_r$	$\nu_m$	ИК	КР
	Тип симметрии A'								
Q <sub>CN</sub>	2357	2267	4,42	132	Q <sub>CN</sub>	2345	2256	14,7	164
Q <sub>CN</sub>	2356	2266	2,03	28,1	Q <sub>CN</sub>	2342	2253	7,74	87,1
$\beta, Q$	1164	1131	2,24	6,64	$\beta, Q$	1166	1133	1,75	3,99
$\beta, Q, \gamma$	1114	1083	2,07	5,29	$\beta, Q$	1114	1083	6,10	3,84
Q, $\gamma'$	1099	1068	6,14	2,74	$\beta, Q$	1103	1073	3,84	2,28
Q, $\gamma'$	1030	1002	0,11	2,05	Q, $\beta$	1025	997	0,00	0,81
Q', $\beta$	829	808	0,13	3,25	Q', $\beta$	812	792	0,92	10,2
Q', $\gamma'$	775	756	0,71	4,35	Q', $\beta$	775	756	0,16	1,22
$\rho, \gamma'$	600	586	0,04	4,02	$\rho, \theta, \gamma'$	596	582	0,18	2,96
$\theta, \rho, \gamma'$	572	559	0,36	3,44	$\rho, \theta, \gamma'$	575	561	2,37	0,56
$\rho, \gamma'$	536	524	1,70	4,19	$\rho, \theta, \gamma'$	541	528	0,56	6,02
$\gamma', \rho$	357	349	0,24	0,23	$\gamma'$	361	353	1,27	0,17
$\theta, \rho, \gamma'$	294	288	1,40	2,57	$\theta, \gamma$	291	285	0,58	4,26
$\theta, \rho, \gamma'$	277	271	2,74	2,79	$\rho, \gamma'$	267	261	1,61	1,84
$\theta, \rho, \gamma'$	244	239	2,57	2,50	$\theta, \gamma'$	251	246	3,91	2,22
$\theta, \gamma', \rho$	153	150	0,23	2,66	$\theta, \gamma'$	173	169	0,74	0,78
	Тип симметрии A''								
Q <sub>CN</sub>	2356	2266	1,66	27,4	Q <sub>CN</sub>	2345	2255	0,45	6,59
$\beta, Q$	1135	1103	8,17	2,37	$\beta, Q$	1143	1111	11,5	5,26
Q, $\gamma$	1079	1049	0,19	2,70	$\beta, Q$	1102	1071	0,00	0,14
Q, $\gamma'$	1061	1032	1,97	3,21	Q, $\beta$	1068	1039	0,98	14,1
Q, $\gamma'$	1040	1011	0,05	8,74	Q, $\beta$	1020	992	1,40	0,10
$\beta, Q$	924	900	1,39	0,15	$\beta, Q$	932	907	0,38	1,46
Q', $\gamma$	786	766	0,05	0,16	Q', $\beta$	767	748	0,00	0,10
$\rho, \gamma'$	623	608	0,95	0,26	$\rho, \theta, \gamma'$	644	629	0,34	0,29
$\rho, \gamma'$	572	558	0,28	0,57	$\rho, \theta, \gamma'$	572	559	0,43	0,44
$\rho, \gamma'$	547	534	0,21	0,72	$\rho, \gamma'$	549	536	0,02	0,11
$\theta, \rho, \gamma'$	408	399	0,24	0,41	$\gamma, \gamma'$	418	408	0,36	3,29
$\theta, \rho, \gamma'$	292	286	0,04	0,26	$\rho, \gamma'$	269	263	0,02	0,18
$\rho, \gamma'$	251	246	0,21	0,18	$\rho, \gamma'$	257	251	0,85	1,40
$\theta, \gamma'$	187	183	4,59	1,41	$\theta, \gamma'$	208	204	6,97	1,14
$\theta, \gamma', \rho$	134	132	15,2	4,34	$\theta, \gamma'$	108	106	0,00	2,93

Для выяснения дальнейшей тенденции в поведении указанных колебаний были осуществлены модельные расчеты ПАН\_4 и ПАН\_5. Как и в предыдущих модельных расчетах, рассматривались две конформационные модели. Одна соответствует трансляции звеньев (симметрия модельной молекулы  $C_s$ ), для другой имеет место чередование пространственной ориентации фрагмента NCCN (для четного числа звеньев симметрия  $C_2$ ).

Оптимизированные значения длин валентных связей для ПАН\_4 и ПАН\_5 с точностью до третьего знака мантиссы совпадают с соответствующими значениями для предыдущих молекулярных моделей, отклонения от углов тетраэдрических значений не превышают  $3,5^\circ$ , за исключением углов ССС углеродного остова ( $\gamma$ ), соседних с фрагментом  $CH_2$ , лежащих в интервале  $114,8-115,7^\circ$ . При этом наблюдается тенденция уменьшения значения с увеличением числа звеньев  $116,6^\circ, 116,0^\circ, 115,7^\circ, 114,8^\circ$ . Однако такие изменения не влияют на положение полос в колебательных спектрах [3,5].

Сравним, как это сделано выше, расстояния между атомами азота и водорода двух соседних фрагментов NCCN.

Для ПАН\_4, модель\_1:  $R_{NN} = 3,78 \text{ \AA}$ ,  $R_{HH} = 2,51 \text{ \AA}$ ,  $R_{NH} = 3,62 \text{ \AA}$  и  $R_{NN} = 3,68 \text{ \AA}$ ,  $R_{HH} = 2,42 \text{ \AA}$ ,  $R_{NH} = 4,31 \text{ \AA}$ . Для второй конформационной модели  $R_{NN} = 5,22 \text{ \AA}$ ,  $R_{HH} = 3,08 \text{ \AA}$ ,  $R_{NH} = 3,09 \text{ \AA}$  и  $R_{NN} = 5,15 \text{ \AA}$ ,  $R_{HH} = 3,15 \text{ \AA}$ ,  $R_{NH} = 3,14 \text{ \AA}$ .

Для ПАН\_5, модель\_2:  $R_{NN} = 5,20 \text{ \AA}$ ,  $R_{HH} = 3,09 \text{ \AA}$ ,  $R_{NH} = 3,09 \text{ \AA}$  и  $R_{NN} = 5,18 \text{ \AA}$ ,  $R_{HH} = 3,13 \text{ \AA}$ ,  $R_{NH} = 3,12 \text{ \AA}$ . Первый набор относится к концевым звеньям модельной молекулы, второй – к внутренним звеньям цепи.

Добавление звеньев не меняет общей картины расположения интерпретированных полос. Валентные колебания связей СС углеродного остова проявляются в частотных диапазонах  $930\text{-}1150 \text{ см}^{-1}$  (Q),  $750\text{-}820 \text{ см}^{-1}$  (Q'), деформационные колебания этого остова лежат ниже  $410 \text{ см}^{-1}$ . Деформационные колебания фрагмента NCC попадают в частотный интервал  $520\text{-}610 \text{ см}^{-1}$ . В интервале от  $100$  до  $300 \text{ см}^{-1}$  имеет место делокализация деформационных колебаний ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ,  $\theta$ ,  $\rho$ ). В диапазон ниже  $100 \text{ см}^{-1}$  попадают деформационное колебание углеродного остова ( $\gamma$ ) и крутильные колебания фрагментов относительно связей СС этого остова. Идентификация конформационных моделей затруднена из-за близкого расположения и низкой интенсивности колебательных полос в низкочастотной части спектра.

### Выводы.

1. Метод функционала плотности DFT/b3LYP позволяет построить структурно-динамическую модель полиакрилонитрила, оценить геометрическую структуру и конформационные свойства исследуемого полимера, параметры адиабатического потенциала. Выбор базиса расчета принципиального значения не имеет.

2. Ангармоническое приближение позволяет улучшить согласие с экспериментом, в первую очередь для высокочастотного диапазона колебательного спектра.

3. Существенное различие в расстояниях между атомами молекулярных фрагментов NCCN двух соседних звеньев для различных конформационных моделей позволяет предположить наличие разных механизмов межмолекулярного взаимодействия звеньев полимера с металлами. Такие модельные расчеты нами осуществляются.

**Заключение.** Показано, что методика построения структурно-динамических моделей свободных молекул на основании неэмпирических квантовых расчетов геометрии и параметров адиабатического потенциала может быть использована для решения аналогичных задач для полимеров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Грибов Л.А. Теоретический анализ и интерпретация колебательных спектров полиакрилонитрила и полиметакрилонитрила / Л.А.Грибов, С.Д.Демухамедова, О.В.Зубкова // Журнал прикладной спектроскопии. 1983. Т. 38. № 4. С. 605-613.

2. Колебание молекул / М.В. Волькенштейн, Л.А. Грибов, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. М.: Наука, 1972. 699 с.

3. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1970. 559 с.

4. Березин В.И. Прямые и обратные задачи спектроскопии циклических и комплексных соединений: дис. ... д-ра физ.-мат. наук / В.И. Березин. Саратов, 1983. 336 с.

5. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 548 с.

6. Элькин М.Д. Проявление межмолекулярного взаимодействия в димерах урацила / М.Д. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, О.Н. Гречухина // Известия Саратовского университета. Новая серия. 2008. Т. 8. № 2. С. 24-30.

7. Элькин П.М. Теоретический анализ таутомерных форм пурина / П.М. Элькин, О.В. Пулин, Е.А. Джалмухамбетова // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75. № 1. С. 23-27.

8. Моделирование адиабатических потенциалов карбоновых кислот / М.Д. Элькин, Т.А. Шальнова, В.Ф. Пулин, О.В. Колесникова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 1(37). С. 109-114.

9. Dependence of the vibrational frequencies and intensities on the configuration of polyacrylonitrile an ab initio study / D. Mathieu, N. Defranceschi, G. Lecayon et al. // J. Chemical Physics. 1993. Vol. 171(1). P. 133-143.

10. Insight into polyacrylonitrile molecular structure from calculated vibrational frequencies and infrared intensities / D. Mathieu, N. Defranceschi, G. Lecayon, J. Delhalle // Chemical Physics. 1994. Vol. 188(2). P. 183-195.

11. The vibrational spectroscopic study of polyacrylonitrile-based electrolyte / W. Zhaoxiang, H. Biying, H. Hong et al. // Spectrochimica Acta. 1996. Vol. 52A. № 6. P. 691-703.

12. Минкин В.И. Теория строения молекул / В.И. Минкин, В.Я. Симкин, Р.М. Мендяев. Ростов н/Д.: Феникс, 1997. 386 с.

13. Gaussian 03. Revision B.03 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel et al. Pittsburg PA, 2003. 680 p.

14. Краснощеков С.В. Масштабирующие множители как эффективные параметры для коррекции неэмпирического силового поля / С.В. Краснощеков, Н.Ф. Степанов // Журнал физической химии. 2007. Т. 81. № 4. P. 680-689.

15. Браун П.А. Введение в теорию колебательных спектров / П.А. Браун, А.А. Киселев. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 223 с.

16. Элькин П.М. Моделирование структуры и колебательных спектров кислородосодержащих соединений / П.М. Элькин, Т.А. Шальнова, О.Н. Гречухина // Известия Саратовского государственного университета. Новая серия. Физика. 2009. Т. 9. № 1. С. 24-30.

**Элькин Павел Михайлович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Elkin Pavel Mikhaylovich** – Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Assistant Professor of the Department of «Technical Physics and Information Technologies» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

**Степанович Екатерина Юрьевна** – аспирант кафедры «Общая физика» Астраханского государственного университета

**Stepanovich Ekaterina Yurevna** – Post-graduate Student of the Department of «General Physics» of Astrakhan State University

**Пулин Виктор Федотович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета

**Pulin Victor Fedotovich** – Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Assistant Professor of the Department of «Physics» of Saratov State Technical University

**Можяева Надежда Алексеевна** – ассистент кафедры «Информатика» Саратовского государственного технического университета

**Mozhaeva Nadezhda Alekseyevna** – Junior Teaching Staff Member of the Department of «Information Sciences» of Saratov State Technical University

**Булатов Марат Фаттыхович** – доктор физико-математических наук, доцент, директор Института физики Астраханского государственного университета

**Bulatov Marat Fattykhovich** – Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Assistant Professor, Director of the Institute of Physics of Astrakhan State University

*Статья поступила в редакцию 11.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*

## ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 538.911

**В.Б. Байбурин, Г.А. Деревягин, Б.М. Кац**

### **ДАТЧИК ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВ**

*Рассматривается проблема обеспечения надёжной работы датчиков в ультразвуковой измерительной системе расхода химически агрессивных газовых сред. Предложен датчик мембранного типа, надёжно работающий в агрессивных средах.*

Ультразвуковой датчик, агрессивная среда, газ.

**V.B. Bayburin, G.A. Derevyagin, B.M. Kats**

### **SENSOR FOR ULTRASONIC METERING OF CHEMICALLY AGGRESSIVE GAS FLOW RATE**

*Problem of providing reliable transducer procession in ultrasonic flow metering system for chemically aggressive gases is discussed. Reliable diaphragm transducer for aggressive gases is suggested.*

Ultrasonic sensor, aggressive environment, gas.

Одной из важнейших технических задач ультразвуковой расходомерии природного газа является создание надёжного и эффективного пьезоэлектрического преобразователя (датчика) [1].

Сложность создания датчика для газовых сред обусловлена большим различием акустического импеданса газовой среды  $z_1$  и импеданса колеблющейся поверхности пьезоэлемента  $z_2$ .

Во многих современных преобразователях применяется технология согласующего слоя между колеблющимся пьезоэлементом и газом. Материал согласующего слоя подбирается таким образом, чтобы его акустический импеданс  $z$  был промежуточным между импедансом колеблющегося пьезоэлемента и газовой средой [2]. Правильный подбор импеданса согласующего слоя позволяет увеличить мощность излучаемой энергии.

Вместе с тем, применение датчиков, использующих согласующий слой, нецелесообразно в случае химически агрессивных газов, воздействие которых существенно сокращает срок службы датчиков [3].

В настоящей работе предложен датчик мембранного типа, не требующий применения согласующего слоя и обеспечивающий надёжную работу измерительной системы в среде химически агрессивных газов. Внешний вид датчика представлен на рис. 1.

Конструкция датчика представлена на рис. 2 а, где 1 – излучатель, 2 – корпус датчика. В существующей измерительной системе излучатель является резонансным биморфным пьезопреобразователем мембранного типа (рис. 2 б). Такой преобразователь обеспечивает эффективное излучение и приём ультразвука на резонансной частоте за счёт преобразования радиальных колебаний диска пьезокерамики в изгибные колебания металлической мембраны достаточно большой амплитуды [1]. Излучатель и корпус датчика изготовлены из стали и являются устойчивыми к воздействию химически агрессивных сред.



Рис. 1. Внешний вид датчиков

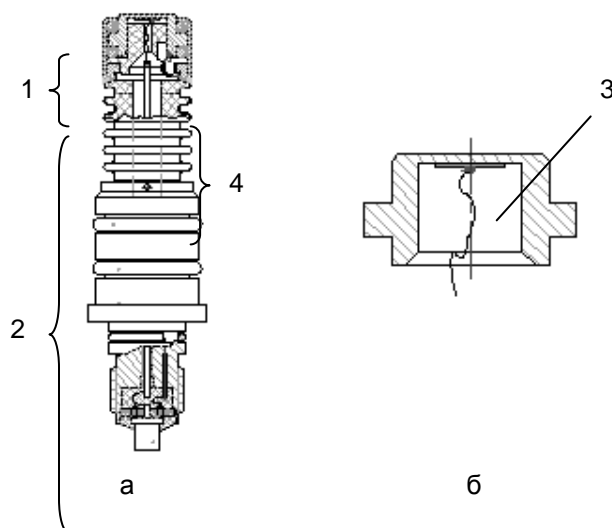


Рис. 2. Конструкция датчика: а – общий вид датчика; б – конструкция излучателя

Пьезокерамика 3 находится во внутренней полости датчика и защищена мембраной от воздействия внешней среды (рис. 2 б). Излучающая мембрана совмещена с внутренней поверхностью трубопровода. Это позволяет свести к минимуму взаимодействие измерительной системы и потока газовой среды.

Для обеспечения прочности датчика при эксплуатации в зонах высокого давления применена компенсационная конструкция датчика. Для этого в конструкции датчика применен компенсационный канал, обеспечивающий условие, при котором внутренняя полость датчика находится под тем же давлением, что и внешняя. Для защиты от воздействия агрессивной среды пьезокерамический диск покрывается лаком.

Для устранения паразитных волн, возникающих в корпусе датчика при колебании мембраны и влияющих на его динамические характеристики, разработана акустическая развязка 4 излучателя с остальной частью датчика (рис. 2 а). Конструктивно развязка представляет гофрированную трубку, заполненную звукопоглощающим материалом. Для улучшения акустической развязки излучатель соединён с корпусом посредством двух резиновых колец, амортизирующих колебания излучателя в рабочем режиме.



Одним из важнейших свойств датчика в системе ультразвукового измерения расхода газа является способность формировать достаточно короткий акустический сигнал.

Недостатком предложенного датчика является высокая добротность, обеспечивающая сравнительно длинный «хвост» послеимпульсных свободных колебаний, затрудняющий их использование в системе измерения расхода газа. В связи с этим был предложен способ формирования акустического сигнала, заключающийся в формировании электрического сигнала на входе датчика, который после инициации колебаний излучающей мембраны в течение заданного времени гасит свободные колебания мембраны за счёт изменения фазы на  $180^\circ$ .

На рис. 3 а представлен сигнал, снимаемый с датчика после подачи единичного импульсного сигнала. Видно, что сигнал имеет достаточно длинный «хвост» свободных колебаний длительностью  $\tau_1$ . На рис. 3 б представлен сигнал на датчике, сформированный с помощью описанного выше электрического сигнала, меняющего свою фазу на  $180^\circ$ . Видно, что свободные колебания затухают значительно быстрее ( $\tau_2 \ll \tau_1$ ).

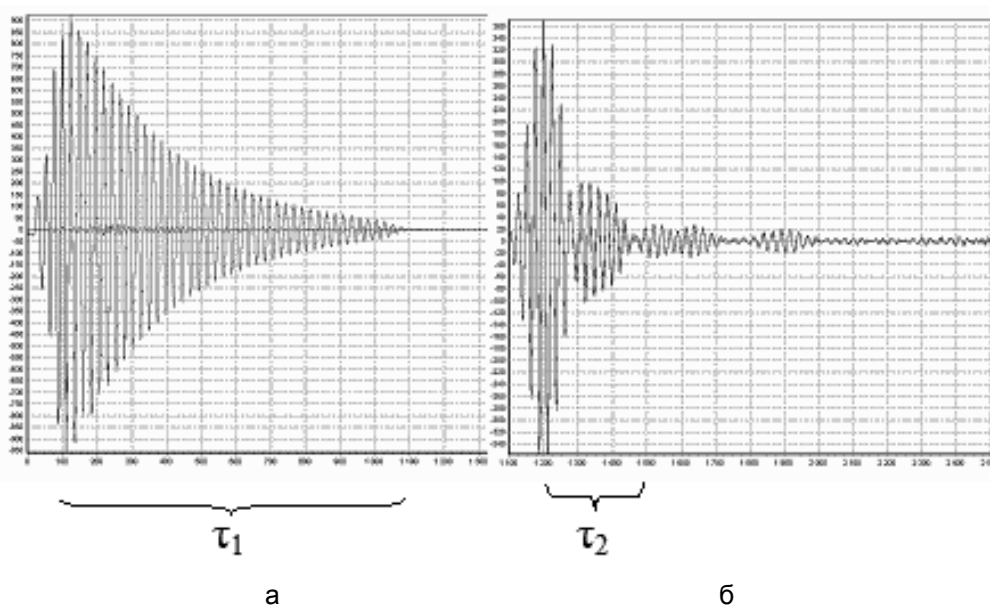


Рис. 3. Сигнал на датчике: а – без гашения свободных колебаний; б – с гашением

Таким образом, предложенный тип датчика формирует достаточно короткий акустический сигнал и обеспечивает надёжную работу измерительной системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. М.: Техносфера, 2006. 628 с.
2. Shiraishi S. Acoustic matching member, ultrasonic transducer, ultrasonic flowmeter and method manufacturing the same / S. Shiraishi, N. Takahara, M. Suzuki // Patent no EP 1 363 269 A2, G10K 11/02.
3. Dietz T. Impact of regulator noise on ultrasonic flow meters in natural gas / T. Dietz, V. Herrmann // 7th International South East Asia hydrocarbon flow measurement workshop. Malaysia, Kuala Lumpur, 2008. 17 с. [www.flowsic600.ru/documents/conferencepapers](http://www.flowsic600.ru/documents/conferencepapers).

**Байбурин Вил Бариевич** –  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой

**Bayburin Vil Bariyevich** –  
Doctor of Sciences in Physics and Mathematics,  
Professor, Head of the Department

«Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

of «Software for Computing Engineering and Automated Systems» of Saratov State Technical University

**Деревягин Глеб Александрович** – аспирант кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

**Derevyagin Gleb Aleksandrovich** – Post-graduate Student of the Department of «Software for Computing Engineering and Automated Systems» of Saratov State Technical University

**Кац Борис Маркович** - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий инженер ООО НПФ «Вымпел», г. Саратов

**Kats Boris Markovich** – Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer, Senior Engineer of NPF «Vympel», LLC, Saratov

*Статья поступила в редакцию 16.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 538.911

**Г.А. Деревягин**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОДАТЧИКА МЕМБРАННОГО ТИПА**

*На основе применения программного комплекса COMSOL Multiphysics проанализировано влияние размеров пьезокерамического диска и толщины излучающей мембраны на характеристики пьезоэлектрических датчиков. Полученные результаты применены при проектировании датчика для системы ультразвукового измерения расхода природного газа.*

Численное моделирование, датчик, пьезоэффект.

**G.A. Derevyagin**

### **DIAPHRAGM PIEZOELECTRIC SENSOR RESEARCH**

*Comsol Multiphysics modeling is used in the analysis of influence of piezoelectric disc diameter and thickness of diaphragm on the characteristics of piezoelectric sensors. The results are applied in the sensor designed for ultrasonic gas flow rate metering system.*

Numerical modeling, sensor, piezoelectric effect.

Эффективная работа пьезоэлектрического датчика лежит в основе ультразвукового метода измерения расхода газа [1].

Известны работы [2, 3], посвящённые аналитическим методам исследования пьезодатчиков. Однако практическая ценность результатов этих работ ограничена вследствие использова-

ния ряда упрощающих допущений. В частности, широко распространённое условие абсолютно жёсткого закрепления излучающей мембраны на боковой поверхности приводит к значительному завышению частоты механического резонанса по сравнению с реальным случаем.

Новые возможности исследования и оптимизации датчика открылись в связи с появлением программных средств моделирования, позволяющих методом конечных элементов решать взаимосвязанные задачи акустики, эластокинетики и электроупругости. Одним из таких средств является программный комплекс Comsol Multiphysics, позволяющий моделировать работу резонансного пьезоэлектрического датчика мембранного типа, конструкция которого схематически представлена на рис. 1 в осесимметричном виде.

Здесь металлическая круглая мембрана 1 с приклеенным к ним пьезокерамическим диском 2 жёстко закреплена в корпусе 3, материал которого совпадает с материалом мембраны.

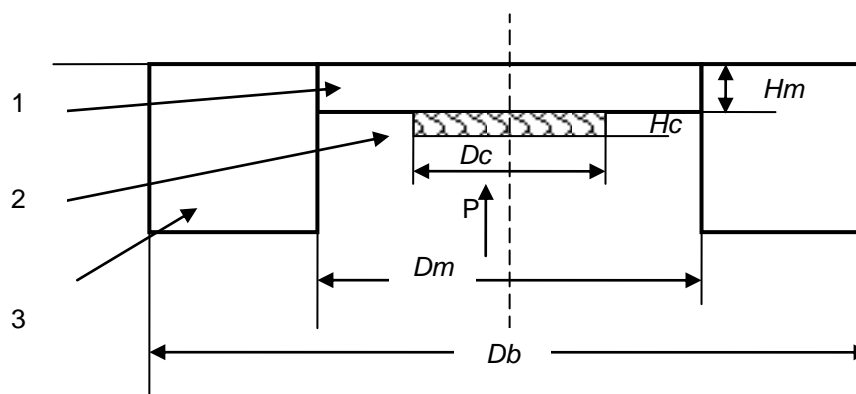


Рис. 1. Конструкция пьезодатчика: 1 – мембрана; 2 – пьезокерамика; 3 – корпус

Контакт пьезокерамики и мембраны будем считать идеальным, нижнюю поверхность корпуса – жёстко закреплённой, остальные поверхности – свободными. Рассмотрим три варианта материала мембраны и корпуса: сталь, титан и алюминий. В качестве материала пьезокерамики возьмём PZT-5A, отечественным аналогом которой является ЦТС-19 (цирконат-титанат-свинец). Будем считать, что диск пьезокерамики поляризован по толщине, его верхняя поверхность заземлена, а на нижнюю подаётся заданный потенциал.

Важнейшими характеристиками мембранного резонансного пьезодатчика являются его резонансная частота  $f_R$  и коэффициент электромеханического преобразования  $k$  (КЭМП), который можно определить как [4]:

$$k = v / U ,$$

где  $v$  – средняя по поверхности амплитуда скорости мембраны при подаче гармонического напряжения с амплитудой  $U$ .

Одной из практически важных задач является разработка датчика с заданным значением резонансной частоты, которая, как известно, существенно зависит от толщины излучающей мембраны. С помощью программного комплекса COMSOL была построена зависимость резонансной частоты  $f_R$  от величины  $Hm$  (рис. 2) при следующих геометрических размерах датчика:  $Dm = 11$  мм,  $Db = 16$  мм,  $Hc = 0,3$  мм,  $Dc = 0,85$  мм. На датчик подаётся гармоническое напряжение с амплитудой  $U = 1$  В.

Полученная зависимость показывает, что с увеличением толщины мембраны резонансная частота повышается. Физически это объясняется тем, что увеличение толщины мембраны влечёт повышение её жёсткости, за счёт которой мембрана колеблется с большей частотой. Примечательно, что небольшое изменение величины мембраны  $Hm$  – на 0,01 мм – влечёт существенное изменение резонансной частоты порядка 500 Гц.

Ещё одной практически важной задачей является подбор размеров пьезокерамического диска, при котором будет достигаться наиболее эффективное электромеханическое преобразование энергии. Данная задача актуальна при разработке ультразвуковой измерительной системы с низким энергопотреблением.

Средствами COMSOL была получена зависимость коэффициента электромеханического преобразования  $k$  от диаметра пьезодиска  $D_c$  (рис. 3), которую можно объяснить физически следующим образом.

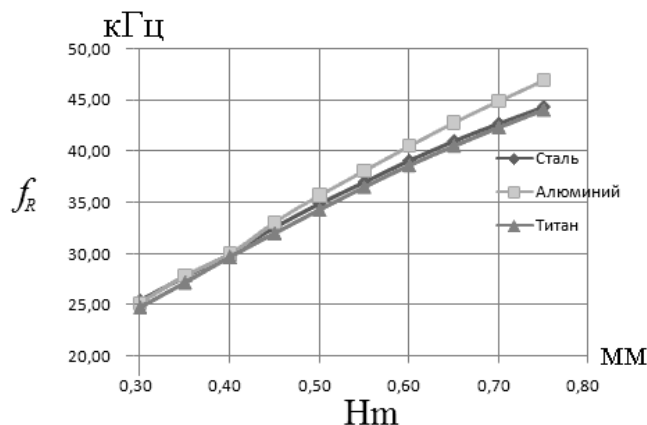


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты от толщины мембраны

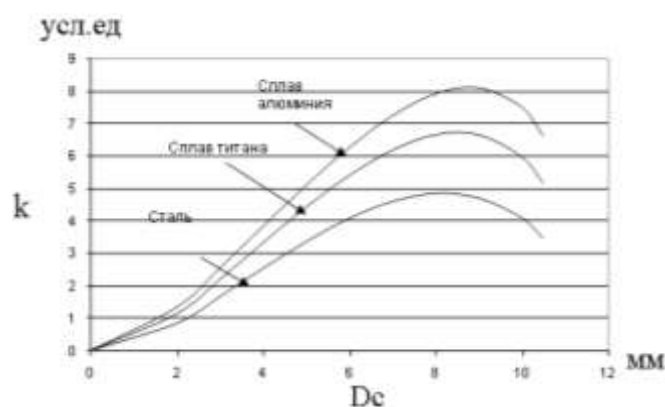


Рис. 3. Зависимость коэффициента электромеханического преобразования от диаметра пьезодиска

Под действием переменного напряжения за счёт обратного пьезоэффекта диск начнёт деформироваться в радиальном направлении и за счёт касательных напряжений изгибать мембрану. Понятно также, что мембрана будет изгибаться слабо как при малом диаметре пьезодиска  $D_c$ , так и при  $D_c$ , стремящемся к диаметру мембраны  $D_m$ , и, следовательно, иметь малую амплитуду скорости колебаний. Из непрерывности зависимости  $k$  от  $D_c$  следует существование оптимального размера  $(D_c)_{opt}$ , при котором электромеханическое преобразование будет наиболее эффективным.

Полученный расчёт позволяет делать рекомендации при выборе размера пьезокерамического диска, а также материала мембраны и корпуса датчика. В соответствии с рис. 3 для эффективного электромеханического преобразования следует выбрать пьезокерамический диск с диаметром  $D_{c_{opt}} \approx 8,5-9$  мм.

В заключение отметим, что резонансная частота реальных датчиков, соответствующих конструкции рис. 1 и изготовленных из стали с толщиной мембраны  $H_m = 0,57$ , составляет  $(38,5 \pm 1,0)$  кГц, а расчетное значение резонансной частоты в соответствии с рис. 2 со-

ставляет 37,8 кГц. Оптимальные размеры толщины излучающей мембраны и диаметра пьезодиска были применены при проектировании мембранного пьезоэлектрического датчика.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2264602. Ультразвуковой способ измерения расхода жидких и/или газообразных сред и устройство для его осуществления / А.С.Фомин, А.М. Деревягин, В.И. Свистун. 2005.
2. Шарапов В.М. Пьезокерамические преобразователи физических величин / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. Черкассы: ЧГТУ, 2005. 631 с.
3. Шульга Н.А. Колебания дискового биморфного преобразователя типа металл-пьезокерамика / Н.А. Шульга, В.М. Шарапов, С.И. Рудницкий // Прикладная механика. 1990. Т. 26. № 10. С. 64-72.
4. Фардуев В.В. Электроакустика / В.В. Фардуев. М.-Л.: ОГИЗ, 1948. 515 с.

**Деревягин Глеб Александрович** – аспирант кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

**Derevyagin Gleb Aleksandrovich** – Post-graduate Student of the Department of «Software for Computing Engineering and Automated Systems» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 16.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 53.08

**В.П. Пронин, И.С. Панова**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА И ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ**

*Представлены математическое описание процессов возникновения индуцированных зарядов и токов в цепи зонда, способ определения индуцированного заряда с применением модификаций двух моделей зондовых систем, для определения плотности заряда, усредненной по всей поверхности образца и в локальной области. Приведена структурная схема измерений плотности поверхностного заряда слоя.*

Поверхностный электрический заряд, метод электростатической индукции, неразрушающие измерения, зондовый метод, схема измерений.

**V.P. Pronin, I.S. Panova**

#### **DEFINITION OF THE SURFACE ELECTRIC CHARGE AND PARAMETRES OF HETEROGENEOUS STRUCTURES BY THE METHOD OF THE ELECTROSTATIC INDUCTION**

*In the given operation the mathematical description of processes of occurrence of induced charges and currents are presented to zoned networks, an expe-*

*dent of definition of an induced charge with application of modifications of two models probe systems, for definition of the density of charge averaged on all surface of the sample and in local field. The block diagram of measuring of density of a surface charge of a stratum is given.*

Surface electric charge, method of the electrostatic induction, nondestructive test, probe method, scheme of measurements.

Изменение поверхностного заряда различных радиотехнических аппаратов и приборов играет важную роль, поскольку под действием внешних факторов диэлектрики имеют способность накапливать электрический заряд, который может создавать значительные напряженности электрического поля, вызывающие электрические искровые разряды, что может привести к выходу из строя различной радиотехнической аппаратуры. Поэтому разработка методов исследования процессов накопления электрического заряда диэлектриками и их релаксация играют значительную роль, как при разработке новой радиотехнической аппаратуры, так и при создании электретных состояний вещества, а также при исследовании пьезоэлектрических материалов [1].

В общем случае система  $N$  электродов с потенциалами  $U_j$  ( $j = 1 \dots N$ ) создает электрическое поле в диэлектрической среде. Диэлектрическая проницаемость является функцией координат и не зависит от поля  $\varepsilon = \varepsilon(x, y, z)$ . В междуэлектродном пространстве могут находиться объемные заряды  $\rho = \rho(x, y, z)$  и поверхностные заряды, распределенные с плотностью  $\sigma = \sigma[x, y, z(x, y)]$ .

В системе существует поле

$$\varphi(x, y, z) = F(x, y, z, \mathbf{u}, \rho, \sigma, \varepsilon), \quad (1)$$

которое определяется также формой, расположением электродов и границами раздела диэлектриков.

В данной системе электродов может существовать другое поле, в котором объемные и поверхностные заряды исключаются из рассмотрения, потенциалы всех электродов, кроме  $k$ -го, равны нулю, а потенциал  $k$ -го электрода равен единице.

$$\Phi = F(x, y, z, \varepsilon). \quad (2)$$

Соотношение, учитывающее общий случай возбуждения квазиэлектростатического поля в системе электродов, позволяет рассматривать частные случаи электрических индукционных систем и их комбинации, которые приводят к расширению функциональных возможностей исследовательских средств, построенных на этой основе [2].

$$\sum_{j=1}^N \int_{S_j} \varepsilon_a \left( \varphi \frac{\partial \Phi_k}{\partial n_j} - \Phi_k \frac{\partial \varphi}{\partial n_j} \right) dS_j + \sum_{\Phi=1}^m \int_{S_p} \sigma_p \Phi_{k_p} dS_p + \int_V \rho \Phi_k dV = 0. \quad (3)$$

Заметим, что если поле  $\Phi$  создается несколькими электродами с потенциалами  $-1 \leq \Phi_k \leq +1$ , что обусловлено одновременным измерением индуцированных зарядов или токов в цепях этих электродов с разными весовыми коэффициентами, то на основании принципа суперпозиции  $\Phi = \sum_{k=1}^l \alpha_k \Phi_k$  соотношение (3) примет вид

$$\sum_{k=1}^l \alpha_k \sum_{j=1}^N \int_{S_j} \varepsilon_a \left( \varphi \frac{\partial \Phi_k}{\partial n_j} - \Phi_k \frac{\partial \varphi}{\partial n_j} \right) dS_j + \sum_{k=1}^l \alpha_k \sum_{p=1}^m \int_{S_p} \sigma_p \Phi_{k_p} dS_p + \sum_{k=1}^l \alpha_k \int_V \rho \Phi_k dV = 0. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следуют частные случаи:

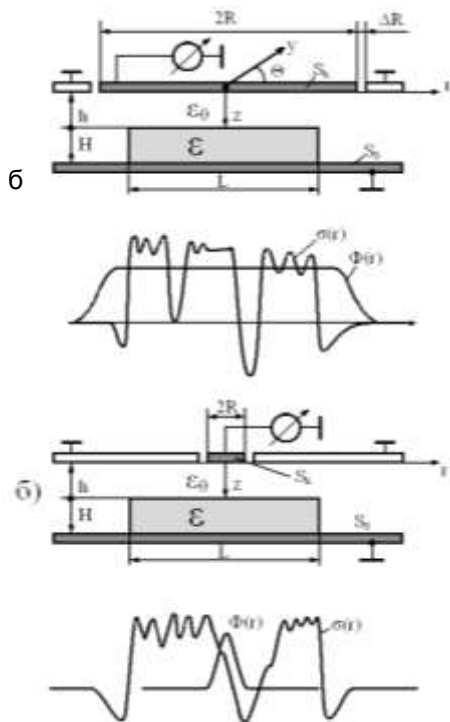


Рис. 1. Модели зондовых систем с круглым измерительным электродом:  
 а – поле  $\Phi(r)$  постоянно в области существования заряда  $\sigma(r)$ ;  
 б –  $\Phi(r)$  сосредоточено в локальной области  $\sigma(r)$

1. Поле в системе электродов возбуждается с помощью внешних источников напряжения  $u_j$ , подключенных к  $S_j$ , а объемные и поверхностные заряды отсутствуют. Заряд, индуцированный на  $k$ -м электроде, будет

$$q_k = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^N \varphi_j C_{jk}, \quad (5)$$

где  $C_{jk}$  – частичные емкости между  $j$ -м и  $k$ -м электродами.

В системе электродов только объемные заряды

$$q_k = \int_V \rho(x, y, z) \Phi_k(x, y, z, \epsilon) dV. \quad (6)$$

2. Поле образуется поверхностными зарядами. Объемные заряды отсутствуют, потенциалы всех проводников равны нулю, а индуцированный заряд измеряется в цепи  $k$ -го электрода

$$q_k = \sum_{p=1}^m \int_{S_p} \sigma_p(x, y, z) \Phi_{kp}(x, y, z, \epsilon) dS_p, \quad (7)$$

где  $p$  – граница раздела диэлектриков.

В простейшем случае – определении плотности поверхностного заряда диэлектрического слоя на проводящей подложке – имеют место два типа моделей зондовых систем с круглым измерительным электродом, которые представлены на рис. 1, соответственно

для определения плотности заряда, усредненной по всей поверхности образца ( $2R > L$ ) и в локальной области ( $2R \ll L$ ). В данной работе рассматриваются интегральные измерения, то есть измерение заряда с усреднением по поверхности всего объекта.

Краевая задача для определения  $\Phi$  формулируется следующим образом:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0;$$

$$\Phi(0, r) \Big|_{\substack{z=0 \\ r \in (0, R)}} = 1; \quad \Phi(a, r) \Big|_{\substack{z=H+h \\ r \in (R, \infty)}} = 0; \quad \frac{\partial \Phi'}{\partial z} \Big|_{z=h} = \epsilon \frac{\partial \Phi''}{\partial z} \Big|_{z=h}. \quad (8)$$

Решение (8) для модели с локализацией поля  $\Phi$  (см. рис. 1 б) выражается в виде сходящихся рядов, а если  $\Phi(r) = \text{const}$  в области существования заряда, то  $\Phi$  может быть представлено как плоскопараллельное поле

$$\Phi = \frac{H}{H + \epsilon h}, \quad (9)$$

где  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя.

Следовательно,  $\Phi$  является коэффициентом передачи зондовой системы и индуцированный на измерительном электроде заряд будет пропорционален интегральному значению плотности  $\sigma(r, \Theta)$ .

$$q_H = \frac{H}{H + \epsilon h} \int_{S_k} \sigma(r, \Theta) dS_k. \quad (10)$$

Практически важно наличие диэлектрического зазора  $\Delta R$  между измерительным электродом зонда и экраном, с учетом которого коэффициент передачи будет [1]

$$K = \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right) \frac{H}{H + \varepsilon h}. \quad (11)$$

Это соотношение выполняется при  $0,1 \leq \Delta R/R \leq 0,5$  в диапазоне изменения  $h$  и  $H$  от  $0,2R$  до  $1,2R$  и диэлектрической проницаемости от 2 до 6 с погрешностью 1...3%, в то время как без учета  $\Delta R$  погрешности значительны. Одна и та же зондовая система имеет разные распределения  $\Phi$ , зависящие от толщины слоя, диэлектрической проницаемости и расстояния до его заряженной поверхности (рис. 2).

Непосредственное измерение индуцированного на электроде зонда заряда требует наличия индикаторов, обладающих большим входным сопротивлением. Такие измерения в сильной степени зависят от внешних факторов – влажности, температуры, давления, ионизирующих излучений и других. Для исключения этого влияния используется параметрическое преобразование индуцированного заряда в электрический ток или непосредственно в цепи зонда за счет периодического изменения расстояния измерительного электрода до поверхности исследуемого слоя, либо за счет сканирования последнего, или вследствие одновременного применения этих способов.

При усреднении информации о плотности заряда по определенной площади  $S$  из (10) имеем

$$q_H = \frac{\sigma[(x_0 + v_x t), y] SH}{H + \varepsilon(h_0 + \Delta h \sin \Omega t)}. \quad (12)$$

Для индуцированного тока справедливо

$$i_H(t) = \frac{dq_H}{dt} = \frac{v_x SH \text{grad}_x \sigma}{[H + \varepsilon(h_0 + \Delta h \sin \Omega t)]} - \frac{\varepsilon \Delta h \Omega \sigma[(x_0 + v_x t), y] S H \cos \Omega t}{[H + \varepsilon(h_0 + \Delta h \sin \Omega t)]^2}. \quad (13)$$

Если  $v_x = 0$ , то

$$\int_i \frac{\varepsilon \Delta h \Omega \sigma[(x_0 + v_x t), y] S H \cos \Omega t}{[H + \varepsilon(h_0 + \Delta h \sin \Omega t)]^2} dt = \frac{\sigma(x, y) SH}{H + \varepsilon(h_0 + \Delta h \sin \Omega t)}. \quad (14)$$

Заметим, что размеры измерительного электрода могут быть больше размеров заряженного слоя или значительно меньше его, так что в первом случае поверхность полностью находится в однородном поле  $\Phi$ , а во втором поле сконцентрировано в пределах малой площади.

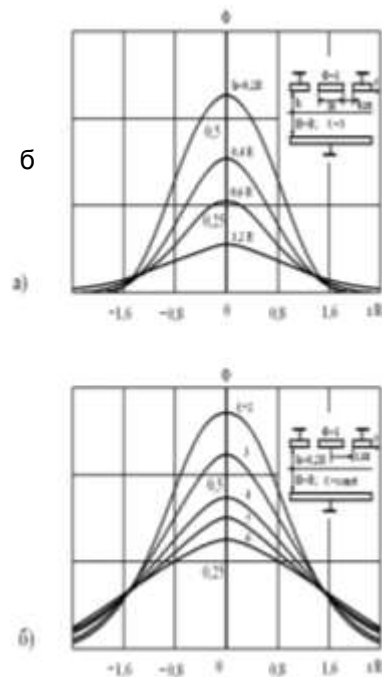


Рис. 2. Зависимость  $\Phi$  от  $r/R$  при различных  $h$  (а) и различных  $\varepsilon$  (б)

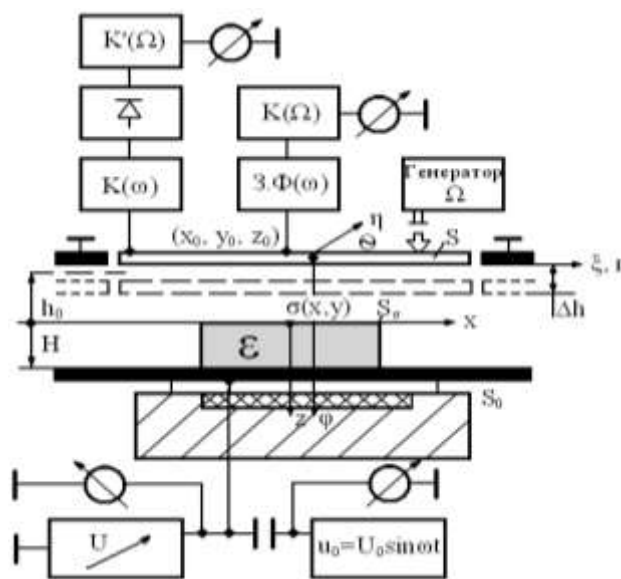


Рис. 3. Структурная схема измерений плотности заряда диэлектрического слоя с усреднением по поверхности образца:  $\varepsilon$  – исследуемый образец;  $S$  – сигнальный электрод;  $K(\omega)$  – усилитель частоты  $\omega$ ;  $K'(\Omega)$  – усилитель моделирующей частоты;  $3.\Phi(\omega)$  – заграждающий фильтр;  $K(\Omega)$  – усилитель моделирующей частоты  $\Omega$ ;  $U$  – управляемый источник постоянного напряжения;  $u_0 = U_0 \sin \omega t$  – генератор частоты  $\omega$



Индукцированный заряд и ток являются функциями корреляции двух пространственных распределений – функции  $\Phi$  и зарядового распределения  $\sigma(x,y)$ , которые могут быть выражены в системе координат, связанной либо с зондом, либо со слоем. Схема измерений представлена на рис. 3. Поле в системе электродов  $S_0$  и  $S$  создается за счет постоянного напряжения  $U$ , гармонического напряжения  $u_0 = U_0 \sin \omega t$  и поверхностного заряда  $\overline{\sigma S}$ . Индуцированный на зонде заряд равен

$$q_H = [H + \varepsilon(h_0 \pm \Delta h \sin \Omega t)]^{-1} \cdot (\sigma SH + \varepsilon_0 SU + \varepsilon_0 U_0 \sin \omega t). \quad (15)$$

Представив первый сомножитель (15) в виде степенного ряда, получим

$$q_H = \frac{\varepsilon_0 SU}{H + \varepsilon h_0} \left( 1 - \frac{\varepsilon \Delta h}{(H + \varepsilon_0 h)} \sin \Omega t \right) \sin \omega t - \frac{\varepsilon \Delta h}{(H + \varepsilon_0 h)^2} [\sigma SH - \varepsilon_0 SU] \sin \Omega t. \quad (16)$$

Индукцированный заряд определяется гармонической составляющей частоты  $\Omega$  и амплитудно-модулированным сигналом с несущей частотой  $\omega$  и модулирующей  $\Omega$ .

Входное напряжение на селективном усилителе  $K(\omega)$  и заграждающем фильтре низкочастотного селективного канала  $\Omega$  равно  $U_{\text{вх}} = qH/C_{\text{вх}}$ , где  $C_{\text{вх}}$  – емкость измерительного электрода или  $U_{\text{вх}} = \frac{dq_H}{dt} R_{\text{вх}}$  и имеет вид

$$U_{\text{вх}} = \frac{\varepsilon_0 SU_0}{C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)} \left[ \sin \omega t + \frac{1}{2} \cos(\omega - \Omega)t - \frac{1}{2} \cos(\omega + \Omega)t \right] - \frac{\varepsilon \Delta h}{C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)^2} [\sigma SH - \varepsilon_0 SU] \sin \Omega t. \quad (17)$$

На выходе усилителя  $K(\Omega)$  будет действовать переменное напряжение с амплитудой

$$U_{\text{вых}}(\Omega) = \frac{\varepsilon \Delta h (\sigma SH + \varepsilon_0 SU) K(\Omega)}{C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)^2}, \quad (18)$$

а на выходе усилителя  $K(\omega)$  амплитуда несущей частоты равна

$$U_{\text{вых}}(\omega) = \frac{\varepsilon_0 SU_0 K(\omega)}{C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)^2}. \quad (19)$$

После детектирования напряжение модулирующей частоты усиливается и на выходе  $K(\Omega)$  имеет место напряжение с амплитудой

$$U'_{\text{вых}}(\Omega) = \frac{\varepsilon^2 \varepsilon_0 \Delta h U_0 K(\omega) K'(\Omega)}{C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)^2}. \quad (20)$$

Из (16) при  $U = 0$  следует

$$U_{\text{вых}}(\Omega) = \frac{\varepsilon \Delta h \overline{\sigma S} HK(\Omega)}{C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)^2} \rightarrow \overline{\sigma S} = \frac{U_{\text{вых}}(\Omega) C_{\text{вх}} (H + \varepsilon h_0)^2}{\varepsilon \Delta h HK(\Omega)}. \quad (21)$$

Для измерения плотности заряда, усредненной по поверхности зонда  $S$ , кроме заданных  $U_{\text{вых}}(\Omega)$ ,  $C_{\text{вх}}$  и  $K(\Omega)$  необходима информация о толщине слоя  $H$ , его диэлектрической проницаемости, расстоянии от зонда до заряженной поверхности  $h_0$  и амплитуде вибрации  $\Delta h$ .

Интересен случай, когда  $U \neq 0$ , причем его полярность противоположна зарядовой. Изменением  $U$  можно добиться отсутствия выходного сигнала на частоте  $\Omega$

$$\sigma SH - \varepsilon_0 SU = 0 \rightarrow \overline{\sigma S} = \frac{\varepsilon_0 SU}{H}. \quad (22)$$

Плотность заряда пропорциональна напряжению  $U$ , подаваемому на подложку, и не зависит от расстояния  $h_0$  и амплитуды вибрации  $\Delta h$ .

Как правило, толщина слоя  $H$  известна, а относительную диэлектрическую проницаемость можно определить из (19)

$$\varepsilon = \frac{U_{\text{был}}(\omega)HC_{\text{ex}}}{\varepsilon_0 S U_0 K(\omega) - h_0 U_{\text{был}}(\omega)C_{\text{ex}}}. \quad (23)$$

Подставив полученное выражение в (22), имеем

$$\overline{\sigma S} = \frac{U_{\text{был}}(\omega)C_{\text{ex}}\varepsilon_0 S U}{\varepsilon_0 S U_0 K(\omega) - h_0 U_{\text{был}}(\omega)C_{\text{ex}}}. \quad (24)$$

При известном расстоянии от зонда до поверхности слоя  $h_0$  средний заряд поверхности  $S$  определяется однозначно при измеренном значении  $U_{\text{был}}(\omega)$  и заданных  $S_{\text{вх}}, S, U, U_0, K(\omega)$ .

Погрешность определения заряда – полный дифференциал функциональной зависимости (22). Так, при  $U_{\text{был}}(\omega) = 1$  В;  $\Delta U_{\text{был}}(\omega) = 10^{-2}$  В;  $C_{\text{ex}} = 10^{-10}$  Ф;  $\Delta C_{\text{ex}} = 10^{-12}$  Ф;  $S = 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $\Delta S = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>;  $U = 500$  В;  $\Delta U = 1$  В;  $U_0 = 10$  В;  $\Delta U_0 = 0,1$  В;  $K(\omega) = 50$ ;  $\Delta K(\omega) = 1$ ;  $h_0 = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м;  $\Delta h_0 = 5 \cdot 10^{-5}$  м она составляет  $\approx 10^{-11}$  Кл, а поверхностная плотность заряда определяется с погрешностью порядка  $10^{-7}$  Кл/м<sup>2</sup>.

Соотношение (20) может быть использовано для определения амплитуды вибрации сигнального электрода зонда или заряженного слоя при неподвижном зонде. При отсутствии такой необходимости из структурной схемы исключаются детектор и усилитель  $K(\Omega)$ .

Аналогичные соотношения имеют место и в случае локальных измерений плотности заряда, учитывающих распределение подынтегральной функции  $\Phi(x, y, z, \varepsilon)$ .

Если параметрическая модуляция отсутствует, то из (12) и (13) следует

$$q_H = \frac{\sigma[(x_0 + v_x t), y]SH}{(H + \varepsilon h)}; \quad (25)$$

$$i_H(t) = \frac{v_x SH \text{grad}_x \sigma}{(H + \varepsilon h)}.$$

Индукцированный заряд пропорционален плотности поверхностного заряда, усредненного по площади зондирования.

Неразрушающие измерения поверхностной плотности электрического заряда слоистых структур возможны только с применением явления электростатической индукции. Практически это реализуется с помощью различных зондовых систем, индуцированный заряд которых содержит информацию о всех источниках поля системы электродов и ее параметрах, включая и параметры самого слоя – толщину, диэлектрическую проницаемость и проводимость.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пронин В.П. Основы теории и применение электроемкостных систем / В.П. Пронин, Б.А. Михайлов. Саратов: СГАУ, 2003. 200 с.
2. Pronin V.P. Electric capacitance method of multiparametric panoramic examination of dielectric and semiconductor layers / V.P. Pronin // Journal of Advanced Materials. 1995. № 2. P. 162-170.

**Пронин Виталий Петрович** –  
доктор технических наук,  
заведующий кафедрой «Физика»  
Саратовского государственного аграрного  
университета им. Н.И. Вавилова

**Pronin Vitaliy Petrovich** –  
Doctor of Technical Sciences,  
Head of the Department of «Physics»  
of Saratov State Agrarian University  
in the name of N.I. Vavilov

**Панова Ирина Сергеевна** –  
аспирант кафедры «Физика»  
Саратовского государственного аграрного  
университета им. Н.И. Вавилова

**Panova Irina Sergeyevna** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Physics» of Saratov State Agrarian  
University in the name of N.I. Vavilov

*Статья поступила в редакцию 23.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 621.372.8

**А.А. Скворцов, Г.И. Сидоров**

**ОСОБЕННОСТИ ПРИБЛИЖЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ ШЛЕЙФОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ  
СВЧ-УСТРОЙСТВ НА ДВУГРЕБНЕВОМ ВОЛНОВОДЕ  
С ЭЛЕМЕНТАМИ СВЯЗИ СЛОЖНЫХ СЕЧЕНИЙ**

*Рассматриваются приближенно-аналитические выражения, позволяющие проводить оперативный инженерный расчет коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройств, первичный канал которых выполнен либо на прямоугольном, либо на двугребневом волноводе, а вторичный – на двугребневом волноводе, со связью каналов по широкой стенке через волноводы сложных сечений с применением компьютера на заключительном этапе для получения численных результатов.*

СВЧ-устройство, двугребневый волновод, шлейфовое разветвление, коэффициент передачи.

**A.A. Skvortsov, G.I. Sidorov**

**PECULIARITIES OF APPROXIMATE CALCULATION  
OF TRANSMISSION COEFFICIENTS OF STUB BRANCHINGS  
OF MICROWAVE DEVICES ON DOUBLE-RIDGED WAVEGUIDES  
WITH COMPLEX CROSS SECTION SHAPED COUPLING ELEMENTS**

*Approximate analytical expressions allowing carrying out operative engineering computation of transmission coefficients of stub branching of microwave devices with rectangular or double-ridged shaped primary channel and double-ridged shaped secondary channel coupled by means of complex cross section shaped elements along broad wall are derived.*

Microwave devices, double-ridged waveguide, stub branching, transmission coefficient.

Применение двугребневого волновода (ДГВ), позволяющего изменять распределение поперечной электрической компоненты основной волны вдоль широкой стенки, в качестве базового элемента при конструировании СВЧ-устройств различного назначения позволяет существенно расширить функциональные возможности последних [1, 2]. В настоящее время

в технике СВЧ все большее применение находят устройства на связанных посредством шлейфовых разветвлений по широкой стенке волноводах, первичный (основной) канал (волновод) которых выполнен либо на прямоугольном волноводе (ПрВ) [1], либо на ДГВ [2], а вторичный (вспомогательный) – на ДГВ.

Важной задачей, возникающей при проектировании таких систем, является определение коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений, связывающих волноводы СВЧ-устройства. Минимальный коэффициент передачи одиночного шлейфового разветвления СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке волноводах рассматриваемых поперечных сечений определяется выражением [1, 3]

$$|\dot{K}_{u\min}| = \frac{\Phi_{uu}^{-1} \lambda_{\epsilon uu} Z_{0uu}}{2\sqrt{k^*} (\Phi_1^{-1} b_2 T_2 \lambda_{\epsilon 1} \lambda_{\epsilon 2} Z_{01} Z_{02})^{1/2}} \left[ (\cos(\chi_{c11} h_1) \sin \gamma_1)^2 + \left( \frac{\lambda_{\epsilon 1}}{\lambda_{c11}} \sin(\chi_{c11} h_1) \cos \gamma_1 \right)^2 \right]^{1/2} \times \left[ (\cos(\chi_{c12} h_2) \sin \gamma_2)^2 + \left( \frac{\lambda_{\epsilon 2}}{\lambda_{c12}} \sin(\chi_{c12} h_2) \cos \gamma_2 \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

в котором  $\sqrt{k^*} \approx 1$ ;  $\Phi_1^{-1} = a_1 b_1$ , если первичный канал выполнен на ПрВ, и  $\Phi_1^{-1} = b_1 T_1$ , если первичный канал выполнен на ДГВ;  $a_1$  и  $b_1$  – размеры широкой и узкой стенок основного волновода;  $b_2$  – размер узкой стенки вспомогательного волновода;  $T_1$ ,  $T_2$  и  $\Phi_{uu}$  – параметры, зависящие от формы поперечного сечения первичного и вторичного волноводов и волновода связи (шлейфа);  $h_1$ ,  $h_2$  – смещение центра волновода связи относительно средней линии соответственно первичного и вторичного волноводов;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – углы поворота волновода связи относительно средних линий тех же волноводов;  $\lambda_{\epsilon 1}$ ,  $\lambda_{\epsilon 2}$  и  $\lambda_{\epsilon uu}$  – длины основной волны в основном, вспомогательном волноводах и шлейфе;  $\chi_{c11} = 2\pi/\lambda_{c11}$ ,  $\chi_{c12} = 2\pi/\lambda_{c12}$  и  $\chi_{c1u} = 2\pi/\lambda_{c1u}$  – поперечное волновое число основной волны в основном, вспомогательном волноводах и шлейфе;  $\lambda_{c11}$ ,  $\lambda_{c12}$  и  $\lambda_{c1u}$  – критическая длина основной волны в основном, вспомогательном волноводах и шлейфе;  $Z_{01} = \sqrt{\mu_0 \mu_1 / \epsilon_0 \epsilon_1}$ ,  $Z_{02} = \sqrt{\mu_0 \mu_2 / \epsilon_0 \epsilon_2}$  и  $Z_{0uu} = \sqrt{\mu_0 \mu_{uu} / \epsilon_0 \epsilon_{uu}}$  – волновые сопротивления материалов, заполняющих основной, вспомогательный волноводы и шлейф;  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  – электрическая и магнитная постоянные;  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $\epsilon_{uu}$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\mu_{uu}$  – относительные диэлектрические и магнитные проницаемости материалов, заполняющих основной, вспомогательный волноводы и шлейф.

Расчет входящих в выражение (1) критических длин основных волн  $\lambda_{c11}$  и  $\lambda_{c12}$ , а также параметров  $T_1$  и  $T_2$  основного и вспомогательного каналов, выполненных на основе ДГВ, можно провести по рассмотренным ниже формулам для определения критической длины основной волны  $\lambda_{c1u}$  и параметра  $T_{uu}$  шлейфа соответствующего поперечного сечения, в которых индекс «*uu*» необходимо заменить на индекс «1» или «2».

При выборе формы поперечного сечения волноводов связи необходимо учитывать, что их геометрические размеры ограничены размерами стенок связываемых волноводов, минимальным расстоянием между центрами соседних шлейфов и толщиной разделяющей их стенки.

Кроме того, для получения малого перепада характеристики переходного ослабления критическая длина основной волны используемых в качестве шлейфов волноводов  $\lambda_{c1u}$  должна быть больше критических длин основных волн связываемых волноводов  $\lambda_{c11}$  и  $\lambda_{c12}$  [3]:

$$\begin{cases} \lambda_{c1u} > \lambda_{c11}; \\ \lambda_{c1u} > \lambda_{c12}, \end{cases} \quad (2)$$

причем величина перепада характеристики переходного ослабления в рабочем диапазоне частот порядка  $\pm 0,2 \div 0,25$  дБ достигается при условии, когда

$$\begin{cases} \lambda_{c1u} \geq 2\lambda_{c11}; \\ \lambda_{c1u} \geq 2\lambda_{c12}. \end{cases} \quad (3)$$

Необходимо также учитывать, что зависимость переходного ослабления и вносимого в первичный канал СВЧ-устройства ослабления от диэлектрической проницаемости материала, расположенного в его вторичном волноводе, уменьшается, если шлейфы не перекрываются обрабатываемым материалом.

Применение в качестве шлейфов полых или заполненных диэлектрическим материалом ПрВ, в особенности, когда вторичный канал СВЧ-устройства частично заполнен диэлектрическим материалом [1], не позволяет получить удовлетворительные диапазонные характеристики переходного ослабления, поскольку в первом случае критическая длина основной волны шлейфов не удовлетворяет условиям (2) и (3), а во втором – увеличивается критическая длина волны не только доминантного, но и высших типов волн волноводов связи [3].

С учетом вышесказанного, обеспечение необходимых коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений непосредственно связано с рациональным выбором формы поперечного сечения волноводов связи. Наиболее полно предъявляемым к шлейфам требованиям отвечают волноводы сложных сечений (ВСС), которые по сравнению со связываемыми волноводами обладают повышенными значениями критической длины основной волны и диапазона работы на доминантной волне, а также малыми габаритами. В зависимости от величины рабочего диапазона частот в качестве шлейфов в рассматриваемых СВЧ-устройствах находят применение, как правило, такие ВСС (рис. 1), как П-волновод (ПВ), Н-волновод (НВ), гантелеобразный волновод (ГОВ), двугребневый волновод, четырехгребневый волновод (ЧГВ), прямоугольный волновод с Т-ребром (ПВТР), прямоугольный волновод с двумя Т-ребрами (ПВДТР).

Параметр  $\Phi_u$ , входящий в выражение (1), зависит от формы поперечного сечения волновода связи следующим образом:

$$\Phi_u^{-1} = T_u \times \begin{cases} d_u & \text{для ПВ, НВ, ГОВ, ПВТР и ПВДТР;} \\ b_u & \text{для ДГВ и ЧГВ.} \end{cases} \quad (4)$$

Если каналы СВЧ-устройства связаны через шлейфы, выполненные на основе отрезков ПВ и НВ, то параметр  $T_u$  рассчитывается по формуле [3]

$$T_u = t_u + \frac{\sin(\chi_{c1u} t_u)}{\chi_{c1u}} + \left[ a_u - t_u - \frac{\sin(\chi_{c1u} (a_u - t_u))}{\chi_{c1u}} \right] \frac{[b_u - (b_u - d_u) \cos(\chi_{c1u} t_u / 2)]^2}{d_u b_u \sin^2(\chi_{c1u} (a_u - t_u) / 2)}. \quad (5)$$

В случае, когда каналы СВЧ-устройства связаны через шлейфы, выполненные на основе отрезков ГОВ, параметр  $T_u$  определяется выражением (5), в котором [4]

$$t_u = a_u - b_u - \sqrt{b_u^2 - d_u^2}. \quad (6)$$

При связи каналов СВЧ-устройства через шлейфы, выполненные на основе отрезков ДГВ и ЧГВ, параметр  $T_u$  определяется выражением [5]

$$\begin{aligned} T_u = & s_u + \frac{\sin(\chi_{c1u} s_u)}{\chi_{c1u}} + \frac{\cos^2(\chi_{c1u} s_u / 2)}{\sin^2(\chi_{c1u} (a_u - s_u) / 2)} \cdot \\ & \cdot \left[ a_u - s_u - \frac{\sin(\chi_{c1u} (a_u - s_u))}{\chi_{c1u}} + \left( \frac{b_u}{d_u} - 1 \right) \left( 2t_u + \frac{\sin(\chi_{c1u} (a_u - s_u - 2t_u))}{\chi_{c1u}} \right) \right] + \\ & + \frac{b_u C_2(\vartheta_{1u}) \cos^2(\chi_{c1u} s_u / 2)}{\varepsilon_u} \left( 1 + \frac{\sin(\chi_{c1u} (a_u - s_u - 2t_u) / 2)}{\sin(\chi_{c1u} (a_u - s_u) / 2)} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

В случае, когда каналы СВЧ-устройства связаны через шлейфы, выполненные на основе отрезков ПВТР и ПВДТР, параметр  $T_{uu}$  рассчитывается по формуле [3]

$$T_{uu} = t_{uu} + \frac{\sin(\chi_{c1uu} t_{uu})}{\chi_{c1uu}} + \left[ a_{uu} - t_{uu} - \frac{\sin(\chi_{c1uu} (a_{uu} - t_{uu}))}{\chi_{c1uu}} \right] \times \\ \times \frac{[b_{uu} - g'_{uu} + (b_{uu} - d_{uu})(1/2 - \cos(\chi_{c1uu} t_{uu}/2))]^2}{d_{uu} b_{uu} \sin^2(\chi_{c1uu} (a_{uu} - t_{uu})/2)} + \\ + \frac{b_{uu}}{d_{uu}} \left[ t_{uu} - g_{uu} - \frac{\sin(\chi_{c1uu} (a_{uu} - t_{uu}))}{\chi_{c1uu}} \right] \frac{\cos^2(\chi_{c1uu} g_{uu}/2)}{\sin^2(\chi_{c1uu} (t_{uu} - g_{uu})/2)}. \quad (8)$$

Для приближенно-аналитического расчета критической длины основной волны шлейфов сложных сечений, показанных на рис. 1, может быть использован метод эквивалентных схем [4, 6-8], в соответствии с которым отрезок ВСС единичной длины заменяется параллельным колебательным контуром из сосредоточенных индуктивностей и емкостей (рис. 2).

Критическая длина основной волны в этом случае рассчитывается по формуле

$$\lambda_{c1uu} = 2\pi c \sqrt{LC}, \quad (9)$$

где  $c$  – скорость света;  $L$  и  $C$  – результирующие индуктивность и емкость эквивалентного колебательного контура.

Результирующая индуктивность контура определяется выражением

$$L = \frac{L_1}{2}, \quad (10)$$

в котором

$$L_1 = \frac{\mu_{uu} \mu_0}{2} \begin{cases} b_{uu} (a_{uu} - t_{uu}) & \text{для } \text{ПВ и НВ}; \\ 2^{-1} b_{uu} \left[ \pi - \arcsin(d_{uu}/b_{uu}) + (d_{uu}/b_{uu}) (1 - (d_{uu}/b_{uu})^2)^{1/2} \right] & \text{для } \text{ГОВ}; \\ b_{uu} (a_{uu} - 2t_{uu} - s_{uu}) & \text{для } \text{ДГВ и ЧГВ}; \\ [(a_{uu} - g_{uu})(b_{uu} - d_{uu} - g'_{uu}) + (a_{uu} - t_{uu})(d_{uu} + g'_{uu})] & \text{для } \text{ПВТР и ПВДТР}. \end{cases} \quad (11)$$

Результирующую емкость контура можно найти из соотношения

$$C = C_1 + 2 \begin{cases} C_2 & \text{для } \text{ПВ, НВ и ГОВ}; \\ (C_2 + C_3 + C_4) & \text{для } \text{ДГВ, ЧГВ, ПВТР и ПВДТР}, \end{cases} \quad (12)$$

где  $C_1$  и  $C_3$  – электростатические емкости;  $C_2$  и  $C_4$  – краевые емкости.

Электростатические емкости  $C_1$  и  $C_3$  вычисляются по формулам

$$C_1 = \varepsilon_{uu} \varepsilon_0 \begin{cases} t_{uu}/d_{uu} & \text{для } \text{ПВ, НВ, ГОВ, ПВТР и ПВДТР}; \\ s_{uu}/b_{uu} & \text{для } \text{ДГВ и ЧГВ}; \end{cases} \quad (13)$$

$$C_3 = \varepsilon_{uu} \varepsilon_0 \begin{cases} t_{uu}/d_{uu} & \text{для } \text{ДГВ и ЧГВ}; \\ 2g'_{uu}/(a_{uu} - t_{uu}) & \text{для } \text{ПВТР}; \\ g'_{uu}/(a_{uu} - t_{uu}) & \text{для } \text{ПВДТР}. \end{cases} \quad (14)$$

Краевые емкости  $C_2$  и  $C_4$  определяются выражениями

$$C_2(\vartheta_{uu1}) = \frac{\varepsilon_{uu} \varepsilon_0}{\pi} \left[ \frac{1 + \vartheta_{uu1}^2}{\vartheta_{uu1}} \operatorname{Arch} \left( \frac{1 + \vartheta_{uu1}^2}{1 - \vartheta_{uu1}^2} \right) - 2 \ln \left( \frac{4\vartheta_{uu1}}{1 - \vartheta_{uu1}^2} \right) \right] \times \\ \times \begin{cases} 1 & \text{для } \text{ПВ, ДГВ и ПВТР}; \\ 1/2 & \text{для } \text{НВ, ГОВ, ЧГВ и ПВДТР}; \end{cases} \quad (15)$$

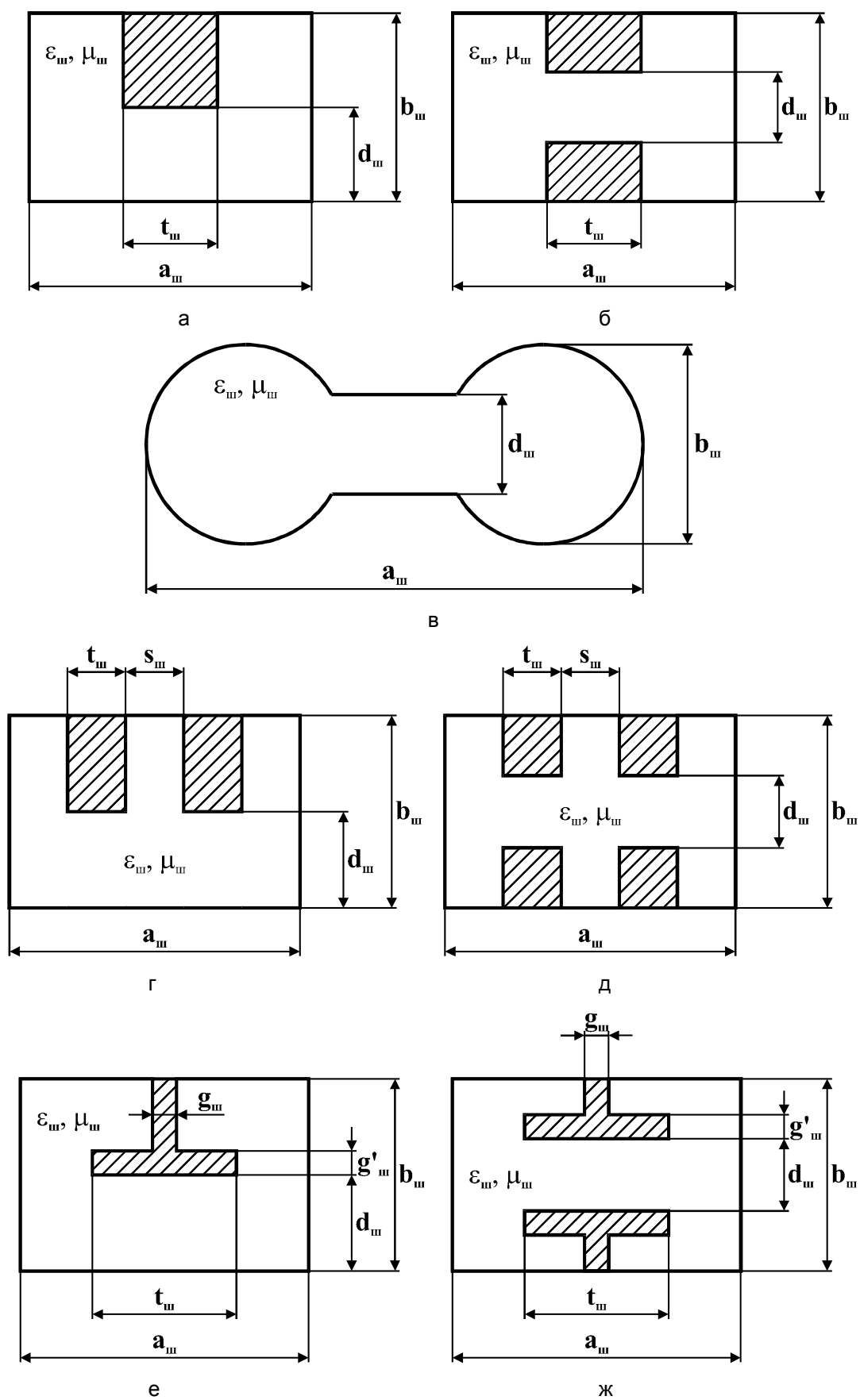


Рис. 1. Поперечные сечения шлейфов на основе отрезков ПВ (а), НВ (б), ГОВ (в), ДГВ (г), ЧГВ (д), ПВТР(е) и ПВДТР(ж)

$$C_4(\vartheta_{u2}) = \frac{\varepsilon_u \varepsilon_0}{\pi} \left[ \frac{1 + \vartheta_{u2}^2}{\vartheta_{u2}} \operatorname{arch} \left( \frac{1 + \vartheta_{u2}^2}{1 - \vartheta_{u2}^2} \right) - 2 \ln \left( \frac{4\vartheta_{u2}}{1 - \vartheta_{u2}^2} \right) \right] \times \begin{cases} 1 & \text{для ДГВ и ПВТР;} \\ 1/2 & \text{для ДГВ и ПВТР,} \end{cases} \quad (16)$$

в которых

$$\vartheta_{u1} = \frac{d_u}{b_u}; \quad (17)$$

$$\vartheta_{u2} = \begin{cases} d_u/b_u & \text{для ДГВ и ЧГВ;} \\ (a_u - t_u)/(a_u - g_u) & \text{для ПВТР и ПВДТР.} \end{cases} \quad (18)$$

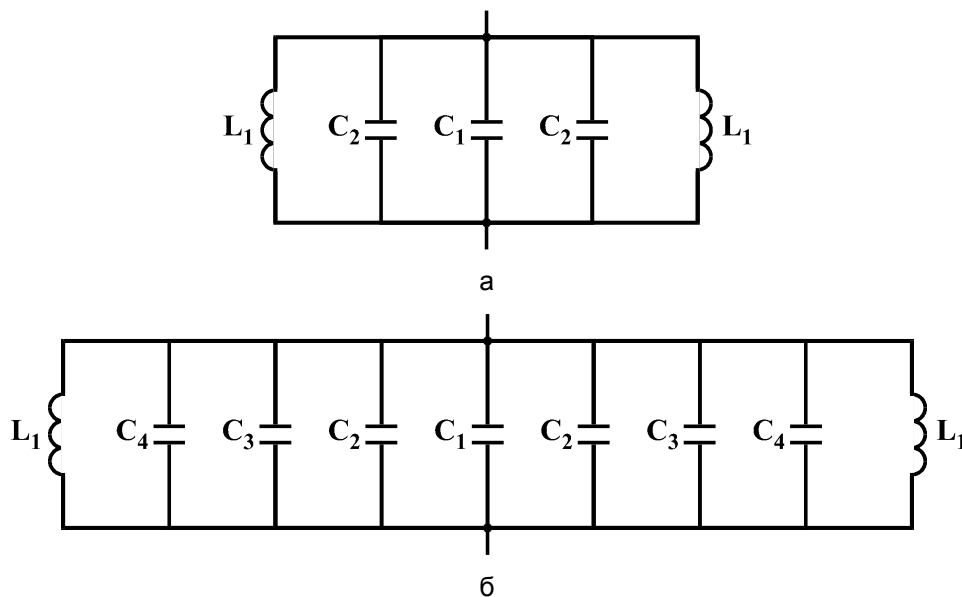


Рис. 2. Эквивалентные схемы для расчета критических длин основных волн шлейфов на основе отрезков ПВ, НВ, ГОВ (а) и ДГВ, ЧГВ, ПВТР, ПВДТР (б)

Сравнение результатов расчета критической длины основной волны волноводов связи рассматриваемых сечений, полученных по формулам (9)-(18), с известными теоретическими и экспериментальными данными показало их хорошее согласование [6-8].

Таким образом, соотношения (1)-(18) позволяют упростить анализ влияния геометрических размеров и электрофизических параметров диэлектрического заполнения волноводов связи на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройств, первичный канал которых выполнен либо на ПрВ, либо на ДГВ, а вторичный – на ДГВ, со связью каналов по широкой стенке через ВСС, и могут быть с успехом использованы для приближенно-аналитического расчета передаточных характеристик шлейфовых разветвлений рассматриваемых СВЧ-устройств с применением компьютера на заключительном этапе для получения численных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов А.А. СВЧ-устройство на связанных прямоугольном и двугребневом волноводах для термообработки диэлектриков / А.А. Скворцов // Функциональные устройства низких и сверхвысоких частот: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 64-66.
2. Сосунов В.А. Передаточные характеристики делителя мощности на двугребневом волноводе / В.А. Сосунов, А.А. Скворцов // Радиотехника и связь: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2004. С. 162-164.



3. Сосунов В.А. Шлейфовые волноводные разветвления и устройства на их основе / В.А. Сосунов. Саратов: СГТУ, 1995. 104 с.

4. Сосунов В.А. Передаточная характеристика шлейфового разветвления с гантелеобразным волноводом связи / В.А. Сосунов, А.А. Скворцов // Функциональные устройства низких и сверхвысоких частот: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 67-70.

5. Скворцов А.А. Шлейфовое разветвление на двугребневом волноводе / А.А. Скворцов // Функциональные электродинамические системы и устройства низких и сверхвысоких частот: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 62-65.

6. Chen T.S. Calculation of the parameters of ridge waveguides / T.S. Chen // IRE Trans. 1957. Vol. MTT-5. № 1. P. 12-17.

7. Скворцов А.А. О расчете критической длины основной волны двугребневого волновода / А.А. Скворцов // Функциональные электродинамические системы и устройства низких и сверхвысоких частот: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 59-61.

8. Коломейцев В.А. Аналитические соотношения для определения критической длины волны доминантной моды прямоугольного волновода с Т-ребром / В.А. Коломейцев, В.В. Комаров, А.А. Скворцов / Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 1996. 11 с. Деп. в ВИНТИ 16.10.96, № 3052-В96.

**Скворцов Алексей Анатольевич** –  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Радиотехника»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Skvortsov Aleksey Anatolyevich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor of the Department  
of «Radio Engineering»  
of Saratov State Technical University

**Сидоров Георгий Игоревич** –  
студент кафедры «Радиотехника»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Sidorov Georgiy Igorevich** –  
Post-graduate Student  
of the Department of «Radio Engineering»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 14.10.09, принята к опубликованию 14.01.10*

## **ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

---

УДК 621.644.8:504.05

**П.А. Козлитин**

### **МЕТОДЫ НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*В статье разработаны математические модели и аналитические методы анализа уровня опасности мазутного хозяйства тепловых электростанций на основе риска с использованием технологий нечеткой логики, которые позволяют решить практическую задачу управления безопасностью и принятия решения в условиях неполноты и неточности исходных данных.*

Риск, авария, безопасность, нечеткая логика, нечеткое множество, гидродинамическая волна, резервуар.

**P.A. Kozlitin**

### **FUZZY ACCIDENTS RISK ANALYSIS METHODS WITHIN HEAT SUPPLY SYSTEMS**

*The article presents mathematical models and analytical methods of the analysis of a level of danger of a black oil economy of thermal power stations on the basis of risk with use of technologies of fuzzy logic which allow to solve a practical task of management of safety and decision-making in conditions of incompleteness and discrepancy of initial data.*

Risk, accident, safety, fuzzy logic, fuzzy set, hydrodynamic wave, tank.

Задача разработки методов анализа и количественной оценки риска аварий в системах теплоснабжения для принятия наиболее выверенных, рациональных в системном, а не в узковедомственном плане решений по уменьшению и предупреждению возможных аварий требует сегодня самого пристального внимания и скорейшего внедрения.

Для большинства городов и населенных пунктов РФ важной составляющей региональной энергетической системы являются теплогенерирующие объекты, обеспечивающие теплоснабжение потребителей в период стояния низких температур наружного воздуха. Основным компонентом централизованной системы теплоснабжения стали теплоцентрали (ТЭЦ). В Центральном, Поволжском и Северо-Западном регионах России создана развитая инфраструктура центрального отопления, она представляет собой хорошую основу для дальнейшего развития ТЭЦ.

Для современных систем теплоснабжения крупных городов характерны большие мощности, сложные технологические схемы и режимы функционирования. Мощность отдельных теплогенерирующих установок, например, г. Москвы, достигает 4 млн кВт, а их суммарная мощность превышает 40 млн кВт, при этом горячая вода по теплотрассам передается на многие километры. Как следствие централизации отопления, аварийный останов только одной ТЭЦ крупного мегаполиса может оставить без тепла районы с населением до 1 млн человек.

По данным статистики, в отопительном сезоне, например, 2008/2009 гг. в России до полмиллиона человек жили без тепла. Как следствие этого, наблюдаются огромные ущербы. Даже по заниженной оценке, исходящей из того, что каждый пятый из названного числа людей в результате переохлаждения потерял только 5 лет полноценной жизни, при цене 1 чел.-года недожития 600 тыс. рублей [1], получим ущерб в 300 млрд рублей. Это такие потери, которые могут быть сопоставимы с годовым бюджетом страны. Причем в этом примере не учтены летальные преждевременные исходы от болезней, связанных с переохлаждением, среди больных, ослабленных людей, стариков, детей. Поэтому предприятия, обеспечивающие тепло- и электроснабжение, сегодня для большинства регионов России, в отопительный период особенно, должны считаться высокорисковыми.

Безопасность систем теплоснабжения может быть нарушена под влиянием как внешних, так и внутренних факторов воздействия. К внешним относятся природные и социально-экономические факторы. К внутренним – технические, технологические, организационные и индивидуально-психологические (ошибки оператора) факторы, присущие системам теплоснабжения. Технические опасности обусловлены уровнем надежности отдельных элементов системы, а технологические – уровнем устойчивости и живучести системы теплоснабжения в целом [2].

Технология производства тепла на ТЭЦ определяет и специфику внутренних потенциальных опасностей, связанных с необходимостью подвода природного газа по трубопроводам высокого давления, наличием мазутного хозяйства, в котором сконцентрирован большой объем мазута, а также наличием системы водоподготовки со значительными запасами высокотоксичных веществ. Реализация данных опасностей в виде взрывов, пожаров разлива, гидродинамической волны прорыва мазута, загазованности территории станции токсичными веществами в летальных концентрациях, приведет к аварийной остановке ТЭЦ с последующим развитием каскадной аварии в системе теплоснабжения и массовым нарушениям подачи тепла потребителям [1]. Каскадные аварии в системах теплоснабжения часто сопровождаются нарушением устойчивости параллельной работы теплогенерирующих установок или отдельных частей системы, а также явлениями гидравлических ударов с последующим прекращением подачи тепла потребителям.

В этих условиях одной из ключевых проблем экологической и промышленной безопасности становятся анализ и количественная оценка риска на опасных производственных объектах техносферы и принятие на этой основе научно обоснованных решений по уменьшению и предупреждению возможных аварий. Но для этого необходимо иметь математические модели и соответствующие аналитические методы квантификации рисков.

Учитывая тот факт, что в результате реализации опасности нанесенный ущерб складывается из социальных  $Y_C$ , материальных  $Y_M$  и экологических  $Y_Э$  потерь, нами предложена [1, 3] и используется при расчетах математическая модель интегрированного риска  $R(Y_\Sigma)$ , как комплексного показателя опасности сложной технической системы, выраженного в едином стоимостном эквиваленте и объединяющего в себе риски социального  $R(Y_C)$ , материального  $R(Y_M)$  и экологического  $R(Y_Э)$  ущербов

$$R(Y_\Sigma) = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_Э). \quad (1)$$

В основу  $k$ -й составляющей  $R(Y_k)$  интегрированного риска положена формула математического ожидания соответствующих потерь

$$R(Y_k) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ijk}(L) \cdot Y_{ijk}(L). \quad (2)$$

Данная зависимость функционально связывает ущерб  $Y_{ijk}(L)$ , наносимый  $i$ -й опасностью  $j$ -й степени поражения  $k$ -му реципиенту на расстоянии  $L$  от места аварии и потенциальный риск  $R_{ijk}(L)$  поражения  $k$ -го реципиента в рассматриваемой точке  $L$  территории.

Потенциальный риск определяет пространственное распределение вероятности реализации поражающего воздействия на прилегающей к потенциально опасному объекту территории и является важнейшим индикатором уровня существующей опасности. Зная его численное значение, можно судить о степени безопасности персонала в местах их нахождения на территории объекта. Суть количественной оценки потенциального риска заключается в построении всего множества возможных сценариев возникновения и развития аварий на объекте, с последующей оценкой вероятности реализации каждого из сценариев и определением последствий развития аварии для реципиента и селитебной территории.

В рамках данной статьи рассмотрим одну из потенциально опасных составляющих ТЭЦ – мазутное хозяйство, в котором сконцентрирован большой объем взрыво-, пожароопасного вещества – мазута. Хранение мазута осуществляется в резервуарах различной емкости от 2000 до 30000 м<sup>3</sup> при температуре 65-80°С. В результате аварии на резервуарах мазутного хозяйства ТЭЦ могут реализоваться различные поражающие факторы – гидродинамическая волна прорыва, пожар разлива, тепловое излучение, которые в свою очередь будут воздействовать на объекты станции, персонал, население и прилегающую селитебную территорию. Возможность возникновения аварий с квазимгновенным разрушением резервуара подтверждается литературными данными [4], данными Федеральной службы по технологическому надзору и МЧС России.

Основными параметрами гидродинамической волны прорыва, определяющими ее поражающее действие, являются скорость  $v_e(L)$ , глубина потока  $h(L)$  и время добегания  $t(L)$  фронта волны прорыва до рассматриваемой точки территории

$$\begin{cases} t(L) = 1,25 \cdot L_m^2 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{g \cdot Q}} \cdot \left( -\sqrt{1 - \left(\frac{L}{L_m}\right)^2} + \sqrt{1 - \left(\frac{r}{L_m}\right)^2} \right); \\ v_B(L) = \frac{1}{L_m} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot Q}{\pi \cdot \rho} \left( \left(\frac{L_m}{L}\right)^2 - 1 \right)}; \quad h(L) = \frac{Q}{\rho \cdot \pi \cdot L^2}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $Q$  – масса вещества, участвующего в аварии;  $\rho$  – плотность вещества;  $L$  – текущее значение радиуса зеркала разлива;  $L_m$  – максимальный радиус зеркала разлива;  $r$  – радиус резервуара.

Для персонала станции, расположенного вне зданий, скорость избегания опасности будет определяться разностью скорости движения человека и скорости растекания мазута по прилегающей к резервуару территории  $\Delta v(L) = v_m(L) - v_e(L)$ , где  $v_m(L)$  – абсолютная скорость движения человека,  $v_e(L)$  – скорость волны прорыва,  $\Delta v(L)$  – относительная скорость движения человека.

Для анализа и оценки ожидаемых последствий квазимгновенного разрушения резервуара в мазутном хозяйстве ТЭЦ нами получена и описана в работе [1] физико-математическая модель распространения поражающих факторов в окружающей среде (рис. 1).

Используя физико-математическую модель распространения поражающих факторов, мы можем выделить три зоны:

– зона смертельного поражения волной прорыва, в которой скорость гидродинамической волны превышает абсолютную скорость человека  $v_e(L) > v_m(L)$ ;

– зона *возможного избегания опасности*, в которой абсолютная скорость человека больше скорости волны прорыва  $v_m(L) > v_e(L)$ , а относительная скорость движения человека остается меньше скорости волны прорыва  $\Delta v(L) < v_e(L)$ ;

– зона *гарантированного избегания опасности*, в которой и абсолютная, и относительная скорости движения человека превышают скорость гидродинамической волны прорыва  $v_m(L) > v_e(L)$  и  $\Delta v(L) > v_e(L)$ .

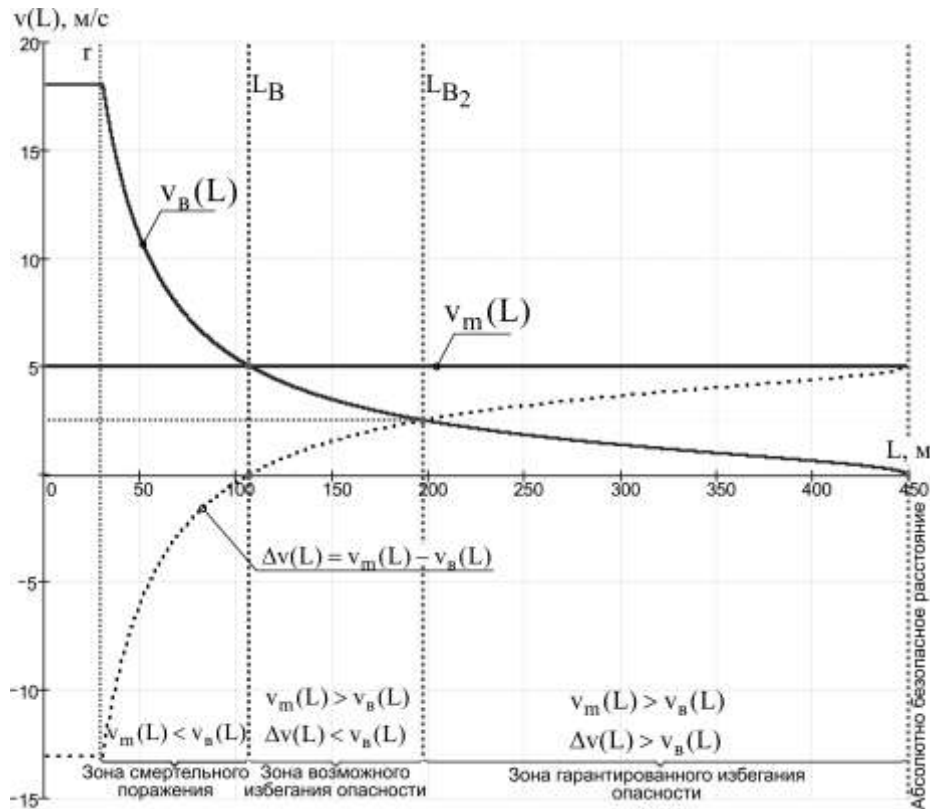


Рис. 1. Условие избегания опасности поражения волной прорыва для открыто расположенного человека

Однако на основании существующей детерминированной модели распространения поражающих факторов мы не можем судить о характере распределения потенциального риска на прилегающей территории. Для рассматриваемого сценария возможной аварии: квазигновенное разрушение резервуара → формирование горячей гидродинамической волны прорыва → растекание мазута по прилегающей территории → воздействие поражающих факторов на персонал станции, нами предложена [1] следующая зависимость для потенциального риска:

$$\begin{cases} R(L) = \lambda_A \cdot P(L) \\ P(L) = f[P(\Delta v(L)); P(q(L))], \end{cases} \quad (4)$$

где  $\lambda_A$  – вероятность разрушения резервуара;  $P(L) = f[P(\Delta v(L)); P(q(L))]$  – условная вероятность координатного поражения человека, учитывающая вероятность избегания опасности  $P(\Delta v(L))$  и вероятность теплового поражения  $P(q(L))$  в функции расстояния  $L$  от места аварии.

При распространении горячей волны прорыва поражающими факторами являются открытое пламя горящего разлива и плотность теплового потока  $q(L)$  с поверхности фронта пламени. Учитывая сказанное, вероятность теплового поражения человека при растекании

горящей гидродинамической волны прорыва мазута по территории станции определяется следующей зависимостью:

$$P(q(L)) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta v(L) \leq 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\text{Pr}(q)-5} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ & \text{if } \Delta v(L) > 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Pr}(q) = -14,9 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot q(L)^{4/3}\right),$$

где  $\text{Pr}(q)$  – пробит-функция, отражающая связь дозы теплового излучения и пробита относительной частоты поражения;  $t$  – время экспозиции.

При разработке координатного закона поражения человека  $P(L)$  при формировании гидродинамической волны прорыва мазута, необходимо учитывать как вероятность избежания опасности, так и вероятность теплового поражения. Использовать стохастические методы построения математической модели для определения вероятности избегания человеком опасности не представляется возможным из-за отсутствия статистических данных и присутствия неопределенности, которая затрудняет применение точных количественных методов и подходов. В данной ситуации целесообразно воспользоваться такими методами, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных.

В целях решения сложившейся проблемы нами предлагается использовать технологии нечеткого моделирования, которые позволяют решить практическую задачу в управлении и принятии решения в условиях чрезвычайных ситуаций.

Для построения нечеткой модели рассмотрим две входные нечеткие лингвистические переменные: «скорость перемещения человека» и «скорость распространения волны прорыва», а в качестве выходных параметров – нечеткую лингвистическую переменную «вероятность гибели человека».

Как известно, человек в условиях чрезвычайной ситуации стремится покинуть опасную зону, передвигаясь в безопасном направлении. Скорость передвижения человека зависит от возраста, физической подготовки и других факторов. Для последующих экспертных оценок, исходя из практических соображений, можно выделить следующие реперные скорости перемещения человека: движение шагом – 1,4 м/с, бег трусцой – 2,5 м/с, спокойный бег – 3,5 м/с и максимально возможная скорость бега нетренированного человека – 6 м/с.

Определим для нечеткой лингвистической переменной  $\beta_1$  – «скорость перемещения человека» следующие нечеткие переменные:  $\alpha_1$  = «очень медленная»,  $\alpha_2$  = «медленная»,  $\alpha_3$  = «средняя»,  $\alpha_4$  = «высокая»,  $\alpha_5$  = «очень высокая». Соответственно нечеткие переменные могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{aligned} &< \alpha_1, \{x_1 \mid 0 \text{ м/с} < x_1 < 1,4 \text{ м/с}\}, A_1 >; < \alpha_2, \{x_2 \mid 0,7 \text{ м/с} < x_2 < 3,0 \text{ м/с}\}, A_2 >; \\ &< \alpha_3, \{x_3 \mid 1,8 \text{ м/с} < x_3 < 4,5 \text{ м/с}\}, A_3 >; < \alpha_4, \{x_4 \mid 4,0 \text{ м/с} < x_4 < 5,5 \text{ м/с}\}, A_4 >; \\ &< \alpha_5, \{x_5 \mid 4,5 \text{ м/с} < x_5 < 6,0 \text{ м/с}\}, A_5 >, \end{aligned}$$

где  $A_i = \{x_i, \mu_{A_i}(x_i)\}$  – нечеткое множество с функцией принадлежности  $\mu_{A_i}(x_i)$ , которые представлены графически на рис. 2.

Для второй нечеткой лингвистической переменной  $\beta_2$  – «скорость распространения волны прорыва» – экспертно определить количество нечетких переменных и их принадлежность нечеткому множеству  $B_i = \{y_i, \mu_{B_i}(y_i)\}$  с функцией принадлежности  $\mu_{B_i}(y_i)$  является неоднозначной задачей [5].

В качестве альтернативы экспертной оценке нечеткой лингвистической переменной  $\beta_2$  автором статьи предлагается использовать гибридную сеть как адаптивную систему нейро-нечеткого вывода (ANFIS). С этой целью, используя аналитическую зависимость (3) для ско-

рости распространения волны прорыва  $v_e = f(L)$ , был получен массив обучающих данных и на его основе синтезирована нейронечеткая сеть.

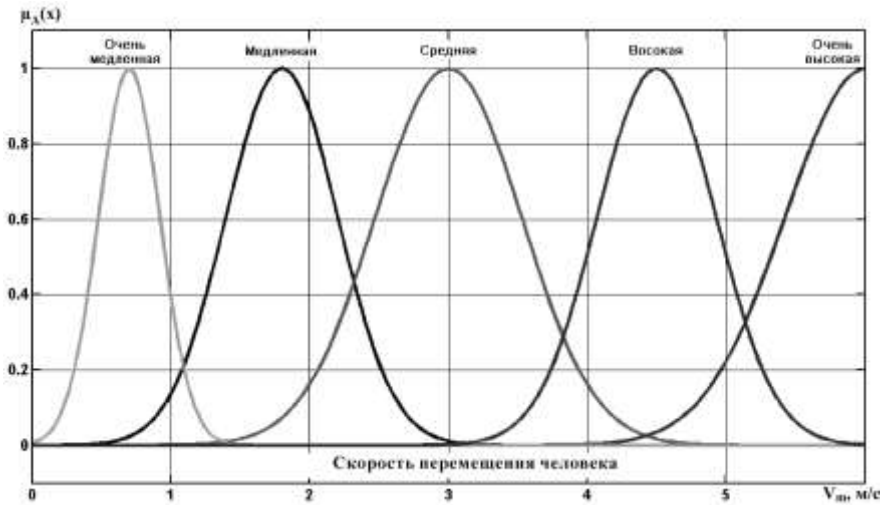


Рис. 2. Графики функций принадлежности нечетких множеств  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$

На основе сгенерированной структуры системы нечеткого вывода получены функции принадлежности  $\mu_{B_i}(y_i)$  для лингвистической переменной  $\beta_2$  – «скорость распространения волны прорыва» – с нечеткими переменными:  $\gamma_1$  = «очень медленная»,  $\gamma_2$  = «медленная»,  $\gamma_3$  = «средняя»,  $\gamma_4$  = «высокая»,  $\gamma_5$  = «очень высокая» на нечетком множестве их значений  $B_i = \{y_i, \mu_{B_i}(y_i)\}$  в зависимости от расстояния до места аварии, рис. 3.

Для получения численных значений выходной нечеткой лингвистической переменной  $\beta_3$  – «вероятность гибели человека» использовалась адаптивная система нейронечеткого вывода (ANFIS). Массив обучающих данных, полученный на основе зависимости (5), был использован для обучения гибридной сети.

На основе сгенерированной структуры системы нечеткого вывода типа Сугено были получены пять выходных значений, которые будем использовать для численного обозначения термов:  $\xi_1$  = «погиб»,  $\xi_2$  = «тяжёлые ожоги»,  $\xi_3$  = «средние ожоги»,  $\xi_4$  = «легкие ожоги»,  $\xi_5$  = «живой» выходной нечеткой лингвистической переменной  $\beta_3$ .

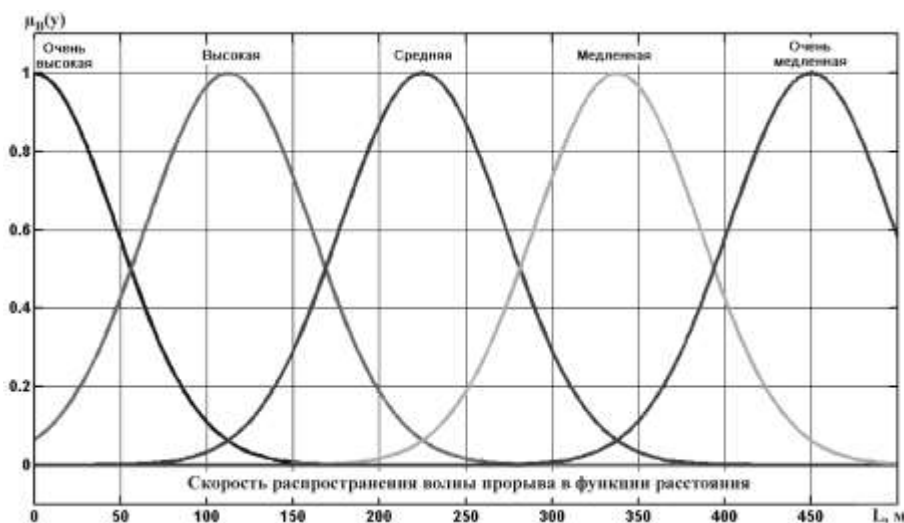


Рис. 3. Графики функций принадлежности нечетких множеств  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$

В результате проведенного нечеткого моделирования получено распределение вероятности поражения человека гидродинамической волной прорыва в зависимости от расстояния до места аварии и скорости перемещения человека в рассматриваемой точке территории, рис. 4.

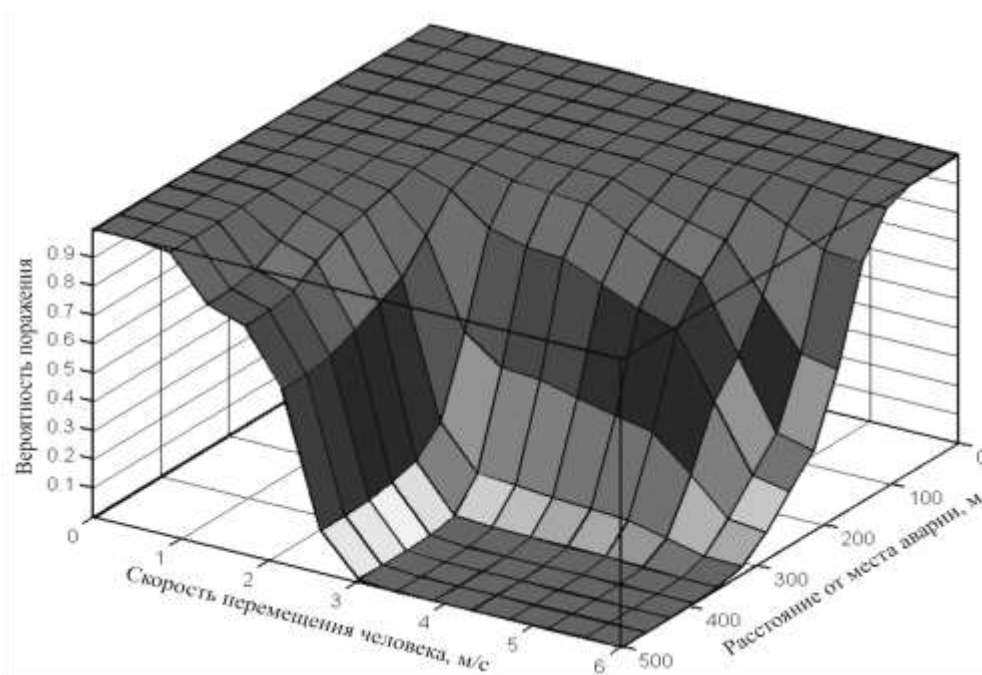


Рис. 4. График распределения возможностей поражения человека в зависимости от расстояния до места аварии и скорости перемещения человека в данной точке территории

На основе массива данных (рис. 5) получена регрессионная модель координатного поражения человека гидродинамической волной прорыва для фиксированных значений скоростей перемещения человека

$$P(L) = \frac{\exp\left(-\frac{L - \alpha(v_m)}{\beta(v_m)}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{L - \alpha(v_m)}{\beta(v_m)}\right)} \Bigg|_{v_m=\{0, \dots, 6\}, \text{м/с}}, \quad (6)$$

где  $\alpha(v_m)$  и  $\beta(v_m)$  – параметры распределения для целочисленных фиксированных значений скоростей перемещения человека  $v_m = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  м/с.

Координатные и параметрические законы поражения человека гидродинамической волной прорыва для фиксированных значений скоростей перемещения человека при избежании опасности – 3, 6 м/с и фиксированных значений расстояний от резервуара до места нахождения человека – 150, 250, 400 м, показаны в качестве примера на рис. 5 а, б.

С учетом вышесказанного потенциальный риск поражения человека при реализации сценария максимальной запроектной аварии – квазимгновенное разрушение наземного вертикального резервуара с формированием гидродинамической волны прорыва – описывается следующим выражением:

$$R(L) = \lambda_A \frac{\exp\left(-\frac{L - \alpha(v_m)}{\beta(v_m)}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{L - \alpha(v_m)}{\beta(v_m)}\right)}. \quad (7)$$



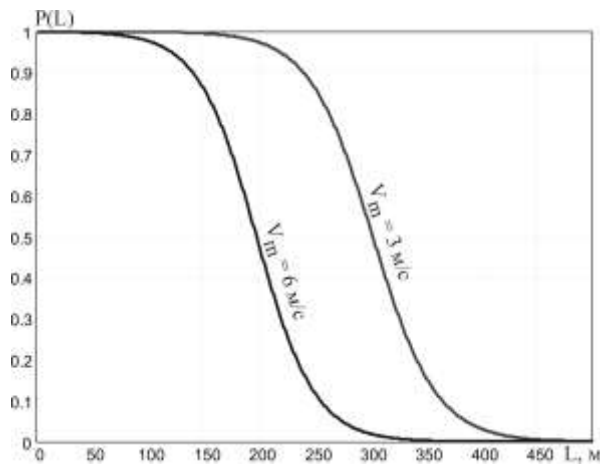


Рис. 5 а. Координатные законы поражения человека гидродинамической волной прорыва

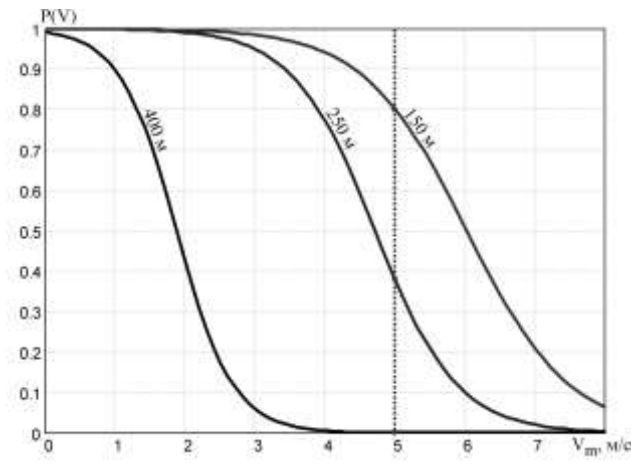


Рис. 5 б. Параметрические законы поражения человека гидродинамической волной прорыва

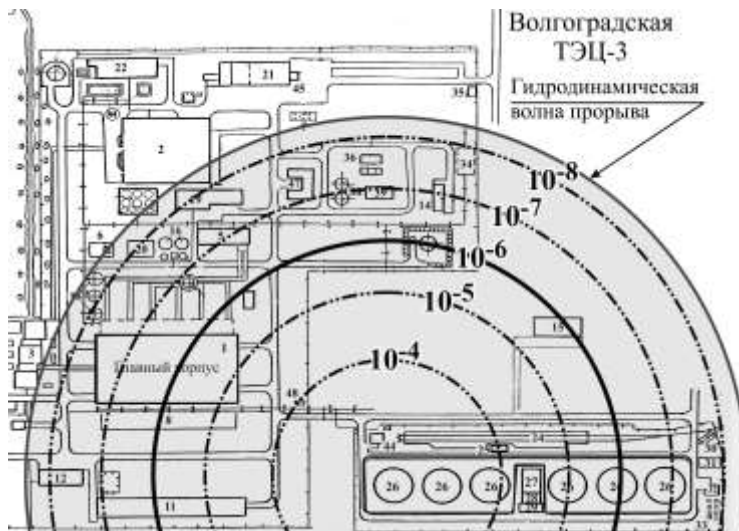


Рис. 6. Картированный потенциальный риск территории Волгоградской ТЭЦ-3

Используя выражение (7), осуществляется картирование потенциального риска. С этой целью для фиксированных значений  $R(L)$  на план территории рассматриваемого потенциального объекта наносятся изолинии равного риска, рис. 6.

По характеру распределения картированного риска можно судить о рациональном размещении объекта в пределах рассматриваемой территории и эффективности инженерных, организационных и управленческих решений, направленных на предупреждение аварий.

Описанные методы количественного анализа риска в сложных технических системах позволяют

получить объективную информацию о степени опасности объекта, ранжировать прилегающую территорию по уровню потенциального риска, выявить зоны и территории, где уровни риска достигают или превышают значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятие определенных мер по снижению риска и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала, обеспечив тем самым бесперебойную работу системы теплоснабжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлитин П.А. Теоретические основы и методы системного анализа промышленной безопасности объектов теплоэнергетики с учетом риска: монография / П.А. Козлитин, А.М. Козлитин. Саратов: СГТУ, 2009. 156 с.
2. Попырин Л.С. Природно-техногенные аварии в системах теплоснабжения / Л.С. Попырин // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 7. С. 604-610.
3. Козлитин А.М. Теория и методы анализа рисков сложных технических систем: монография / А.М. Козлитин. Саратов: СГТУ, 2009. 200 с.

4. Швырков С.А. Анализ статистических данных разрушений резервуаров / С.А. Швырков, В.Л. Семиков, А.Н. Швырков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1996. Вып. 5. С. 39-50.

5. Козлитин П.А. Математические модели и аналитические методы анализа уровня опасности сложных технических систем энергетики / П.А. Козлитин, А.М. Козлитин // Проблемы управления, передачи и обработки информации – АТМ-ТКИ-50: сб. трудов Междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2009. С. 187-193.

**Козлитин Павел Анатольевич** –  
кандидат технических наук,  
докторант кафедры «Теплоэнергетика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Kozlitin Pavel Anatolyevich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Postdoctoral Student of the Department  
of «Heat-Power Engineering»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 25.11.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 662.732

**В.Ф. Симонов, В.Г. Прелатов**

### **ОЦЕНКА ГРУППОВОГО СОСТАВА СМОЛЫ ПОЛУКОКСОВАНИЯ СЛАНЦЕВ ПОВОЛЖЬЯ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

*Анализируется проблема прогнозирования группового и элементного состава смоляной части парогазовых продуктов полукоксования сернистых горючих сланцев, а также рассматриваются желательные процессы преобразования парогазовой смеси, с учетом основных модельных групп и индивидуальных веществ. Выделены основные группы реакций термокаталитического преобразования, позволяющие обеспечить наибольшую технологическую эффективность процесса и спрогнозировать вероятные составы катализатора.*

Горючий сланец, сераорганические соединения, термокаталитическое преобразование, парогазовые продукты, состав смолы, катализатор, пилотная установка.

**V.F. Simonov, V.G. Prelatov**

### **GROUP STRUCTURE ESTIMATION OF SULFUR SHALE OIL SEMICARBONIZATION OF THE VOLGA AREA AS BASES FOR TERMOCATALYTIC TRANSFORMATION**

*The problem of forecasting of group and element structure of an oil part of steam and gas products of sulfur shale oil semi carbonization is analyzed and also desirable processes of transformation of steam and gas mix, in view with the basic modeling groups and individual substances are considered. The basic groups of*

*term catalytic transformation reactions allowing to provide the greatest technological efficiency and to predict probable structures of the catalyst are allocated.*

Shale oil, sulfuric organic connections, term catalytic transformations, steam and gas products, structure of oil, the catalyst, pilot installation.

Эффективность технологии переработки сернистых горючих сланцев с получением в качестве основных товарных продуктов тиофена и его простейших гомологов определяется направленностью термokatалитического преобразования парогазовых продуктов полукоксования (ПГПП) от установки с твердым (зольным) теплоносителем (УТТ) [9]. Решающее значение при этом имеет удачный подбор катализатора с учетом сложного, но достоверно спрогнозированного группового состава смоляной части ПГПП. Этой проблеме, а также определению желательных процессов преобразования ПГПП посвящена настоящая работа.

В табл. 1 представлены характеристики смолы, полученной при полукоксовании сланца Перелюб-Благодатовского месторождения на стендовой установке с твердым теплоносителем [1]. Полукоксованию подвергался сланец со следующими характеристиками:

Влажность рабочая, % масс.	0,93
Содержание на сухую массу, %:	
– углекислоты карбонатной	11,5
– золы	47,1
– условной органической массы (по разности)	41,4
– серы общей	5,23
в т.ч. сульфатной	0,29
пиритной	1,28
органической	3,66
Выход смолы по Фишеру, %	19,4

Таблица 1

Условия балансовых опытов и характеристика смолы полукоксования сланца [1]

Показатели	Номер опыта	
	1	2
Температура в технологической топке, °С	640	680
Температура теплоносителя, °С	618	652
Температура в реакторе, °С	493	494
Характеристика смолы:		
– плотность, кг/л	1,015	1,014
– парафиновые и олефиновые углеводороды, % масс.	2,2	2,0
– ароматические углеводороды, % масс.	39,2	38,8
– нейтральные кислородные соединения, % масс.	53,6	54,7
– суммарные фенолы, % масс.	5,0	4,5
Элементный состав смолы, %		
углерод	76,3	76,5
водород	8,5	8,3
азот	0,8	0,4
сера	8,3	8,4
кислород (по разности)	6,1	6,4
Начало кипения, °С	78	81
Выкипает до 200°С, % масс.	32	32
Выкипает в пределах 200-300°С	30	26
Свыше 300°С (по разности)	38	42

Представленные в табл. 1 характеристики смолы полукоксования не являются полными и не дают в достаточной мере информацию о желательных процессах её преобразования на основе термokatалитических превращений. Групповой состав смолы позволяет отметить преобладающее содержание ароматических углеводородов и нейтральных кислородных соединений (в сумме 92,8-93,5% масс.). Парафиновые и олефиновые углеводороды составляют в общей массе смолы (2,0-2,2% масс.), суммарные фенолы (4,5-5,0% масс.). Анализируя групповой состав смолы, следует понимать, что основная масса сераорганических соединений смолы входит в ароматические углеводороды, поскольку сераорганические и ароматические углеводороды при адсорбционной хроматографии не разделяются. При сравнении параметров кристаллической решетки тиофена (при  $-55^{\circ}\text{C}$ ) и бензола (при  $-3^{\circ}\text{C}$ ) определено, что молекулы бензола и тиофена обладают сходной формой – тиофен является изостером бензола. Дальнейшие исследования показали аналогию физических и химических свойств тиофена и его гомологов с соответствующими соединениями ряда бензола, в частности 2- и 3- метилтиофенов с толуолом; 2,5- диметилтиофена и 2-этилтиофена с этилбензолом и изомерами ксилола. Высказывается мнение, что такая аналогия может быть перенесена и на конденсированные системы типа бензтиофен – нафталин, дибензтиофен – антрацен (цитируется по [2]). Такое понимание свойств кольцевых структур бензола и тиофена имеет важное значение при определении условий термokatалитического преобразования ПГПП сернистых горючих сланцев. Основываясь на таких представлениях, можно предполагать, например, что процессы dealкилирования производных бензола и тиофена будут протекать с близкими кинетическими характеристиками.

Однозначно принимая присутствие в различных фракциях смолы тиофена и его гомологов, нельзя вместе с тем не оценивать и участие других видов сераорганических соединений в компонентном составе смолы. Ещё в 50-х годах прошлого столетия в работе Н. Зеленина и Г. Татаркиной [3] по исследованию состава легкой фракции кашпирских сланцев высказывалось мнение, что нельзя все сераорганические соединения смолы относить к ряду тиофена. Указывается на сложность состава концентратов, выделенных многократным хроматографированием.

Несколько позже было выполнено более подробное исследование химического состава смолы, полученной из сланцев месторождения «Общий сырт». В работах [4, 5] были исследованы легкая (до  $200^{\circ}\text{C}$ ) и средняя ( $200-300^{\circ}\text{C}$ ) фракции смолы (способ получения смолы не указан). Содержание тиофеновых соединений оценивается авторами для легкой и средней фракций соответственно в 30-37% и 37-39%, а содержание других сераорганических соединений (предположительно циклических сульфидов) – 4-8% и 5-8%. Остальную часть фракций составляют углеводороды: 40-46% – для легкой и 27-32% – для средней фракции, преимущественно ароматические (16-19%) и кислородные (20-26%) соединения.

Аналогичная работа для смолы сланцев месторождения «Общий сырт» была выполнена З.Т. Зоной [6]. Исследовалась смола следующего фракционного состава: начало кипения  $150^{\circ}\text{C}$  – 5%;  $150-365^{\circ}\text{C}$  – 80%. Для этой смолы суммарное содержание сераорганических соединений и ароматических углеводородов составило 41%, из которых около 30% приходится на сераорганические соединения и около 12% – на ароматические углеводороды. Было показано также, что в составе сераорганических соединений элементарная сера и сероводородная сера отсутствуют, меркаптаны и дисульфиды содержатся в незначительном количестве, и почти вся сера присутствует в виде сульфидов предположительно циклического строения.

Изучению состава средней фракции ( $200-300^{\circ}\text{C}$ ) смолы сланца Кашпирского месторождения с выходом на сырую смолу около 20% посвящена работа [7]. Ниже приведен групповой состав нейтральной средней фракции как результат этой работы, % масс.:

1. Углеводороды	– 30,6
в том числе:	
– парафиновые и олефиновые	– 3,6
– нафтеновые	– 4,0
– олефиновые циклические	– 3,4

– ароматические	– 19,6
2. Сераорганические соединения	– 50,7
в том числе:	
– меркаптаны	– 0,3
– дисульфиды	– 0,8
– сульфиды	– 11,7
– тиофены	– 11,0
– нерасшифрованные	– 27,2
3. Кислородосодержащие соединения	– 18,7

В работе [8] уделено особое внимание содержанию тиофена и его гомологов в бензине (фракция с температурой кипения  $<175^{\circ}\text{C}$ ), который может быть получен из кашпирских сланцев на УТТ. На УТТ выделение бензиновой фракции из газа полукоксования проводится при температуре газа  $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$  путем орошения смесью подсмольной воды и уловленного бензина. Показано, что во фракции  $62\text{--}175^{\circ}\text{C}$  содержание производных тиофена с числом углеродных атомов в заместителях 1,2,3 и 4 превышает 20% и только 0,3-0,4% приходится на тиофен. Во фракции  $175\text{--}250^{\circ}\text{C}$  содержание производных тиофена с числом углеродных атомов в заместителях 2-6 составляет около 24% и менее 1% приходится на тиофен и метилированные гомологи тиофена (2-, 3- метилтиофены). Ясно, что при современном состоянии синтезов на основе тиофена и его производных полезное применение большей части бензинов от полукоксования сернистых сланцев в УТТ проблематично, и необходимо предварительное преобразование смолы полукоксования.

На основе анализа вышеназванных работ по составам смолы от сернистых сланцев и физико-химических свойств углеводородов нами сформирован индивидуальный состав групп компонентов смоляной части ПГПП. При этом особо выделены ароматические углеводороды и циклоалканы, сераорганические соединения и нейтральные кислородные соединения (кетоны, простые и сложные эфиры). Групповой состав смолы полукоксования сернистых сланцев Поволжья на УТТ в соответствии с данными [1] может быть принят следующим, % масс:

Парафиновые и олефиновые углеводороды	– 2
Ароматические углеводороды и циклоалканы	– 40
Сераорганические соединения	– 18
Нейтральные кислородные соединения	– 40

Для всех соединений, выбранных в качестве представительных для групп, рассчитаны элементные составы и приняты усредненные значения. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Усредненные элементные составы групп соединений смолы полукоксования сернистых сланцев Поволжья

Наименование группы	Элементы, % масс.			
	С	Н	S	O
1. Парафиновые и олефиновые углеводороды	85	15	-	-
2. Сераорганические соединения	68	10	22	-
3. Ароматические углеводороды и циклоалканы	90	10	-	-
4. Нейтральные кислородные соединения	80	7	-	13

Для принятого группового состава смолы полукоксования [1] и информации табл. 2 получены следующие расчетные данные по элементному составу смоляной части ПГПП, % масс.:

Углерод	– 76,4
Водород	– 8,9
Сера	– 8,8
Кислород	– 5,9

Эти результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, приведенными в табл. 1, и могут быть приняты за основу для анализа характерных процессов направленного термокаталитического преобразования смоляной части ПГПП.

В табл. 3 представлены четыре группы реакций, каталитическое инициирование которых в специальных реакторах позволяет радикально преобразовать ПГПП сернистых горючих сланцев с целью увеличения выхода тиофена, бензола и их простейших гомологов (не более 2 атомов углерода в заместителях).

Таблица 3

Предпочтительные процессы каталитического преобразования  
смоляной части ПГПП сернистых сланцев

№ групп реакций	Группы индивидуальных соединений в смоле	Типы реакций преобразования	Рекомендуемые катализаторы
1	Производные бензола и тиофена	Деалкилирование	Алюмосиликатный цеолитсодержащий
2	Циклические сульфиды и циклоалканы	Дегидрирование с последующим деалкилированием	Алюмохромистый, алюмо-молибденовый, алюмокобальто-молибденовый
3	Линейные (изо-) парафины и олефины, сульфиды	Дегидроциклизации	Алюмомолибденовый, алюмосиликатный с оксидами хрома и калия
4	Нейтральные кислородные соединения (кетоны, простые и сложные эфиры)	Разложение с образованием непредельных углеводородов и воды	Алюмосиликатный

В этой же таблице указаны катализаторы, которые могут быть опробованы на лабораторной (пилотной) установке для направленной реализации всего комплекса процессов. В этом состоит одна из сложностей процедуры, поскольку указанные катализаторы опробованы при преобразовании, как правило, индивидуальных соединений. Вместе с тем сходность составов позволяет надеяться на приемлемую эффективность для всего комплекса реакций. Так, алюмосиликатный катализатор с оксидами хрома и калия с высокой степенью вероятности может показать приемлемую эффективность для 1, 3 и 4-й групп реакций преобразования.

В заключение добавим, что указанные в табл. 3 катализаторы явились результатом проведенного нами обзорного исследования многочисленных экспериментальных работ коллективов ученых под руководством А.В. Фроста, Р.Д. Оболенцева, Ю.Н. Усова, Г.М. Панченкова и других, опубликованных в период с 1956 года по настоящее время.

#### Выводы

1. Эффективное использование сернистых горючих сланцев Поволжья как органоминерального сырья возможно только на основе направленного каталитического преобразования парогазовой смеси после полукоксования в установке с твердым теплоносителем.

2. Создание оптимальных условий преобразования парогазовой смеси возможно только при достоверно спрогнозированном групповом составе смоляных продуктов полукоксования сланца.

3. Выполнен обзор экспериментальных исследований группового и компонентного состава смолы полукоксования сернистых сланцев и определены основные модельные группы и индивидуальные вещества.

4. Выделены основные группы реакций термокаталитического преобразования, позволяющие обеспечить наибольшую технологическую эффективность процесса и спрогнозировать вероятные составы катализатора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Определение основных технологических параметров термической переработки сланца Перелюб-Благодатовского месторождения на стендовой установке с твердым теплоносителем (УТТ) / Е.И. Казаков, В.И. Мамай, В.А. Мишаков и др. // Исследования в области комплексного энерготехнологического использования топлива: межвуз. науч. сб. Саратов: СПИ, 1982. С. 101-105.
2. Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем / А.И. Блохин, М.И. Зарецкий, Г.П. Стельмах, Г.Б. Фрайман. М.: Светлый Стан, 2005. 396 с.
3. Зеленин Н.И. Состав легкой фракции смолы Кашпирского сланца / Н.И. Зеленин, Г.В. Татаркина // Химия и технология продуктов переработки сланцев: труды ВНИИПС. Вып. 2. Л.: Ленгостоптехиздат, 1954. С. 111-118.
4. Каменская И.Н. Применение техники хроматографического анализа к определению группового состава фракции смолы сланца волжского месторождения / И.Н. Каменская // Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки: труды ВНИИПС. Вып. 4. Л.: Ленгостоптехиздат, 1955. С. 259-280.
5. Каменская И.Н. Химический состав смолы, полученной из сланцев месторождения «Общий сырт» / И.Н. Каменская, В.Ф. Полозов // Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки: труды ВНИИПС. Вып. 5. Л.: Ленгостоптехиздат, 1956. С. 203-208.
6. Зонова З.Т. Состав фракции (150-365°C) смолы, полученной из сланцев месторождения «Общий сырт» / З.Т. Зонова // Известия АН СССР. ОТН. 1956. № 7. С. 124-130.
7. Веретенников И.В. Состав средней фракции (200-300°C) смолы кашпирских сланцев / И.В. Веретенников, А.С. Петров // Химия сераорганических соединений, содержащихся в нефтях и нефтепродуктах. М.: Химия, 1964. Т. VI. С. 126-132.
8. Переработка высокосернистых сланцев Кашпирского месторождения / К.А. Иорудас, Г.П. Стельмах, С.П. Михненко, А.И. Блохин // Химия твердого топлива. 1999. № 5. С. 73-78.
9. Симонов В.Ф. Фундаментальные, научно-технические и экономические аспекты использования горючих сланцев Поволжья / В.Ф. Симонов, В.Г. Прелатов, А.В. Янов // Горючие сланцы – альтернативный источник топлива и сырья. Фундаментальные исследования. Опыт и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2007. С. 69-73.

**Симонов Вениамин Федорович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета

**Simonov Veniamin Fyodorovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Industrial Heat Engineering» of Saratov State Technical University

**Прелатов Владимир Германович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета

**Prelatov Vladimir Germanovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Industrial Heat Engineering» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 23.11.09, принята к опубликованию 27.01.10*

## **АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

---

УДК 625 7/8

**А.В. Кочетков, В.В. Ермолаева, Б.В. Ермолаев, Б.А. Мырзахметов**

### **НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Показано, что в последнее время быстро развиваются информационные системы, связанные с Интернетом, космическими технологиями, системами глобального позиционирования, автоматизированными банками дорожных данных, методами создания цифровых моделей местности. Приведены новые инструменты и методы разработки, которые могут быть использованы в отраслевой системе проектирования дорожного хозяйства.*

Дорожное хозяйство, системы проектирования мостов, транспортное строительство, автоматизированные банки дорожных данных, использование GPS в дорожном хозяйстве.

**A.V. Kochetkov, V.V. Ermolaeva, B.V. Ermolaev, B.A. Myrzakhmetov**

### **NEW TOOL MEANS OF RESEARCH AND DESIGNING OF OBJECTS OF TRANSPORT BUILDING**

*The information systems connected with the Internet, space technologies, the systems of global positioning, and automated information banks of the road data, methods of creation of digital models of district promptly develop. New tools and designing methods have appeared in a consequence of it. It can be applied in system of designing of the road economy.*

Road facilities, bridge designing systems, transport construction, automated banks of road data, GPS usage in road facilities.

Особое место в проектировании объектов транспортного строительства занимает фотографирование местности с большой высоты – ранее это была аэрофотосъемка. В настоящее время достаточно сильное развитие получила фотографическая съемка из космоса.

До последнего времени эта информация для проектировщиков, работающих в системе транспортного строительства, была труднодоступна, а самое главное – не систематизирована в удобном для пользователя виде.

Поэтому абсолютно замечательно выглядит информационный продукт поисковой системы GOOGLE – база данных фотографий земной поверхности из космоса [1].



В настоящее время на основе информации поисковой системы собрана база данных более тысячи мостовых сооружений в разных частях света. В качестве интересного факта можно сообщить, что практически не удалось создать раздел базы данных мостов по Южной Америке.



Фотографии из космоса мостового перехода через Волгу в с. Пристанном



Мосты в Санкт-Петербурге  
(стрелка Васильевского острова)



Строящийся мост  
через Москву-реку

При работе в данном программном модуле с сервером Google имеется возможность просматривать изображения объектов во всех частях света, виртуально изменять пространственное положение и ориентацию точки зрения: высоту, координату, угол наклона по отношению к горизонту. Имеется возможность проводить ориентировочные оценки координат положения объекта, сохранять просмотренную информацию в памяти своего компьютера.

На изображениях, полученных из космоса, вполне различимы объекты типа зданий и их элементов, автомобили, элементы транспортных сооружений, тени от них, морские волны и т.д. Путем регулирования высоты точки зрения можно по изменению цветности оценивать глубину мелководных участков морей.



Мосты в Бремене



Мосты в Праге



Плотина и мост Kisangani (Stanleyville, Tshopo River, Демократическая республика Конго)



Мост Egun Lagbe в Нигерии



Система мостов в Чикаго



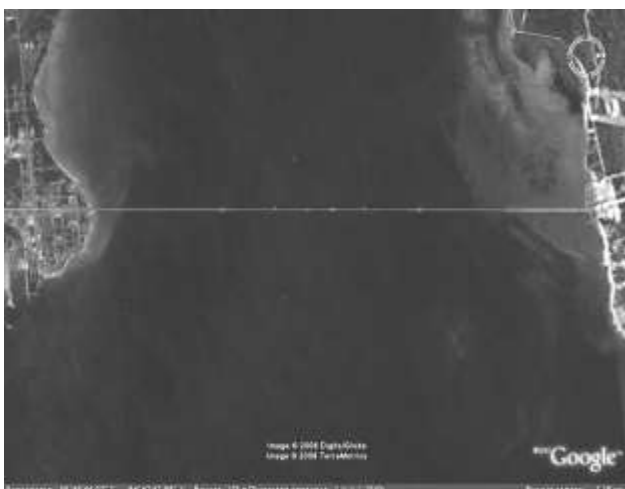
Мост вертикальной разворотной компоновки в Ричмонде



Мост через пролив Босфор в Стамбуле



Мостовые сооружения в Вашингтоне. Справа (для справки) – состояние деформационных швов на них – при визуальном осмотре автором



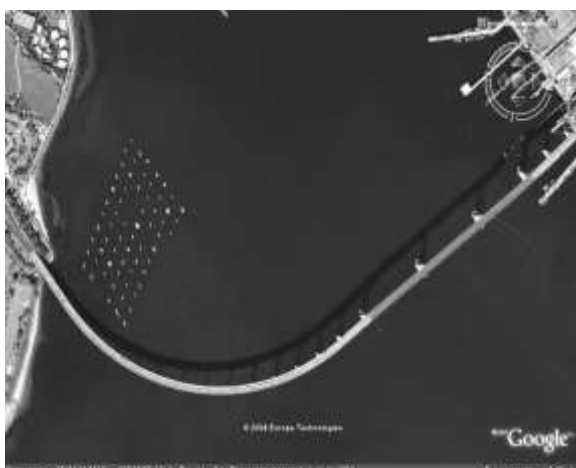
Мост Mackinac Bridge в Мичигане



Мост Richmond-San Rafael Bridge в Сан-Рафаэле



Мост Golden Gate в Сан-Франциско



Мост San Diego-Coronado Bridge в Сан-Диего (США)

Таким образом, можно рекомендовать проектировщикам и строителям автомобильных дорог и искусственных сооружений на них использовать в своей деятельности подобные информационные ресурсы.

Программа отличается высоким уровнем интерактивности. Это повышает качество визуализации, дает возможность зрительно оценить ландшафт местности, определить предварительно оптимальную трассу и сформировать требования к размещению архитектурно-планировочных решений объектов дорожного сервиса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетков А.В. Новые инструментальные средства изыскания и проектирования объектов транспортного строительства / А.В. Кочетков, Б.В. Ермолаев, А.В. Ермолаева // Дорожная держава. 2008. № 11. С. 30-33.

**Кочетков Андрей Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и транспортные сооружения» Саратовского государственного технического университета

**Kochetkov Andrey Viktorovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Bridges and Transport Constructions» of Saratov State Technical University

**Ермолаева Вероника Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика» Саратовского государственного технического университета

**Yermolayeva Veronika Viktorovna** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Information Sciences» of Saratov State Technical University

**Ермолаев Борис Вячеславович** – студент кафедры «Мосты и транспортные сооружения» Саратовского государственного технического университета

**Yermolayev Boris Vyacheslavovich** – Student of the Department of «Bridges and Transport Constructions » of Saratov State Technical University

**Мырзахметов Бейбит Абикенович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» Казахского национального университета им. К.И. Сатнаева

**Myrzakhmetov Beybit Abikenovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of the Department of «Machine Tools and Equipment for Oil and Gas Industry» of Kazakh National University in the name of K.I. Satnayev

*Статья поступила в редакцию 23.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 662.749

**Д.В. Мещеряков, О.Д. Смилевец, Н.В. Хаюк, Д.С. Спиричева**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЦЕБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ  
ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

*Освещены эффективные способы получения строительных материалов на основе переработки горючих сланцев.*

Горючие сланцы, переработка, строительные материалы.

D.V. Mescheryakov, O.D. Smilevets, N.V. Khayuk, D.S. Spiricheva

**KOTEBINSK DEPOSIT RESEARCH WITH COMPOSITE CONSTRUCTION  
MATERIAL PRODUCTION AIM ON THE BASE  
OF ENERGY TECHNOLOGICAL PROCESSING OF SHALE OIL**

*The authors study effective ways of construction materials production on the base of shale oil processing.*

Shale oil, processing, construction materials.

В условиях рыночных отношений ресурсная оценка состояния минерально-сырьевой базы территории является основным элементом планирования экономического развития региона. Кроме того, любые оценки ресурсной базы того или иного региона приобретают особую информативность при сравнении с аналогичными данными по другим регионам и по России в целом. Весьма важным представляется также и анализ сведений о горючих сланцах как о сырье для производства различной химической продукции.

На основании проведенных исследований геологические ресурсы горючих сланцев России составляют 700288,85 млн. т (см. таблицу). Из них по категории А+В+С<sub>1</sub> 2454,6 млн т; С<sub>2</sub> – 2824,0 млн т, забалансовые 467,4 млн т, неучтенные балансом – 12090,95 млн т, прогнозные; по категории Р<sub>1</sub> – 46906,1 млн т, Р<sub>2</sub> – 29674,7 млн т, Р<sub>3</sub> – 605861,1 млн т [2].

Ресурсы горючих сланцев в месторождениях России  
и на территории Саратовской области,  
учтенные Государственным балансом (млн т)

Регион	А+В+С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	Р <sub>1</sub>	Р <sub>2</sub>	Р <sub>3</sub>	Забалан- совые	Неучтен- ные
Россия	2454,6	2824	46906,1	29674,7	605861,1	467,4	12090,95
Саратовская область	760,947	1060,766				564	
Савельевское	30,249	1,257				45,113	
Озинское	72,620	0,922				158,861	
Коцебинское	40,927						
Перелюбское	617,151	1058,587				360,137	

На долю Саратовской области в категории промышленных запасов (А+В+С<sub>1</sub>) падает более 31% от общих промышленных запасов горючих сланцев в целом по России. В категории С<sub>2</sub> – ресурсы горючих сланцев в Саратовской области – это 38% ресурсов по России. Приведенные цифры наглядно демонстрируют значение нашего региона для всей сланцедобывающей и сланцеперерабатывающей промышленности России в целом.

На территории Саратовской области расположено несколько месторождений горючих сланцев.

Савельевское месторождение расположено в Краснопартизанском районе. Общая разведанная площадь месторождения около 110 км<sup>2</sup>. Глубина залегания сланцев колеблется от нескольких до 200 м. Вскрыша представлена верхнеюрскими, нижнемеловыми, плиоценовыми и четвертичными образованиями. Мощность продуктивной толщи от 13,8 до 20,8 м.

Балансовые запасы сланцев по Сакминскому и Михайловско-Соловьевскому участкам по категориям А+В+С<sub>1</sub> равны 30249 тыс. т и по категории С<sub>2</sub> – 1257 тыс.т. Забалансовые за-

пасы Михайловского, Соловьевского, Рукополь-Корнеевских 1 и 2, Южно-Савельевских 1 и 2 участков составляют 190858 тыс. т.

Озинское месторождение расположено вблизи р.ц. Озинки. Месторождение разведано на площади 13,5 км<sup>2</sup> по категориям: А – 12,6 млн т, В – 45,2 млн т, С<sub>1</sub> – 14,8 млн т, С<sub>2</sub> – 0,9 млн т, и забалансовые 158,9 млн т. Запасы утверждались ГКЗ в 1951 и 1953 гг. Месторождение эксплуатировалось с 1943 по 1957 годы, после чего было законсервировано. Качество и достоверность геологоразведочных работ довольно низкие.

Орловское месторождение расположено вблизи с. Орловка Духовницкого района. Площадь месторождения около 60 км<sup>2</sup>, подетальные геологоразведочные работы проводились в 1941 году в пределах Селезнихинского участка площадью 0,35 км<sup>2</sup>. Запасы по категории С<sub>1</sub> по одному пласту составляют 133 тыс. т. На остальной площади запасы сланцев определены в количестве 58231 тыс. т. Из-за низкой степени изученности качества сланцев и геологического строения участка запасы Орловского месторождения отнесены к 1-й группе прогнозных (Р<sub>1</sub>), характеризующихся теплотой сгорания 1600-2000 ккал/кг и мощностью пласта от 0,5 до 1,4 м.

Перелюбское и Коцебинское месторождения расположены в пределах Перелюб-Благодатовской сланценосной площади. Сланценосные отложения волжского яруса верхнего отдела юрской системы широко развиты в Саратовском Заволжье, но залегают близко к поверхности только на отдельных участках, наибольший из которых находится в Перелюбском районе, где выявлены Коцебинское и Перелюбское месторождения. Запасы этих двух месторождений по категории С<sub>1</sub> составляют 1142 млн т (Коцебинское – 525 млн т, Перелюбское – 617 млн т), они не утверждались, т.к. до 1990 года продолжались технологические испытания горючих сланцев. Предварительно оцененные запасы по обоим месторождениям по категории С<sub>2</sub> составляют 5321 млн т.

Левобережный участок Кашнир-Хвалынской сланценосной площади расположен в Духовницком районе. Поисковые работы, проведенные в 1952 году, выявили участки с промышленной сланценосностью, но мощность толщи и качество сланцев значительно ниже, чем на Перелюбском месторождении.

Безусловно, наиболее подготовленным к добыче и переработке месторождением горючих сланцев в области является Коцебинское, поэтому вопросы его быстрее включения в хозяйственный оборот весьма актуальны и своевременны. Исходя из результатов геологических данных, под открытую разработку горючих сланцев выбран участок «Рассыновский» северного крыла Коцебинского месторождения, размеры которого 3,25×1,8 км. Участок расположен в понижении рельефа, имеющего характер долины, вытянутого в субширотном направлении. Месторождение расположено в Саратовской, Самарской и Оренбургской областях РФ и Казахстане. Основная часть месторождения расположена в Саратовской области.

Кровля сланцевой толщи в границах участка залегает на глубине от 0,8 до 15,8 м. Общая мощность сланцевой толщи составляет от 28,6 до 37,6 м. Перекрывается полезная толща почвенно-растительным слоем 0,1-0,4 м, бурыми глинами мощностью 3,6-5,5 м и толщей переслаивающихся известняков, мергелей и известковых глин мощностью 7,2-10,8 м.

Если толщину керогеновых глин, которые являются низкокалорийными горючими сланцами, отнести к вскрыше, то I пласт сланца находится на глубине в среднем 20 м, что позволяет вести разработку открытым способом. Сланец залегает в виде пластов различной мощности – 0,7 до 1,2 м. На данном участке полезное ископаемое скомпоновано по пластам и пачкам. Всего их 5, мощностью от 0,85 до 4,2 м. Суммарная мощность по чистому сланцу варьируется от 6,3 до 8,6 м. Общий объем сланцев и прослоев – 92,137 млн м<sup>3</sup>, чистого сланца – 40,9 млн м<sup>3</sup>, вскрышных работ – 193,3 млн м<sup>3</sup>. Промышленные запасы (с учетом потерь при добыче) – 37,1 млн м<sup>3</sup> [4].

Пласты горючих сланцев залегают практически горизонтально. Качество сланцев в пластах различно. Согласно гидрогеологическим исследованиям, начиная с III пласта, полезная толща обводнена. Воды безнапорные, обладают целебными свойствами, они близки к водам ти-



па «Нафтуси», как и все воды в сланцево-рудных бассейнах. По химическим и бактериологическим анализам карьерные воды по качественным показателям относятся к здоровым водам.

Возможная система обработки месторождения, по классификации проф. Мельникова, классифицируется как «транспортная», с перемещением вскрышных работ во внешние и внутренние отвалы автотранспортом. На горных работах предполагается параллельная структура комплексной механизации вскрышных и добычных работ.

Вскрышные работы ведутся в 3 уступа:

1-й – почвенно-растительный слой – бульдозером;

2-й – мягкая вскрыша – экскаватором с транспортировкой в отвалы;

3-й – скальная вскрыша после взрывания убирается экскаватором и самосвалами.

Внутренняя вскрыша относится к мягкой. Добычные работы ведутся одновременно на двух добычных уступах: 1-й объединяет 1, 2 и 3-ю пачки, 2-й – IV и V пласты с прослоем керогеновой глины. Добыча ведётся с применением буровзрывных работ. Возможно вести добычные работы и другим способом: в 3-4 добычных уступа, чтобы не смешивать более «богатые», с более «бедными» пластами, т.е. вести добычу селективно. В этом случае себестоимость добычных работ повышается на 5÷10%.

Рекультивационные работы на карьере можно начинать с 3-го года отработки, как только оголится подошва карьера. Отработка карьерного поля должна быть комплексной. Бурые неогеновые глины, залегающие ниже почвенно-растительного слоя, являются хорошим сырьём для приготовления керамического кирпича. Запасы кирпичных глин составляют 25,7 млн м<sup>3</sup>. В качестве щебня для дорожного строительства могут быть использованы прослой известняка во внешней вскрыше. Запасы плотного известняка составляют 14,0 млн м<sup>3</sup>.

Прослой известняковых глин между II и III, а также III и IV пластами являются природно-сбалансированным цементным сырьём. Объём их составляет 42,1 млн м<sup>3</sup>. Толща керогеновых, так называемых «чёрных», глин может служить для производства керамзита, так как эти глины хорошо вспучиваются при термической обработке. Объём их составляет 44,2 млн м<sup>3</sup>. Эти же глины можно использовать в бальнеологических целях для «глинолечения», в комплексе с водой типа «Нафтуси». Кроме этого, в основании сланцевой толщи залегают фосфоритовый горизонт.

При такой комплексной разработке карьерного поля существенно изменится коэффициент вскрыши и, естественно, себестоимость добычных работ основного полезного компонента, а также она позволяет вести разработку и на других участках с более мощной вскрышей.

Вышеперечисленные данные приведены для незначительного участка Коцебинского месторождения. В целом Коцебинское месторождение по результатам поисково-оценочных работ располагает запасами по категории С<sub>2</sub> более 3500 млн тонн. Мощность перекрывающих отложений от 6,4 до 50,3 м. Это позволяет более оптимистично рассматривать возможности открытой обработки этого месторождения.

На кафедре производства строительных изделий и конструкций Саратовского государственного технического университета наработан солидный научно-технический опыт решения задач комплексного подхода к утилизации техногенных отходов в производство строительных материалов как на отдельно взятом предприятии, так и в промышленном регионе. При выборе той или иной схемы организации энерготехнологической переработки горючих сланцев можно выделить несколько направлений использования минерального остатка, в зависимости от оценки их пригодности и подготовленности для производства конкретного строительного материала.

Минеральные отходы низкотемпературной переработки горючих сланцев в газогенераторных станциях и на установках с твердым теплоносителем характеризуются наличием неразложившихся карбонатов и высоким содержанием невыгоревших соединений и органики. Такой минеральный остаток из-за низкого содержания клинкерных минералов не обладает вяжущими свойствами и не пригоден для производства безобжиговых строительных материалов. Как показали исследования, сланцевый полукокс, подвергшийся дожиганию, представляет со-



бой золу с химико-минералогическим составом, позволяющим использовать ее в вяжущем веществе зольно-щелочного типа активностью до 20 МПа, эффективно твердеющим в условиях тепловлажностной обработки. Зола с установок с твердым теплоносителем (УТТ) после дожига вполне пригодна для получения смешанных вяжущих веществ: зольно-известковых и зольно-цементных. Значительно расширяет возможности утилизации исследуемой золы УТТ применение ее в немолотом состоянии в качестве зольного песка в строительных растворах. На основе смешанного зольно-цементного вяжущего с пониженным на 40% расходом цемента получены изделия из тяжелого бетона с классами по прочности до В15. В составе тяжелого бетона использована как молотая зола, так и в виде зольного песка с  $M_k = 2,2$ .

Проведены детальные исследования свойств золы для производства силикатных изделий автоклавного твердения. Зола УТТ, как отмечалось ранее, имеет алюмосиликатный модуль 4,42 и наличие стекловидной фазы, что предопределяет ее пригодность как кремнеземистого компонента силикатной смеси автоклавного твердения. В лабораторных условиях получены изделия силикатно-зольного кирпича марок М100, М150 и М200 при варьировании соотношений молотой золы, зольного песка и извести [1, 3].

Эффективным направлением утилизации сланцевого полукокса представляется применение его в качестве отошающей и выгорающей добавки при производстве керамических материалов повышенной пористости с высокими теплотехническими свойствами. Результаты исследований показали, что как отошающая добавка сланцевый продукт снижает пластичность глиняной смеси, уменьшает ее воздушную усадку и требует увеличения формочной влажности. Как выгорающая добавка полукокс сказывается на уменьшении средней плотности и увеличении водопоглощения получаемого кирпича. По нашим данным, добавки сланцевого полукокса до 25% от массы сырьевой смеси позволяют получить эффективный керамический кирпич плотностью 1200-1450 кг/м<sup>3</sup>; с марками по прочности М75, М100 и М125 (в зависимости от количества вводимой добавки); морозостойкостью не ниже F25. Полукокс как углеродсодержащий компонент шихты в производстве керамического кирпича позволяет на 10-15% сократить расход топлива при обжиге [5].

Минеральная часть горючих сланцев содержит практически все оксиды, применяемые в производстве плавящихся материалов, и поэтому с незначительной подшихтовкой является основой для получения изделий на основе шлакового стекла, золошлакоситаллов, пеностекла и шлакоминеральной ваты. Проработаны технологические аспекты формирования пористой структуры стеклокомпозиций и возможности использования золы горючих сланцев как основного сырья, а сырых сланцев как углеродсодержащего газообразователя. Исследована способность золошлаковых стекол к вспениванию при получении из них пеностекла и пеноситалла. Получена зависимость степени пенообразования (по скорости приращения объема) от количества пенообразователя и температуры вспенивания. Установлено, что наиболее интенсивный рост пористой массы наблюдается в интервале температур 880-920°C с выдержкой для стабилизации структуры от 15 до 20 минут. При дальнейшей термообработке в течение часа при температуре 790-820°C наблюдается переход ячеистой стекловидной массы в кристаллическое состояние с выделением минералов пироксеновой группы. Идентифицирована ячеистая структура материала с сообщающимися порами примерно одинакового размера. Стеклокристаллический каркас гетерогенной композиции представлен стеклофазой и пироксеновыми кристаллами примерно в равных соотношениях. Кристаллическую фазу представляют диопсид, параволластонит и галенит. Полученный материал классифицирован как изоляционно-строительный, класса Б и может быть использован для утепления стен, покрытий, кровельных и других элементов зданий и сооружений гражданского, промышленного и сельскохозяйственного назначения.

Проведена комплексная оценка пригодности золошлаковых остатков переработки горючих сланцев для производства минерального волокна - аналога базальтового. Эксперименты, проведенные на опытной установке МГД-25, показали, что жидкий шлак, полу-

чающийся при сжигании волжского сланца, вполне пригоден для производства шлаковой минеральной ваты. В заключение следует отметить, что предложенные рациональные и эффективные способы утилизации минерального остатка переработки горючих сланцев технически и экономически обоснованы и с успехом могут быть реализованы в заводских условиях, как предприятий стройиндустрии, так и непосредственно в местах переработки горючего сланца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Использование техногенных отходов добычи и переработки горючих сланцев для производства стеклокристаллических материалов, керамических изделий и пеностекла / В.А. Гороховский, Э.А. Гуревич, Д.В. Мещеряков, Л.В. Мартынова // Современные проблемы строительного материаловедения: сб. трудов Междунар. конф. Самара, 1995. Ч. 3. С. 11-13.

2. Зозырев Н.Ю. Закономерности размещения и перспективы использования минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых Саратовской области / Н.Ю. Зозырев, Ю.Н. Зозырев. Саратов: Наука, 2006. 124 с.

3. Некоторые направления использования местного сырья и техногенных отходов Поволжья для создания строительных композиционных материалов / Ю.Г. Иващенко, Д.В. Мещеряков, Э.А. Гуревич, П.К. Желтов // Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве: сб. науч. трудов Междунар. конф. Белгород, 2002. С. 85-89.

4. Концепция и основные направления освоения минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых Саратовской области (на период 1999-2005 гг.). Утверждены постановлением правительства области от 2.08.1999 г. № 66-п.

5. Мещеряков Д.В. Стеклокристаллические композиты пироксеновой структуры на основе минерального остатка переработки горючих сланцев и другого техногенного сырья / Д.В. Мещеряков. Саратов: СГТУ, 2000. 102 с.

**Мещеряков Дмитрий Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Смилевец Олег Демьянович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Хаяук Нина Васильевна** – аспирант кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Спиричева Дарья Сергеевна** – аспирант кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Mescheryakov Dmitriy Vasilyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Production of Construction Materials and Constructions» of Saratov State Technical University

**Smilevets Oleg Demyanovich** – Doctor of Sciences in Geology and Minerology, Professor of the Department of «Production of Construction Materials and Constructions» of Saratov State Technical University

**Khayuk Nina Vasilyevna** – Post-graduate Student of the Department of «Production of Construction Materials and Constructions» of Saratov State Technical University

**Spiricheva Darya Sergeyevna** – Post-graduate Student of the Department of «Production of Construction Materials and Constructions» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 28.05.09, принята к опубликованию 14.01.10*

---

---

# ЭКОЛОГИЯ

---

---

УДК 614.72:628.33+677.4

**Б.Н. Яковлев, О.Р. Джураев, А.В. Белов**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫМИ ОЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*На основании полученных в ходе экспериментальных исследований на действующих сооружениях по очистке производственных сточных вод предприятий химической промышленности представлены значения максимальных концентраций парогазовоздушных смесей в различных зонах.*

Сточные воды, очистные сооружения, концентрация парогазовоздушных смесей.

**B.N. Yakovlev, O.R. Dzhuraev, A.V. Belov**

## **AIR POLLUTION RESEARCH BY CHEMICAL INDUSTRY ENTERPRISES SEWER TREATMENT FACILITIES**

*On the basis of received during experimental researches on operating constructions on clearing of industrial sewage of the enterprises of the chemical industry values of the maximum concentration of steam-air, air-gas mixes in various zones are presented here.*

Waste water, waste water treatment plants, steam-air & air-gas mixes concentration.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание снижению выбросов различных вредных веществ (паров и газов) в атмосферу. В связи с этим возникает потребность в проведении исследований, направленных на определение фактического загрязнения воздушной среды, в частности, при эксплуатации канализационных очистных сооружений предприятий химической промышленности. Данные исследования важны для разработки организационных и технических мероприятий по уменьшению загрязнения окружающей воздушной среды.

В ходе исследования были изучены состав и количество производственных сточных вод основных производств химической промышленности.

Так, например, химически загрязнённые стоки заводов синтетического каучука образуются при следующих технологических процессах: гидрировании углеводов при синтезе исходных мономеров в присутствии водяного пара, использовании воды для очистки и отмывки

перерабатываемых продуктов от водорастворимых веществ; образование реакционной воды в процессах дегидрирования; применение растворов различных ингредиентов в процессе производства каучука; применение острого пара в некоторых процессах ректификации продуктов производства; в результате промывок контактных газов, катализаторной пыли, смол, а также при охлаждении этих газов в скрубберах, пенных аппаратах и другом оборудовании. Они содержат различные соединения: углеводороды, спирты, альдегиды, карбоновые кислоты, кетоны, амины, эфиры, а также соли неорганических кислот, хрома, цинка и других металлов. Характеристика загрязнений промстоков заводов синтетического каучука приведена в табл. 1.

Таблица 1

Загрязнение промстоков заводов СК

Наименование основных загрязнителей	диметиламин	стирол	дизельное топливо и смолы	диметил-формамид	масла	спирты	бензин	аммиак	формальдегид	метанол	углеводороды
Концентрация загрязнений на входе в очистные сооружения, мг л <sup>-1</sup>	50	50	50	200	300	300	750	1000	1000	1000	1000

На заводах СК проектируют отдельную систему канализации: производственную, продувочных, атмосферных и бытовых сточных вод.

Производственные сточные воды предприятий химволокна образуются при производстве вискозного и ацетатного волокон, в процессах отделения щелочи, фильтрации вискозы, прядения и отделки волокна, выпарки раствора осадительной и пластификационной ванн и т.д. Сточные воды содержат серную кислоту, сульфаты цинка и натрия, сероуглерод, сероводород, целлюлозу, едкий натр, ацетон, метиленхлорид и др. Характеристика загрязнений сточных вод представлена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика основных загрязнений стоков производства искусственных волокон

Загрязняющие вещества	сульфаты	серная кислота	сероводород	сероуглерод	ацетон	целлюлоза	нефтепродукты	капролактамы
Концентрация загрязнений на входе в очистные сооружения, мг л <sup>-1</sup>	80	100	100	300	350	700	1080	2775

Производственные сточные воды предприятий синтетического каучука и химических волокон проходят механическую и биологическую очистку. На рис. 1 показана общая схема очистки сточных вод предприятий химической промышленности.

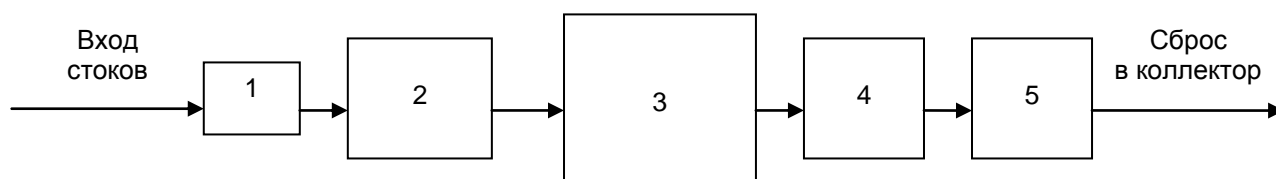


Рис. 1. Общая схема очистки стоков предприятий химической промышленности:  
1 – решетки; 2 – песколовки; 3 – полимерловушки; 4 – первичные отстойники; 5 – БХО (аэротенки)

В соответствии с разработанной методикой были проведены замеры концентраций паровоздушных смесей (ПГВС) в различных воздушных зонах очистных канализационных сооружений. По результатам проведённых экспериментальных исследований были получены максимальные значения концентраций ПГВС, которые показаны на графиках, рис. 2 и 3.

Полученные значения концентраций ПГВС над очистными канализационными сооружениями производственных сточных вод дают картину загрязнения воздушной среды на территории этих сооружений. Сравнивая полученные концентрации по основным ингредиентам с нормативными для атмосферного воздуха и рабочей зоны видно, что они в 2-200 и более раз превышают допустимые.

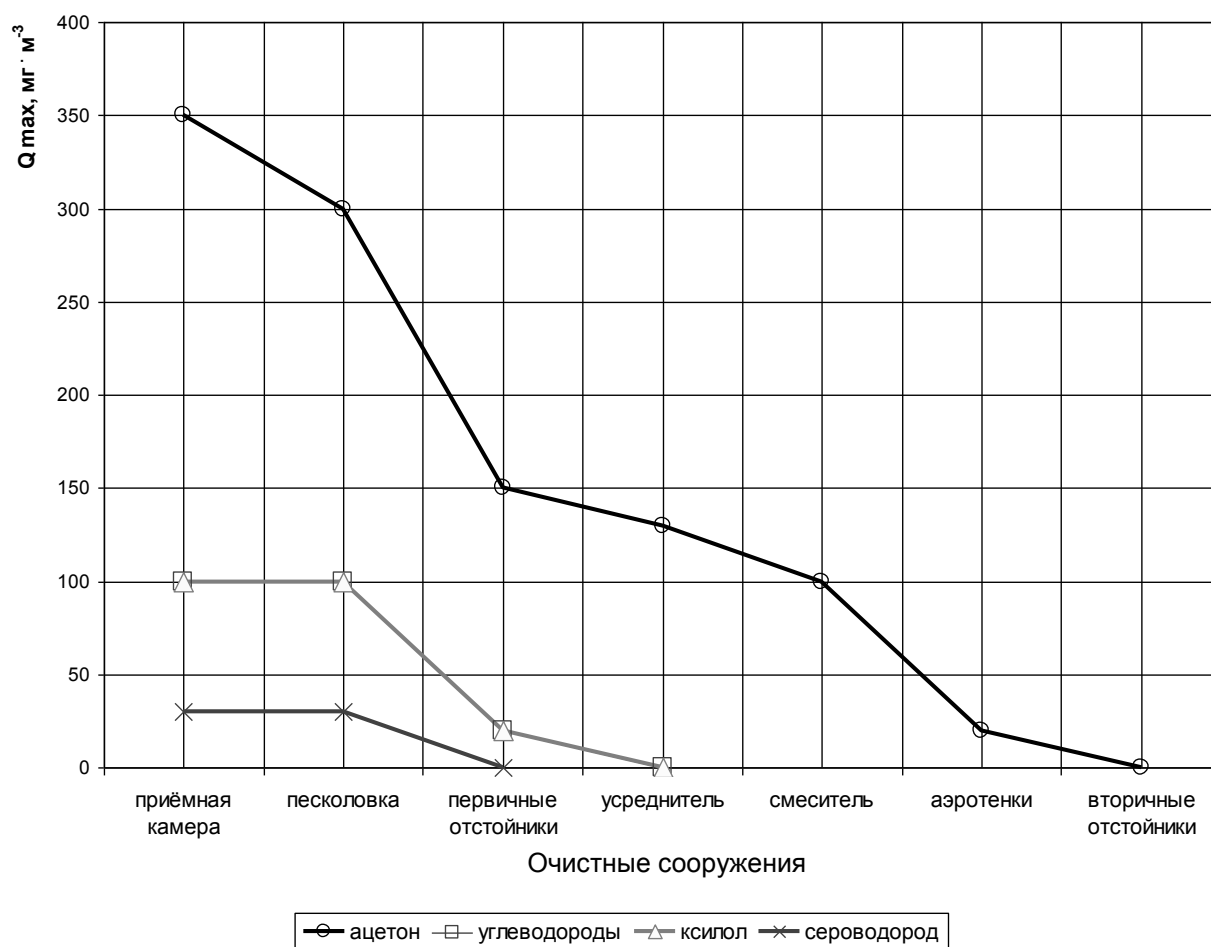


Рис. 2. Максимальные значения концентраций ПГВС в воздушных зонах очистных сооружений предприятий химволокна

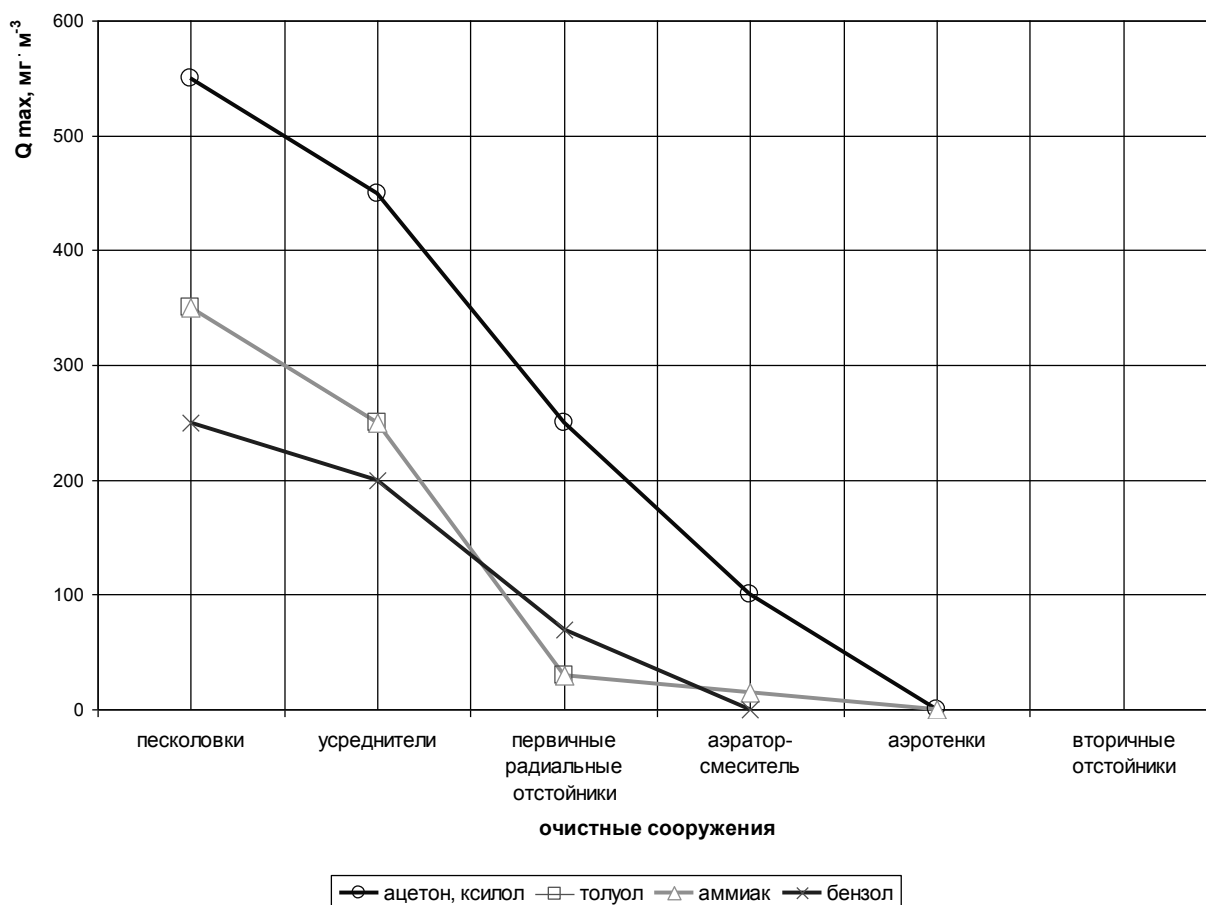


Рис. 3. Максимальные значения концентрации ПГВС в воздушных зонах очистных сооружений предприятий синтетического каучука

Для уменьшения загрязнения окружающей воздушной среды при эксплуатации канализационных очистных сооружений необходимо разработать организационные и технические мероприятия.

**Яковлев Борис Николаевич** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Эргономика и безопасность жизнедеятельности» Саратовского государственного технического университета

**Yakovlev Boris Nikolayevich** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of «Ergonomics and Life Safety» of Saratov State Technical University

**Джураев Омурбек Раушанович** – студент Саратовского государственного технического университета

**Dzhuraev Omurbek Raushanovich** – Student of Saratov State Technical University

**Белов Александр Викторович** – лаборант кафедры «Эргономика и безопасность жизнедеятельности», студент Саратовского государственного технического университета

**Belov Aleksandr Viktorovich** – Laboratory Assistant of the Department of «Ergonomics and Life Safety», student of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.11.09, принята к опубликованию 27.01.10

---

---

# ЭКОНОМИКА

---

---

УДК 338.45.01

**Т.В. Горячева**

## **ИНСТРУМЕНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ**

*Рассматриваются принципы реализации промышленной политики. Особое внимание автор обращает на сущность инструментов промышленной политики, их взаимосвязи между собой.*

Инструментарий, промышленная политика, принцип, регулирование.

**T.V. Goryacheva**

## **ENTERPRISES' INDUSTRIAL POLICY TOOLS**

*The paper presents principles of an industrial policy. The author gives special attention to the essence of tools of an industrial policy of their interrelation among themselves.*

Toolkit, the industrial policy, principle, regulation.

Промышленную политику предприятия необходимо рассматривать как общие ориентиры для действий и принятия решений относительно производства продукции, внедрения новых технологий и разработок. Промышленная политика должна включать такие элементы, как решения по номенклатуре и ассортименту продукции, по объему производства, решения по качеству продукции и издержкам на нее, решения по технологии изготовления и применяемому оборудованию, решения по организации производственного процесса в пространстве и во времени, а также по структуре управления производством.

Промышленная политика предприятия может находить отражение в следующих документах: уставе предприятия, его миссии, производственной программе, бюджете предприятия, бизнес-плане предприятия, внутренних стандартах и нормативах.

В целом процесс реализации промышленной политики предприятия можно представить в виде алгоритма, изображенного на рисунке.

Успешная же реализация промышленной политики предприятия возможна только на основе определенных принципов. Основываясь на опыте изучения отечественного и мирового развития производственной сферы, сформулируем основные из них.

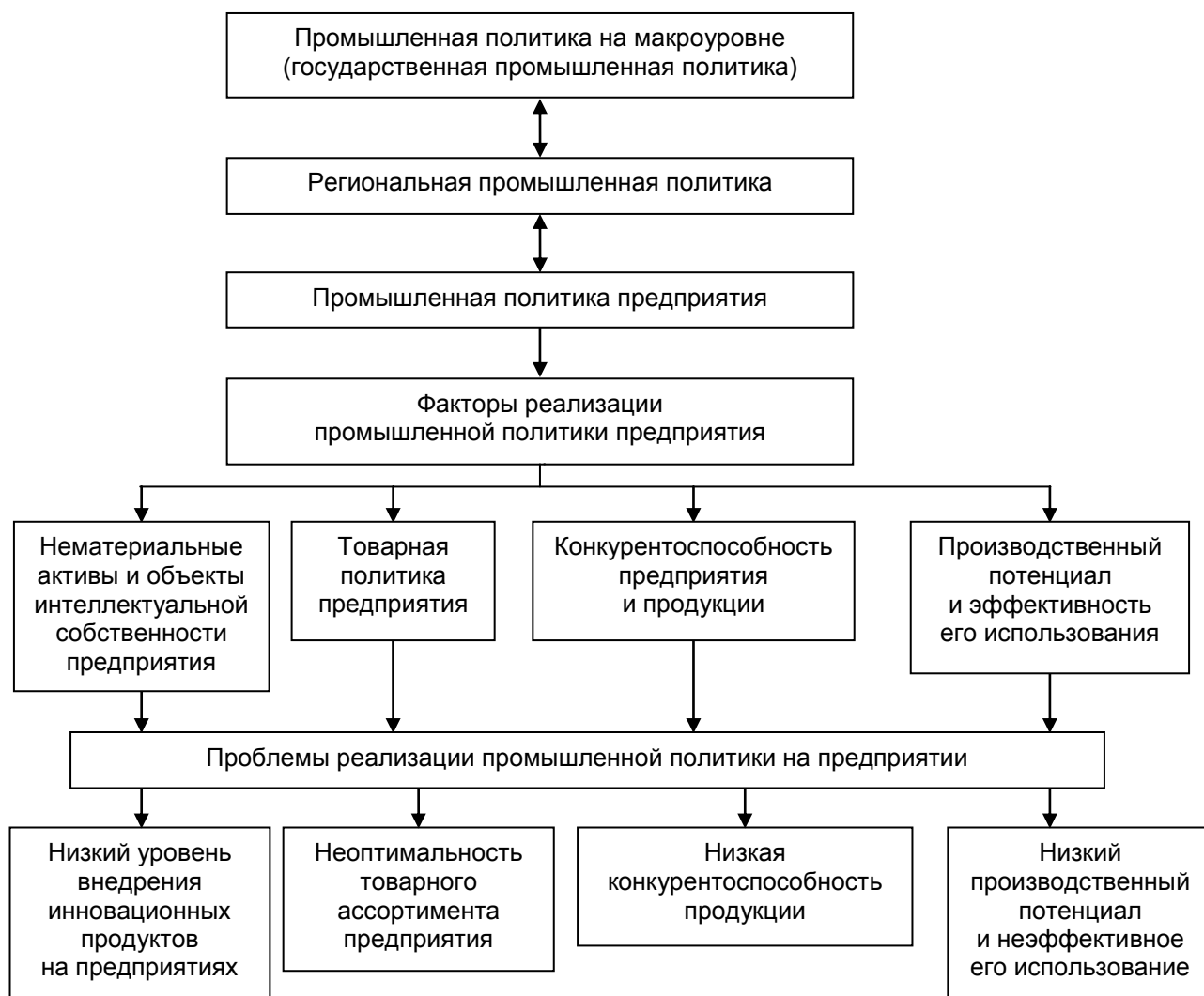
Первый принцип – государственная поддержка национальной промышленной политики. Оказание государственной поддержки и стимулирование развития промышленного производства и услуг должно осуществляться в соответствии с приоритетами, провозглашаемыми Прези-

дентом и находящими отражение в постановлениях Правительства РФ (например, «Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ до 2020 года», стратегии развития авиационной, электронной, химической, судостроительной промышленности и т.д.).

Второй принцип – инновационная направленность промышленной политики. В соответствии с этим принципом повышение конкурентоспособности и структурная перестройка промышленности должны осуществляться в соответствии с тенденциями развития современной экономики и приоритетными направлениями развития экономики страны.

Данный принцип предполагает необходимость развития наукоемких отраслей и технологической модернизации традиционных отраслей, пересмотр существующей отраслевой структуры промышленности. Этому процессу должны способствовать создание инновационной инфраструктуры и инновационного общества, построение логистических систем, реализация образовательных программ, подготавливающих трудовые ресурсы для экономики нового типа. Особый акцент должен быть сделан на предприятия малого и среднего бизнеса, обеспечивающие и подпитывающие отечественный бизнес инновациями, новыми видами продукции и кадровыми ресурсами.

Третий принцип – единство государства, бизнеса и гражданского общества в вопросах реализации промышленной политики. Осуществление выбора конкретных направлений промышленной политики должно проходить с учетом мнения этих трех сторон хозяйственной деятельности.



Алгоритм реализации промышленной политики предприятия



Четвертый принцип – комплексное использование инструментов промышленной политики предприятия. К инструментам, составляющим такой комплекс, относятся: тарифное и таможенное регулирование (включая естественные монополии); налоговое регулирование; стимулирование инновационной и инвестиционной деятельности (льготы, преференции, целевое бюджетное финансирование и совместное государственно-коммерческое софинансирование, привлечение венчурного капитала); активное развитие лизинга оборудования и широкое применение лизинговых схем материально-технического обеспечения приоритетных программ; конкурентная и антимонопольная политики.

Пятый принцип – целостность системы реализации промышленной политики.

Этот принцип предполагает координацию всех направлений экономической политики, а также подчиненность инновационной, инвестиционной, кадровой, внешнеэкономической политики целям и задачам промышленной политики.

Неотъемлемым условием развития промышленной политики является постоянное согласование и создание связей между ее инструментами. Только единство реализации всех инструментов позволит создать конкурентоспособную инновационную экономику и занять достойное место на международном рынке.

Рассмотрим инструментарий промышленной политики:

- таможенную политику;
- снижение административных барьеров;
- защиту прав собственности, в том числе интеллектуальной;
- конкурентную и антимонопольную политику;
- систему поддержки экспортной деятельности;
- инновационную деятельность;
- налогообложение;
- техническое регулирование.

*Таможенная политика.* Использование инструментов таможенной политики для достижения целей промышленной политики является общепринятым в мировой практике. Важнейшим средством регулирования внешнеэкономических связей предприятий, которое используют практически все страны, участвующие в международной торговле, являются импортные таможенные пошлины. В современных условиях существуют определенные правила, которые следует принимать во внимание при решении вопросов о величине ставок ввозных таможенных пошлин. Таможенные пошлины вносят диспропорции в сферу производства и потребления и чаще всего снижают благосостояние каждой из торгующих стран. При этом таможенные пошлины всегда выгодны производителям товаров, конкурирующих с импортными, даже если совокупное благосостояние граждан страны при этом снижается, что создает стимулы для активного лоббирования.

В условиях России использование импортных пошлин в интересах промышленной политики должно концентрироваться на поддержке новых и развивающихся отраслей. Это относится, прежде всего, к отраслям, выпускающим высокотехнологичные и наукоемкие виды продукции. В свою очередь, целесообразно снизить до нуля ставки импортных таможенных пошлин на те виды оборудования, которые не производятся на территории Российской Федерации и выпуск которых не может быть налажен в ближайшем будущем.

Согласование таможенной политики с приоритетами промышленной политики необходимо проводить с учетом ведущихся Российской Федерацией переговоров о присоединении к Всемирной торговой организации, правила которой накладывают жесткие ограничения на использование инструментов таможенной политики.

*Снижение административных барьеров.* По общему признанию, система государственного управления в России работает неудовлетворительно. По данным международных исследований по эффективности работы государственных органов, российское правительство заняло 107-е место из 158 стран, а по качеству государственного регулирования Россия

оказалась 158-й из 160 участников рейтинга [1]. Решение любого вопроса требует большого количества согласований и разрешений, что приводит к уменьшению прямых инвестиций в Россию. Основная причина таких ситуаций – противоречия между ведомственными интересами, существующим законодательством и административными барьерами. Под последними понимаются формальные обязательные правила ведения хозяйственной деятельности на рынках товаров и услуг, устанавливаемые органами государственной власти и местного самоуправления, частные издержки, от введения которых для хозяйствующего субъекта, выпадающего под их действие, превышают его частные выгоды [1].

*Меры по защите прав собственности.* Важнейшим условием для разработки и реализации эффективной политики повышения конкурентоспособности экономики России является надежное функционирование института защиты прав собственности, непосредственно влияющего на темпы и возможности развития предприятий, а также их инвестиционный климат.

Характеристикой инвестиционного климата являются кредитные рейтинги, которые характеризуют способность эмитента (страны, компании) выполнять кредитные обязательства. Используется до 25 значений (уровней, ступеней) кредитного рейтинга, это множество по-разному разбивается на крупные классы [2].

Проблема привлечения инвестиций из внешних источников неотделима от другой проблемы – вывоза капитала из страны. Инвестиционный климат – это одновременно и характеристика привлекательности страны для вложений из внешних источников и, почти в такой же степени, стремления образовавшегося в ней капитала остаться в стране или покинуть ее. Соответственно и кредитный рейтинг в той же мере, в какой он дает представление о целесообразности инвестирования, показывает уровень стремления к вывозу из страны образовавшегося в ней капитала. Капитал вывозится потому, что он в недостаточной степени востребован экономикой России.

Высокие издержки на защиту прав собственности отрицательно влияют на конкурентоспособность предприятий в различных отраслях промышленности. Незащищенность прав собственности создает проблемы и в других сферах – в частности, в сфере использования зарубежных товарных знаков и лицензий.

Уровень защищенности прав собственности также очень важен при реструктуризации предприятий. Реструктуризации и модернизации подлежит огромное количество простаивающих производственных мощностей, принадлежащих находящимся в предбанкротном состоянии предприятиям.

Из-за недостаточного внимания и опыта решения проблем, связанных с использованием интеллектуальной собственности, российское государство несет значительные убытки. Во-первых, потому, что многие научно-технические достижения по разным причинам (в том числе и из-за спада производства, наиболее резкого в высокотехнологичных отраслях) не используются в практической деятельности, не востребованы обществом. Во-вторых, значительная часть достижений бесконтрольно уходит за рубеж, не принося должного дохода их разработчикам. И, наконец, происходящая крупномасштабная утечка самих высококвалифицированных кадров, труд которых не оценивается по достоинству, явно не способствует укреплению научно-технического потенциала страны, поскольку самое главное наше достояние – классные специалисты, их талант, принадлежащая им интеллектуальная собственность, – меняют гражданство, уменьшая богатство России.

*Конкурентная и антимонопольная политика.* Конкурентной называется политика, направленная на поддержание и создание ситуации конкуренции на рынках посредством установления и обеспечения соблюдения правил, определяющих запрещенные (в том числе по определению или в зависимости от соотношения выгод и издержек) способы поведения на рынке. Основным методом конкурентной политики является обеспечение равных условий конкуренции для всех участников рыночных отношений, что порождает стимулы для инве-

стиций и нововведений в различных формах. Ее механизм состоит в предотвращении возникновения неоправданных конкурентных преимуществ – обычно ассоциируемых со злоупотреблением доминирующим положением и недобросовестной конкуренцией – отдельных компаний на внутреннем рынке.

Но не следует забывать, что конкурентная политика может быть активной. Государство обладает значительными возможностями в плане создания рынков и, соответственно, конкурентной ситуации на данных рынках. Это обстоятельство в значительной степени проявляется в тех случаях, когда в стране необходимо проводить серьезные структурные преобразования в промышленности. Недооценка активной роли конкурентной политики может привести не только к серьезным искажениям в системе хозяйствующих субъектов, но и к торможению развития отдельных отраслей и экономики в целом. С этой точки зрения основная задача конкурентной политики – защищать и создавать конкурентные механизмы для повышения эффективности использования ограниченных ресурсов. В этой связи следует отметить, что конкурентная политика может как способствовать реализации целей промышленной политики, так и препятствовать ей. В первом случае конкуренция сопровождается активным внедрением инноваций, ростом предложения новых услуг, повышением качества традиционных услуг связи, появлением новых видов бизнеса, то есть структурной перестройкой промышленности, что служит важнейшим ориентиром промышленной политики многих стран мира. Вместе с тем конкурентная политика может осуществляться неадекватными методами и препятствовать экономическому росту, например, государственное регулирование цен отдельных компаний.

*Система поддержки экспортной деятельности.* Важным аспектом поддержки экспорта российской продукции на внешний рынок, а также использования потенциала иностранных компаний для ускорения темпов роста российской экономики и повышения ее конкурентоспособности является создание эффективной системы поддержки экспортной деятельности со стороны торгпредств и экономических отделов посольств. Для достижения этой цели необходимо коренным образом изменить роль этих подразделений в содействии реализации хозяйственных интересов отечественных предпринимателей. Данная поддержка должна выражаться в содействии росту несырьевого экспорта (экспорта продукции обрабатывающей промышленности и услуг); стимулировании притока прямых иностранных инвестиций в Россию; содействии в финансово-кредитной сфере; содействии росту делового сотрудничества на корпоративном уровне; содействии межправительственному сотрудничеству, включая межправительственные комиссии.

Оценка выполнения зарубежными подразделениями своих задач в контексте промышленной политики должна производиться, прежде всего, по темпам роста несырьевого экспорта из России и по темпам роста прямых инвестиций в Россию. Получив новые принципы оценки своей работы, заграничные представительства получают стимул самым активным образом реагировать на экспортные запросы российских компаний, превратятся в мощный инструмент повышения конкурентоспособности российской промышленности.

Данная система показателей призвана ориентировать работу зарубежных подразделений МИД России на усиление работы по актуальным направлениям промышленной политики. При этом данная система должна быть достаточно гибкой, чтобы отражать условия конкретных стран, в которых расположены эти подразделения. В случае использования оценочных (неформализованных) показателей обязательно использование балльной системы оценки на основе экспертного опроса представителей заинтересованных министерств, ведомств и компаний, а также на основе объективных данных, подтвержденных документально.

Большое внимание необходимо уделять реализации мер государственной поддержки российских экспортеров промышленной продукции, а именно – возмещению из федерального бюджета российским экспортерам промышленной продукции части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях.

В настоящее время торговая политика России осуществляется посредством таможенно-тарифного регулирования (экспортные и импортные таможенные тарифы) и нетарифного регулирования (в частности, путем квотирования и лицензирования) внешнеторговой деятельности. Не допускаются иные методы государственного регулирования внешнеторговой деятельности путем вмешательства и установления различных ограничений органами государственной власти. Экспорт и импорт осуществляются без количественных ограничений. Количественные ограничения вводятся в исключительных целях:

- 1) обеспечения национальной безопасности РФ;
- 2) выполнения международных обязательств РФ с учетом состояния на внутреннем товарном рынке;
- 3) защиты внутреннего рынка РФ [3].

В целях защиты национальных интересов действует система экспортного контроля. Существуют технические, фармакологические, санитарные, ветеринарные, фитосанитарные и экологические стандарты и требования в отношении ввозимых товаров, контроль за их качеством. Предусматриваются защитные меры в отношении импорта товаров, наиболее яркое проявление которых мы видим в растущих импортных пошлинах.

В настоящее время Правительство России уделяет большое внимание проекту Федеральной программы развития экспорта России, основной целью которой является увеличение стоимостного объема российского экспорта, расширение его номенклатуры за счет продукции с повышенной степенью обработки наукоёмких товаров, технологий.

*Развитие инновационной деятельности.* Инновационная деятельность как важнейший элемент государственной промышленной политики призвана обеспечить воспроизводство главных материальных и нематериальных факторов, необходимых для обновления научно-технической и технологической базы производства, а также для поддержания и развития кадрового потенциала науки и промышленности.

При этом в рамках активизации инновационной деятельности в промышленности приоритетные научно-технологические направления должны формироваться как «заказ» промышленности на результаты прикладных НИР, опытно-конструкторских и технологических работ с учетом конкретных требований к технико-экономическим характеристикам новых технологий, материалов, систем машин и оборудования.

Активизация инновационной деятельности требует решения следующих основных задач:

- определение приоритетных направлений развития в сфере новых и новейших технологий и «новой экономики», создание механизмов концентрации усилий государства и частного бизнеса на развитии избранных направлений, в которых может и должна быть обеспечена глобальная конкурентоспособность российских хозяйствующих субъектов;
- разработка мер по повышению эффективности механизмов взаимодействия российской фундаментальной и прикладной науки с негосударственными хозяйствующими субъектами;
- разработка инструментов проведения и стимулирования работ на всех стадиях реализации избранных проектов с использованием ограниченных государственных ресурсов для реализации ряда ключевых, представляющих бизнес-интерес для реального сектора проектов, имеющих мультипликативный эффект;
- инициирование и реализация совместно с хозяйствующими субъектами технологических проектов в рамках избранных направлений, предусматривающих как доведение имеющихся научно-технических заделов до производства конкурентоспособной продукции (технологии), так и осуществление вывода данной продукции (технологии) на рынок;
- предложения изменений нормативно-правовой базы и внесение соответствующих изменений в действующее законодательство;

– разработка и реализация системы мер, обеспечивающих эффективное использование инноваций в перерабатывающих отраслях путем государственного содействия выходу на внешние рынки, совершенствования налоговой и таможенной политики, выполнения государством регулирующих функций при организации внутреннего рынка.

*Налогообложение.* Благоприятный налоговый климат, обеспечивающий компаниям более выгодные условия экономической деятельности, является важнейшим фактором, способствующим развитию отечественной промышленности, модернизации ее производственного потенциала, росту конкурентоспособности предприятий и выпускаемой ими продукции. Поэтому совершенствование налогового законодательства является одним из ключевых элементов политики повышения конкурентоспособности экономики России (промышленной политики в широком смысле). Основным показателем качества налоговой политики считается общий уровень налоговой нагрузки. Именно по нему обычно судят о прогрессе в проведении налоговой реформы, с его снижением связывают ускорение экономического роста и приток прямых инвестиций в промышленность. Еще большее значение имеет структура налоговой системы: набор используемых налоговых инструментов, соотношения ставок и формы налогового администрирования. Налоговая политика играет ключевую роль в формировании структуры экономики в целом и промышленности в частности, как за счет распределения между секторами прибыли, остающейся после налогообложения, так и за счет формирования системы стимулов.

*Техническое регулирование.* Во многих отношениях стандартизация стала основой деловой активности крупнейших корпораций, средних и малых фирм, инструментом достижения целей сохранения их конкурентоспособности на меняющихся рынках, целью инновационной политики, снижения производственных затрат и повышения качества продукции (услуг), повышения результативности их маркетинга. Объединенные «в пакеты» стандарты и соответствующие им торговые марки ориентируют предпринимателей в широком разнообразии производственных возможностей, а потребителей – в разнообразии потребительских товаров и услуг.

Реформа технического регулирования является необходимым условием конкурентоспособности российской экономики. Определяющей составляющей является безопасность продукции – это один из важнейших элементов конкурентоспособности продукции, без наличия которого продукт вообще не может быть выпущен в обращение на территории Российской Федерации.

Государству необходимо создать условия и стимулы для активизации отечественных производителей для постоянного повышения качества и конкурентоспособности российской продукции.

Создание таких условий невозможно без эффективной системы технического регулирования в Российской Федерации, которая обеспечивает многовариантность выбора технических решений, не создавая при этом необоснованных ограничений и не оказывая на бизнес излишнее административное давление.

Эффективная система технического регулирования должна предполагать установление однозначных и обязательных требований к продукции, обеспечивающих ее безопасность и снижение административных барьеров, связанных с проведением оценки соответствия продукции установленным требованиям безопасности.

Одной из важных задач технического регулирования является поиск сбалансированного подхода между установлением обязательных требований для обеспечения безопасности продукции и при этом создание условий для повышения качества и конкурентоспособности.

В настоящее время реформа системы технического регулирования предполагает замену многочисленных ГОСТов, ОСТов, СНИПов, СанПиНов и других ведомственных актов на технические регламенты, устанавливающие обязательные для исполнения требования по

обеспечению безопасности, и на национальные стандарты, содержащие добровольные требования. Реформа системы технического регулирования предусматривает замену норм и требований к продукции и процессам ее производства и обращения современной системой контроля качества и безопасности, соответствующей международным стандартам.

Реализация инструментов промышленной политики должна осуществляться на основе гармоничного сочетания их с инструментами торговой политики, к которым относятся тарифы и таможенные пошлины; импортные квоты; нетарифные барьеры; антидемпинговые меры; ценообразование; реклама; методы; формы и способы продаж; кредитная политика. Они позволяют поддерживать торговые связи с одними странами и ограничивать импорт из других стран. Большинство этих инструментов одновременно являются и инструментами промышленной политики, что еще раз подтверждает необходимость их совместной реализации.

На практике промышленная политика реализуется через систему мер государственного регулирования:

- законодательное и нормативно-правовое регулирование;
- создание благоприятного инвестиционного климата средствами кредитно-денежной и налогово-бюджетной политики;
- развитие дорожной сети, энергетики, связи, других объектов инфраструктуры;
- федеральные целевые программы (в области развития транспортной инфраструктуры, энергетики, национальной технологической базы и др.);
- государственную поддержку экспорта;
- защиту внутреннего рынка от недобросовестной конкуренции со стороны зарубежных производителей, использование антидемпинговых процедур;
- использование частно-государственного партнерства в форме особых экономических зон, концессионных соглашений, крупнейших инвестиционных проектов за счет средств Инвестиционного фонда. При партнерстве такого рода государство вкладывает бюджетные средства в создание инфраструктуры, а бизнес – в развитие производства;
- развитие сети лизинговых компаний с государственным участием, в задачу которых входит обеспечение отраслей промышленности и транспорта высокотехнологичным оборудованием;
- подготовку кадров;
- политику закупок для государственных и муниципальных нужд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.nccg.ru/site.xp/049054055054124.html>.
2. Марченко Г. Кредитный рейтинг как механизм повышения инвестиционной привлекательности муниципальных образований / Г. Марченко, О. Мачульская // Новые рынки. 2002. № 6. С. 51-58.
3. Федеральный закон № 164-ФЗ от 8 декабря 2003 г. «Об основах государственного регулирования внешнеторговой деятельности» (с изменениями и дополнениями) / Система ГАРАНТ.

**Горячева Татьяна Владимировна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении» Саратовского государственного технического университета

**Goryacheva Tatyana Vladimirovna** – Candidate of Science in Economics, Assistant Professor of the Department of «Economics and Management in Machine Building» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 16.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 338.2 (470.57)

**А.С. Макулов, А.Ф. Галиева, Р.Р. Харрасов****СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА**

*Рассматриваются стратегические проблемы и пути привлечения инноваций и инвестиций для активизации социально-экономического развития отраслей промышленности региона. Практическая ценность исследования заключается в возможности формирования стратегии активизации социально-экономического развития на основе более эффективного использования инновационно-инвестиционного потенциала субъектов экономики.*

Инновационное развитие, стратегия, инновационно-инвестиционный потенциал.

**A.S. Makulov, A.F. Galiyeva, R.R. Kharrasov****STRATEGIC DIRECTIONS OF INNOVATIVE  
AND SOCIAL ECONOMIC DEVELOPMENT OF A REGION**

*The present article describes strategic problems and the ways of using innovations and investments to activate social and economic development of the region industries. Practical value of the presented research is to provide possibilities of forming the strategy of social economic development activation based on more effective usage of innovative investment potential of economies subjects.*

Innovative development, strategy, innovative investment potential.

Одним из важнейших стратегических направлений инновационного, промышленного и социально-экономического развития региона является инвестиционная активность, способствующая обеспечению устойчивого экономического роста и, как следствие, повышению благосостояния населения. В свою очередь, эффективность функционирования региональной экономики во многом зависит от активности интегрированных финансово-промышленных инвестиционных групп (ФПГ), осуществляющих инвестиционные процессы. Финансирование инновационных проектов в последнее время в связи с кризисными явлениями из-за снижения государственных источников осуществляется за счет собственных средств промышленных предприятий, которых чаще всего не хватает.

Необходимость привлечения в регион дополнительного капитала для инвестирования инновационных проектов объясняется еще тем, что в последние годы основные инвестиции, направляемые на социально-экономическое развитие из федерального и республиканского бюджетов, а также собственные средства предприятий, как правило, используются для целей обеспечения процессов производства. Так, в принятой Федеральной целевой программе социально-экономического развития Республики Башкортостан (БР) до 2010 г. основными источниками средств для ее реализации служат: собственные средства участников программ – 30%, республиканский бюджет – 16,56%, федеральный бюджет – 19,84%, а также кредиты коммерческих банков – 23%. А такие источники, как иностранные кредиты и средства меж-

дународных организаций в форме интегрированного капитала, составляют лишь 4,7% в общей сумме инвестиций.

В наиболее обобщенном виде влияние интегрированного капитала на социально-экономическое развитие регионов России можно охарактеризовать следующим образом:

- разрешение социальных конфликтов, посредством обеспечения роста количества рабочих мест, повышения материальной обеспеченности населения и качества жизни;
- удовлетворение потребностей в продукции, пользующейся спросом, за счет расширения ассортимента инновационных товаров народного потребления;
- внедрение в отечественное производство прогрессивных зарубежных технологий, результатов научных и конструкторских исследований, приобретения опыта в области маркетинга и менеджмента;
- укрепление и реальное обеспечение стабильности финансового рынка путем использования его ресурсов в производственных и инновационных целях с одновременным вложением временно свободных средств в высокодоходные коммерческие программы;
- повышение культуры производства, уровня квалификации рабочей силы;
- расширение рынков сбыта и увеличение объемов конкурентоспособной национальной продукции.

Практика привлечения реальных инвестиций в промышленные объекты Республики Башкортостан во многом определяется благоприятностью инвестиционного климата последних, поскольку уровень инвестиционной деятельности неразрывно связан с инвестиционным климатом. В этой связи исходным моментом при решении задач промышленного и социально-экономического развития является оценка инвестиционного климата. Такой подход позволяет регионам в перспективе оценить свои сравнительные преимущества и эффективно их использовать для привлечения в региональную экономику дополнительных инвестиционных ресурсов в виде интегрированного капитала.

Как известно, промышленными лидерами в привлечении иностранных инвестиций являются те объекты, где существуют достаточно благоприятные стартовые условия (наличие научно-технического потенциала, развитая инфраструктура, соответствующая специализация отраслевой промышленно-производственной структуры экономики; географическое положение). В этом плане Республика Башкортостан занимает экономически выгодное стратегическое положение. С одной стороны, она является составной частью Поволжского региона с развитой инфраструктурой, с другой, соседствует с высокоразвитыми регионами Урала и Поволжья. Эти факторы обеспечивают приоритетное транзитное положение РБ, поскольку здесь расположены рельсовые и трубопроводные магистрали, связывающие Европейскую часть России с Уралом и Сибирью. Все это создает благоприятные стратегические условия для ввоза недостающих видов сырья, топлива, вывоза готовой продукции, а также создания совместных научно-производственных предприятий. Помимо этого регион располагает богатыми природно-сырьевыми ресурсами, поскольку имеется около 3000 месторождений и проявлений различных видов полезных ископаемых. Главные из них – нефть, газ, бурые угли, медно-колчеданные руды, сода, множество редких металлов и технических камней. Важным преимуществом региона является то, что на долю РБ приходится 100% производимого в России объема синтетических жирных кислот, 60% кальцинированной соды. Имеющиеся мощности позволяют перерабатывать 50 млн тонн нефти в год и производить из нее более трехсот наименований продукции [6]. Благодаря этим факторам обеспечивается устойчивое социально-экономическое и промышленное развитие республики.

Наконец, Республика Башкортостан относится к регионам Приволжского федерального округа, который является одним из ведущих по уровню индустриального и агропромышленного развития. Его доля в промышленном производстве России с 90-х годов возросла и составляет 23,9%, а в аграрном секторе – 27% всей сельскохозяйственной продукции. Промышленный комплекс РБ как фундамент социально-экономического развития обеспечивает



становление практически всех основных отраслей народного хозяйства. Дело в том, что многоотраслевое высокоразвитое машиностроение и нефтегазохимический комплекс РБ при достаточном инвестировании имеет возможность эффективно реализовать практически все приоритетные направления социально-экономического развития. Кроме того, особенностью структуры промышленного комплекса является большая доля предприятий оборонной промышленности, нуждающихся в настоящее время в перепрофилировании. Для этого также требуются значительные инвестиции. В республике имеется достаточный научно-технический потенциал – это десятки НИИ, КБ и вузов [11].

Как было отмечено ранее, для реализации приоритетных направлений социально-экономического развития путем привлечения инвестиций интегрированных корпораций, ФПГ и банков, используется имеющийся у региона высокий инвестиционный потенциал. Согласно составленному журналом «Эксперт» [12] рейтингу субъектов Федерации, учитывающему обеспеченность территории ресурсами и сырьем, развитие производственного сектора, потребительский спрос населения, уровень развития инфраструктуры, интеллектуальный уровень и инновационный потенциал, Республика Башкортостан занимает 22-е место среди 89 регионов Российской Федерации по рейтингу инвестиционного потенциала. По общероссийским данным, рейтинг республики постоянно относится к типу благоприятного инвестиционного климата в виде «средний потенциал – умеренный риск». Однако, несмотря на эти преимущества, объемы привлечения реальных инвестиций в РБ весьма незначительны.

С учетом вышеизложенного, к преимуществам инвестиционного климата Республики Башкортостан по сравнению с другими регионами РФ можно отнести:

- наличие больших запасов природно-сырьевых ресурсов;
- плодородность земель и благоприятный климат;
- наличие высокого промышленного и научно-технического потенциала;
- выгодное географическое положение региона;
- емкий потребительский рынок промышленных товаров;
- средний уровень инвестиционного риска на промышленных предприятиях.

Анализ отечественных и зарубежных источников показывает, что такие же преимущества обозначены в парадигме Дж. Даннинга [2, 4]. Исследования, проведенные в соответствии с этой методологией, показали, что к наиболее значимым специфическим преимуществам РБ относятся: наличие большого рынка трудовых ресурсов, их высокий образовательный уровень и профессиональная подготовка; высокий уровень развития науки в ряде отраслей (аэрокосмическая, химическая); значительный интеллектуально-инновационный потенциал общества; крупные минерально-сырьевые ресурсы; емкий потребительский рынок. Следует отметить, что большое значение для привлечения внешних инвестиций в республике еще имеют политические, макроэкономические и корпоративные факторы.

По мнению специалистов [4], к преимуществам политического характера относятся: корпоративная культура или культурное родство региона с промышленными державами, географическое положение на континенте, позволяющее извлечь максимальную выгоду из территориальной близости со странами Европы. Как показывают исследования, именно такие страны и корпорации являются генераторами исходящих наиболее передовых реальных инвестиций в мире.

В целом, наличие таких преимуществ позволяет говорить о благоприятных стратегических условиях для осуществления инновационной и инвестиционной деятельности в РБ.

Однако, несмотря на это, республика использует эти преимущества ограниченно. Такое положение свидетельствует либо об отсутствии целенаправленной политики в этой области, либо о неэффективности используемых механизмов привлечения инновационного капитала в промышленный комплекс. Более того, как известно по данным журнала «Эксперт», в настоящее время в Башкортостане намечается тенденция к снижению инвестиционного потенциала даже при снижении уровня инвестиционного риска. Наличие данной тенденции

подтверждает анализ привлечения внешних инвестиций в экономику РБ, представленный ниже. Прежде всего, негативно на обозначенных преимуществах сказывается высокий моральный износ активной части Основных производственных фондов (ОПФ) в производственных промышленных и других отраслях экономики [5]. Обозначенный факт выступает стратегическим тормозом при привлечении внешних инвестиций для социально-экономического развития региона. Следовательно, прежде чем вкладывать средства в осуществление инновационного производства, необходимы крупномасштабные инвестиции в модернизацию ОПФ.

По данным Министерства внешнеэкономических связей и торговли РБ, за десятилетний период в республику привлечено 1,8% внешних инвестиций от общей доли инвестиций РФ, что составляет около 430 млн долл. США (табл. 1, 2). Из них доля привлеченных кредитов составила 73,9% (263,9 млн долл.), прямых инвестиций – 19,7% (70,5 млн долл. США), портфельных инвестиций – 3,2% (11,4 млн долл.) и прочих инвестиций – 3,2% (11,3 млн долл.) [2, 7].

Структура поступающих инвестиций в экономику с 1998 по 2007 гг. крайне неоднородна. Например, в 1998-2002 гг. значительный удельный вес имеют кредиты (инвестиции, осуществляемые на возвратной платной основе), доля которых в среднем составляет 74%. Так, тенденция увеличения доли кредитов в общем объеме привлекаемых внешних инвестиций к 2006 г. достигает своего апогея – кредиты, осуществляемые на возвратной и платной основе, составляют 98%. Следствием увеличения доли таких кредитов является резкое снижение прямых реальных инвестиций в экономику региона. Как известно из мирового опыта, прямые реальные инвестиции представляют собой источник дополнительного научно-технического совершенствования реального сектора экономики региона. Поэтому снижение уровня прямых реальных инвестиций до крайних пределов (2%) в 2006 г. вызывает серьезные опасения в возможности реализации многих программ научно-технического и социально-экономического развития. Следует отметить, что даже на фоне тенденции снижения привлечения прямых внешних инвестиций в экономику России в целом их доля составляет примерно 20% от суммарного объема. По существу данная ситуация означает, что республика привлекает в основном товарные внешние кредиты, которые ничего не дают для развития экономики. Следовательно, можно сделать вывод, что эффективность привлечения внешнего капитала в развитие экономики региона в настоящее время крайне низка. Поэтому требуется разработка дополнительных стратегических мер.

Анализ структуры и динамики привлечения портфельных инвестиций показал, что наименьшую долю, как и по России в целом, в Республике Башкортостан составляют портфельные инвестиции, максимальное значение которых достигает 8% в 2000 г. Это, прежде всего, связано с неразвитостью рынка ценных бумаг в республике, отсутствием его инфраструктуры. Несмотря на ряд негативных факторов, связанных с состоянием рынка ценных бумаг, за последние пять лет наметился ряд сдвигов. В частности, повышению инвестиционной привлекательности республики способствует успешный выпуск (2003 г.) дебютных 3-летних еврооблигаций ОАО «Урало-Сибирский банк» на сумму 140 млн долл. США со ставкой купона 8,9% годовых, с погашением в 2006 г. Основная часть их выпуска размещена среди европейских инвесторов, главным образом в Великобритании, Швейцарии, Германии и Франции [6].

Оценка отраслевой структуры привлеченных внешних инвестиций за последние восемь лет показала, что инновационный капитал поступает в различные отрасли скачкообразно. Вложения внешних инвесторов в промышленность имели наибольшее значение в 2002 г. (97,8% всех поступлений), а наименьшее – в 2001 г. (10%). Среднее же значение внешних инвестиций в промышленности за рассматриваемый период составляло 45,5%.

Основными отраслями, куда вкладывались инвестиции за этот период, были отрасли легкой и пищевой промышленности. В 2004 г. отмечался значительный скачок вложений в топливную промышленность, в 2005 г. на топливную промышленность приходилось 53%

всех иностранных инвестиций. Кроме того, необходимо отметить увеличение заинтересованности иностранных партнеров в развитии деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной отраслей. Так, по сравнению с 2004 г. объемы вложений возросли в 6 раз и составили 6 млн долларов.

На втором месте в 2003-2004 гг. находятся предприятия торговли и общественного питания – наибольший объем поступлений в 2001 г. составил 4,9 млн долл. (24%). Незначительная часть иностранных инвестиций ежегодно направляется в строительство, медицину, науку и научное обслуживание, финансы и страхование. В целом в России прослеживается такая же тенденция, т.е. иностранный капитал, хотя и не значительный, в основном поступает в промышленность, транспорт и связь, на предприятия торговли и общественного питания.

Таким образом, характеризуя структуру привлечения внешнего капитала по отраслям экономики, можно отметить, что внешний инвестор не вкладывает свой капитал последовательно в определенную отрасль экономики, вложения осуществляются скорее скачкообразно. Так, в 2001 г. наибольший объем вложений пришелся на легкую промышленность, в 2002 г. – на связь, в 2003 г. – на пищевую и в 2004 г. – на топливную промышленность, в 2006 г. – на торговлю и общественное питание. Остаются без внимания внешних инвесторов такие значимые для развития экономики региона и повышения жизненного уровня населения отрасли как машиностроение и металлообработка, медицина, наука и строительство.

Определенные сдвиги в привлечении внешнего капитала в РБ наблюдаются в результате создания совместных предприятий (табл. 1).

Таблица 1

Число предприятий с участием внешнего капитала по отраслям, созданных в 2005 году

Отрасли промышленности	Число предприятий	Уставный капитал (УК) предприятий, тыс. руб.	Удельный вес вклада стран инвестора в УК, %
Всего по промышленности	12	499083	87,4
Топливная	1	8520	49
Машиностроение и металлообработка	5	82577	76,2
Промышленность стройматериалов	2	3856	26,3
Легкая	1	4100	34
Пищевая	2	550717	100
Медицинская	1	12413	26,5

Партнерами в создании совместных предприятий выступили 23 страны, среди которых Великобритания, Венгрия, Германия, Испания, Канада, Китай, США, Турция, Финляндия, Япония, страны-участницы СНГ и другие. Как известно из различных источников, в промышленности РФ пятьдесят шесть стран имеют предприятия с иностранным капиталом, филиалы и представительства фирм и компаний. За анализируемые периоды наибольшее количество СП было создано в Башкортостане с участием капитала из промышленно развитых стран, прежде всего США (13% из общего числа), Германии (6%), Турции (15%), а также Великобритании, Италии, Голландии, Китая, Казахстана и пр.

Основные показатели деятельности предприятий с участием внешнего капитала по данным Государственного комитета РБ по статистике представлены в табл. 2.

Нельзя сказать, что на территории республики наблюдается устойчивый рост по всем представленным показателям, поскольку данные таблицы крайне неоднородны. Наибольший подъем и активизация деятельности иностранных инвесторов наблюдались в 2003 году, после чего все показатели значительно снизились. Это объясняется, в первую очередь, недо-

оценкой инвесторами республики с точки зрения риска вложения финансовых средств и наличия инвестиционного потенциала.

Таблица 2

## Основные показатели деятельности совместных предприятий

Показатели	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Число предприятий и организаций с участием внешнего капитала	158	177	134	107	113	272	284
Уставный капитал, млн руб.	46600	184	603,2	3851,9	637,3	1072,0	1572
Объем производства продукции в факт. ценах, млн руб.	191500	304,7	307,6	4723,3	1271,1	3505,0	4121
Среднесписочная численность, чел.	3621	4374	2219	12092	3223	3974	4012

На сегодняшний день в республике действуют следующие предприятия:

✓ Башкирско-испанское совместное предприятие ОАО «Башкельме», уставный капитал – 9,2 млн долл. США, доля в уставном капитале иностранного – 34%. Мощности предприятия позволяют ежегодно производить 1,2 млн пар обуви, 200 тыс. единиц текстильных изделий.

✓ Башкирско-испанское совместное предприятие ОАО «Салаватгидромаш», уставный капитал – 7,1 млн руб., доля в уставном капитале иностранного – 27%. Важным условием реализации данного проекта является то, что ОАО «Салаватгидромаш» в течение длительного периода будет иметь гарантированный сбыт продукции, выполняя заявку фирмы «Пемар, С.А.» на изготовление и поставку гидравлической продукции в объеме до 3 млн долл. США ежегодно.

✓ Башкирско-голландское СП ОАО «Амстар», уставный капитал – 260 млн руб., доля в уставном капитале иностранного – 90%. В соответствии с бизнес-планом за счет инвестиций голландской фирмы «Amsterdam Brevary Investment B.V.» в 1998 г. введен в эксплуатацию завод по производству пива производительностью 3 млн декалитров в год. Предусмотрено дальнейшее увеличение мощности завода к 2003 году до 6 млн декалитров в год.

✓ Башкирско-австрийское СП ООО «Башкирский гранит», уставный капитал – 1 млн руб., доля в уставном капитале иностранного – 30%. В целях развития камнеобрабатывающего производства эффективности и использования минерально-сырьевой базы облицовочных и поделочных камней Республики Башкортостан в г. Уфе в создано камнеобрабатывающее производство мощностью 40 тыс. м<sup>2</sup> в год, из которых 30 тыс. м<sup>2</sup> – изделия из гранита. Предприятие оснащено современным технологическим оборудованием фирмы «Айзенверк Хензель» (Германия) на общую сумму 80 млн руб. Стоимостной выпуск продукции составляет 40-45 млн рублей год.

✓ Ирландская компания «Лисмойл Интернешнл Лимитед» осуществила взнос в уставный капитал зарегистрированного в городе Агидель ЗАО «Совместное предприятие «Радио Системы» по оказанию услуг связи в размере 74,8 млн руб. (2,5 млн долл. США).

✓ Совместно с фирмой «Rontal technologies, software and trading ltd» (Израиль) в г. Благовещенске зарегистрировано ООО «Благовещенский пластик». Доля иностранного партнера в уставном капитале составляет 17,4 млн руб. (0,6 млн долл. США).

✓ Уставный капитал башкирско-китайского предприятия «БЭТО-Хуавей», специализирующегося на производстве телефонных станций, достиг 46 млн руб.;

✓ Совместное предприятие ООО «Италбашкерамика» по выпуску керамической плитки, учредителями которого являются Республика Башкортостан (доля в уставном капитале 64,89%), г. Октябрьский (5,07%) и американская фирма «Джентрон трейдинг ЛЛК» (30,04%). Вклад иностранного участника в данном предприятии составляет 168,5 млн руб. (5,6 млн долл.).

✓ Совместно с компанией «Венектор Холдингз Лимитед» (Кипр) создано общество с ограниченной ответственностью «Ак Йорт» в целях оказания услуг в сфере спорта и отдыха. Иностранец поставил горнолыжное оборудование на 7,2 млн руб. (0,2 млн долл.).

✓ Создано СП «СодаПрофиСтрой» с участием австрийских фирм для внедрения в строительном комплексе более эффективных материалов и технологий и начато строительство в г. Стерлитамаке предприятия по производству сухих строительных смесей мощностью 150 тыс. т.

✓ Совместно с фирмой «Франц Кляйне Аграртехник ГмбХ» (Германия) создано ОАО «Агросахар», которое занимается обеспечением свеклосеящих хозяйств республики импортными свеклоуборочными комбайнами, семенами, химическими средствами защиты растений.

✓ Успешным примером сотрудничества является подписание в феврале учредительного договора ООО «Термо-Сервис» по производству газовых котлов. Учредителями общества выступили ОАО «Газ-Сервис» (Республика Башкортостан) и фирма «Чепрамо» (Чешская Республика). Чешской стороной внесен взнос в сумме 1,1 млн руб. (37,5 тыс. долл.).

✓ По результатам изучения строительного рынка Башкортостана, словацкой фирмой «Реконстав» на территории республики создано предприятие со 100%-м иностранным капиталом – ООО «Новостав», – осуществляющее строительные и монтажные работы и обеспечивающее строительный комплекс современными строительными материалами.

Таким образом, процесс привлечения иностранных инвестиций в региональную экономику за последние десять лет имеет следующие особенности:

– значительное снижение притока иностранного капитала по сравнению с 2001 годом;

– преобладание доли кредитов, которые осуществляются на основании возвратности, срочности и платности, а следовательно, не позволяют получить максимальный эффект от привлечения иностранного капитала для развития региональной экономики;

– наличие крайне негативной тенденции снижения доли прямых иностранных инвестиций до 2% от общего объема, которые направляются прежде всего на реформирование, модернизацию и освоение новых производств, а следовательно, на развитие реального сектора экономики. Следует отметить, что в стратегическом плане именно прямые иностранные инвестиции призваны обеспечить привлечение новейших технологий, продвижение отечественных товаров на мировые рынки. Эти меры могут рассматриваться как стратегический потенциал, способный направить экономику региона по пути устойчивого социально-экономического развития;

– иностранный капитал предпочитал и предпочитает идти в те отрасли, которые: во-первых, производят продукцию, имеющую для него в долгосрочном плане стратегическое значение, так как ее реализация гарантирована относительно стабильным спросом на мировом рынке (топливная и деревообрабатывающая промышленность); во-вторых, характеризуются быстрым оборотом вложенных средств и максимальной рентабельностью производства (пищевая, легкая промышленность, сфера торговли и услуг). Это приводит к тому, что прямые иностранные инвестиции в основном концентрируются в сырьевых отраслях и в отраслях с быстрой окупаемостью капитала при сравнительно малом внимании к высокотехнологичным отраслям;

– отсутствие целенаправленного вложения средств в одну отрасль экономики говорит о неэффективном использовании привлекаемых иностранных инвестиций в регион, возможных только на долгосрочной основе, и подтверждает необходимость разработки новых методов привлечения иностранных инвестиций, а также совершенствования механизма привлечения иностранного капитала в экономику региона;

– отсутствие статистических данных для более детального анализа влияния иностранного капитала на экономику региона, в частности вложения иностранных инвесторов в обеспечение роста ВРП, занятости населения, в уровень экспорта и импорта региона. Все это не

позволяет оценить эффективность привлечения иностранных инвестиций в социально-экономическом развитии региона.

Все вышеизложенные недостатки процесса привлечения рассматриваются как упущенные возможности экономического роста региона с использованием зарубежных инвестиционных ресурсов, а также возможности повышения организационно-технического уровня производства региона за счет внедрения передовых техник и технологий и использования зарубежного опыта в области управления. Для разрешения выявленных проблем в перспективе предлагается модель механизма активизации притока иностранных инвестиций в экономику региона.

В основу первого уровня положено содержание процесса активизации притока иностранных инвестиций, поскольку именно этот процесс является основой для решения стратегических задач.

На втором уровне осуществляется непосредственно регулирование привлечения иностранных инвестиций, которое происходит в соответствии со стратегическими приоритетами регионального развития с использованием нормативно-правовой базы и участием соответствующих институциональных структур.

На третьем уровне осуществляется оценка эффективности активизации притока иностранных инвестиций, которая включает в себя три направления:

– оценка эффективности реализации инвестиционной привлекательности региона, проводится по специально разработанной методике [10];

– оценка эффективности активизации притока осуществляется с учетом вклада иностранных инвесторов в развитие социальных показателей (увеличения занятости и доходов населения, повышение качества жизни населения, развитие образования, здравоохранения, искусства, культуры);

– оценка эффективности активизации притока с учетом вклада иностранных инвесторов в развитие экономики региона (повышение ВРП, освоение новых производств, обновление ОПФ региона и т.д.).

На четвертом уровне осуществляется корректировка принятых решений с учетом анализа эффективности активизации притока иностранных инвестиций.

Предложенная модель была апробирована с использованием статистических данных на примере РБ, что позволило получить следующие результаты:

1. Анализ приоритетных направлений привлечения иностранных инвестиций показал:

а) на первом этапе решаются задачи одновременно в двух направлениях:

– добиться последовательного притока иностранных инвестиций в отрасли топливной и нефтехимической и пищевой промышленности;

– иностранные инвестиции необходимо привлекать в отрасли, которые на сегодняшний день имеют низкие конкурентоспособные преимущества – это отрасли легкой, целлюлозно-бумажной промышленности, машиностроение и металлообработка. Привлечение иностранных инвестиций в эти отрасли позволит получить максимальный эффект от их использования;

б) на втором этапе привлекаемые иностранные инвестиции должны направляться в отрасли электронного машиностроения, строительных материалов и автомобилестроение, приборостроение, авиационное машиностроение. В электротехнических отраслях необходимо использовать сравнительно высокий уровень развития этих отраслей за рубежом, позволяющий получать совместно с иностранными компаниями передовые технологии, ноу-хау. Этот этап осуществляется только после того, как регион добьется активизации притока иностранных инвестиций в неконкурентоспособные отрасли народного хозяйства;

в) выбор значимых для экономики региона инвестиционных проектов осуществляется также согласно их отраслевой принадлежности и расчету их экономической эффективности, как для предприятия, так и для экономики республики в целом.

2. При выборе стратегии и методов привлечения иностранного капитала рекомендуется использовать методы маркетинга территории, которые в регионе используются недостаточно, в частности, предлагается создание инвестиционной карты региона и размещение ее в сети Интернет, а также преимущественное использование формы проектного финансирования при участии в инвестиционных проектах социально-экономического развития с использованием иностранного капитала.

3. Для оценки эффективности стратегии активизации притока иностранных инвестиций в РБ предложена двухуровневая критериальная система [10], позволяющая оценить вклад иностранных инвесторов в развитие отраслей региона, его инфраструктуры, в активизацию использования трудового и потребительского потенциала, а также оценить степень реализации инвестиционной привлекательности региона в целом.

Таким образом, формирование и реализация стратегии приоритетных направлений социально-экономического развития региона на основе привлечения иностранных инвестиций имеет значительные перспективы. Эти перспективы эффективно могут быть реализованы в РБ при соответствующей их теоретической и институциональной проработке с участием ученых, специалистов и институциональных структур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анискин Ю. Инвестиционная активность и экономический рост / Ю. Анискин // Проблемы теории и практики управления. 2002. № 4. С. 77-82.
2. Годовой отчет Министерства внешнеэкономических связей и торговли Республики Башкортостан за 2000-2004 гг.
3. Заика И. Национальная экономика и инвестиции / И. Заика, А. Крюков // Экономист. 2003. № 7. С. 21-26.
4. Лебедев В. Привлечение иностранных инвестиций: фактология, проблемы, подходы к решению / В. Лебедев // Российский экономический журнал. 2002. № 5-6. С. 69-78.
5. Макулов А.С. Организационно-экономический механизм реализации структурной политики в промышленном комплексе суверенной Республики Башкортостан / А.С. Макулов. Уфа: Гилем, 2000. 188 с.
6. Официальный сайт Министерства внешнеэкономических связей и торговли РБ. <http://www.mfрт.bashkortostan.ru>.
7. Социально-экономическое положение и уровень жизни населения России. 2003: стат. сборник / Госкомстат России. М., 2003. 463 с.
8. Федеральная целевая программа социально-экономического развития РБ до 2010 года.
9. Фишер П. Прямые иностранные инвестиции для России – стратегия возрождения промышленности / П. Фишер. М.: Финансы и статистика, 1999. 512 с.
10. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент / Р.А. Фатхутдинов. М.: ИНФРА-М, 2003. 325 с.
11. Экономика Башкортостана: учебник для вузов и ссузов / под ред. Х.А. Барлыбаева. Уфа: Изд-во БГУ, 2003. 563 с.

**Макулов Айрат Саубанович** – доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика предпринимательства» Уфимского государственного авиационного технического университета

**Галиева Алина Флоридовна** – старший преподаватель кафедры «Менеджмент и маркетинг»

**Makulov Ayrat Saubanovich** – Doctor of Sciences in Economics, Professor of the Department of «Economics of Entrepreneurship» of Ufa State Aviation Technical University

**Galiyeva Alina Floridovna** – Senior Lecturer of the Department of «Management and Marketing»

Уфимского государственного авиационного  
технического университета

of Ufa State Aviation Technical University

**Харрасов Рустем Рамилевич** –  
аспирант кафедры  
«Экономика предпринимательства»  
Уфимского государственного авиационного  
технического университета

**Kharrasov Rustem Ramilevich** –  
Post-graduate Student  
of the Department  
of «Economics of Entrepreneurship»  
of Ufa State Aviation Technical University

*Статья поступила в редакцию 26.10.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 658(075)

**Н.А. Мальшина**

### **СПЕЦИФИКА ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ И ДИНАМИКА ТРУДОВЫХ ПОТОКОВ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНОГО СЕРВИСА И ТУРИСТИЧЕСКОЙ СФЕРЫ**

*Рассмотрены теоретические предпосылки формирования специфики сервиса в зависимости от динамики трудовых потоков и трудовых ресурсов предприятия. Проведён анализ специфики сервисной деятельности, основанный на применении логистической системы и операционной системы управления.*

Трудовые ресурсы, управление кадровым потенциалом, текучесть персонала, динамика трудовых потоков, логистическая система, операционная система управления.

**N.A. Malshina**

### **LABOR RESOURCES SPECIFICS AND LABOR STREAMS DYNAMICS OF SOCIAL CULTURAL SERVICE AND TOURISM**

*Theoretical premises of forming specific service dependence on dynamics labor streams and labor resources on business are considered here. Analysis of specific development of service in virtue of application management systems and active leadership is conducted.*

Labor resources, administration of workers opportunities, fluctuation of basic personnel, dynamics labor streams, management system, active leadership.

Кадровая политика предприятий сферы сервиса во многом влияет на успех деятельности предприятия. Одной из особенностей развития и становления современной экономики индустрии сервиса можно считать изменение понимания места и роли в деятельности организации возможностей трудового потенциала предприятия. Подход в области построения корпоративной стратегии управления трудовой деятельностью претерпел существенные изменения.



Эволюция развития управленческой мысли в XX веке прослеживает динамику развития теорий в виде нескольких направлений. В первой половине XX века управленческие концепции основывались на восприятии персонала как значительной по своему объёму и неизбежной по своей сути составляющей любой организации. При этом, по причине занятия большинством работников низкоквалифицированным трудом, включающим в основном простейшие функции, в представлениях высшего звена управления система управления мало чем отличалась от управления бездушными аппаратами [2].

Однако в 60-х годах XX столетия, на основе резкого развития экономики Японии, были выдвинуты предположения о специфике японского стиля управления, где управление трудовыми ресурсами рассматривалось как ключевая задача любого руководителя, а работник являлся источником прибыли, формирующейся путём использования предприятием его знаний, умений, профессиональных инициатив [3, с.1219-1229].

Различные виды потоков ресурсов организаций в сфере социально-культурного сервиса создают предпосылки для построения логистической системы управления на основе систематизированного подхода. Она представляет собой структурированную адаптивную систему, которая состоит из элементов, связанных в процессе управления сервисными и сопутствующими им финансовыми и информационными потоками. Управление материальными, сервисными и финансовыми потоками в сфере сервиса осуществляется на основе информации – логистических информационных потоков, которые являются малоисследованной областью сервисного бизнеса. Процесс исследования в области трудовых потоков объективно раскрывает необходимость в применении системного подхода к управлению трудовыми ресурсами. Данная проблема ещё более узко рассматривается как в исследованиях в области экономики труда, так и в исследованиях в области логистики. Трудовые ресурсы выступают основой формирования трудовых потоков, а оптимизация последних в результате применения логистических операций предполагает более эффективное использование трудовых ресурсов. Для развития процессов логистического управления в интегрированной логистической системе формируется комплекс обеспечивающих подсистем: организационного, кадрового, технического, правового, финансово-экономического, экологического обеспечения и других, объединяющих и согласующих между собой все необходимые компоненты регулярного управления.

Трудовой потенциал традиционно рассматривается как весьма динамичный ресурс организации, требующий системного подхода и управления. Трудовые ресурсы делятся на основные категории – производственный персонал (сервисные инженеры, горничные, официанты, повара, специалисты туристической деятельности и другие), составляющий от общей численности занятых 50-60%, вспомогательный производственный персонал, обеспечивающий функционирование основных служб организации и составляющий 8-10% от всей численности персонала, обслуживающий персонал, составляющий 5-7% от общего числа персонала, работники инфраструктурных подразделений, непосредственно зависящие от деятельности организации, составляющие 12-15%, административно-управленческий состав персонала, на многофункциональном сервисном предприятии со сложной организационной структурой превышающий 15%. Спецификой трудовых ресурсов сервисного предприятия, как видно из представленной структуры, является многочисленность персонала, занятого или сопряженного с процессом обслуживания, непосредственно имеющего в процессе работы взаимодействия с потребителем услуг. Исходя из этого, возникают сложности управления, мотивации, оценки и контроля труда персонала сервисного предприятия.

В зависимости от принадлежности к различным категориям трудового коллектива формируются различные методы, принципы мотивации и стимулирования труда. В целях мотивации основного производственного персонала и сотрудников инфраструктурных подразделений, во многом способствующих формированию имиджа компании, целесообразно использовать: поощрения, напрямую зависящие от выручки предприятия, от персонального вклада в её рост, принцип соревновательности и показателей эффективности и качества об-

служивания, еженедельное подведение итогов работы и премирование по их результатам, применение разрядной сетки, консумации, фирменный стиль и единство, общность коллектива, коммуникабельность и доступность руководства, регулярные встречи управляющего звена с представителями подразделений, ежемесячный опрос персонала. При рассмотрении фонда оплаты труда вспомогательного производственного и обслуживающего персонала применяются повременная оплата труда, соответствующие методы мотивации, внедрение и ведение таблицы поощрительных и штрафных баллов по результатам контроля выполнения должностных инструкций, премирование при подведении итогов за определённый период, применение накопительных бонусов и прогрессивной шкалы доплаты процентов от выполнения и перевыполнения плана работы, использование разрядной сетки. На повышение мотивации руководителей и специалистов организации направлено сочетание окладов и системы бонусов. Так достигается заинтересованность персонала в повышении показателей эффективности работы всего предприятия.

При анализе динамики персонала особое значение имеет то, что частая смена работников сдерживает рост производительности труда. Область управления персоналом – самая сложная из всех составляющих системы управления. Для достижения максимального результата необходимо понимать, как управленческие решения применять на практике. Эффективная система управления предполагает наличие двухсторонней связи между принятием решения и практикой его применения. Одним из инструментов получения информации о степени соответствия практики реализуемых действий в области управления кадрами заданным менеджментом компании стандартам является аудит системы управления персоналом.

В сферу сервиса и туристической деятельности вовлечена масса заинтересованных лиц. В центре процесса управления и получения прибыли находятся работники организаций, от которых зависит львиная доля всех итогов процесса. Принцип руководства, стремящегося угодить клиенту, решает половину проблемы исходя из специфики самой сервисной деятельности, но при условии умелого управления трудовым потенциалом организации увеличение прибыли обеспечено. Особенность туристической деятельности, заключающаяся в сильном влиянии со стороны потребителя, накладывает отпечаток и на управление трудовыми ресурсами сервисного предприятия.

Динамика трудовых ресурсов – процесс, изменяющий место работника в системе общественного разделения труда, процесс смены места применения трудового потенциала. Основной причиной трудовых перемещений является несоответствие интересов, требований работника конкретному месту приложения труда. В процессе трудовой динамики происходит смена не только места, но и характера выполняемых работником функций. Трудовая динамика выполняет положительную экономическую функцию, так как способствует обеспечению различных сфер экономики трудовыми ресурсами, содействуя тем самым увеличению эффективности функционирования экономики. Социальная функция трудовой динамики проявляется в перемещении индивидов и групп индивидов, способствующем удовлетворению трудовых потребностей работников и созданию более приемлемых условий для развития персонала.

Всё многообразие трудовых перемещений определяют по основным показателям: профессионально-квалификационные, территориальные, отраслевые, внутриорганизационные. В процессе профессионально-квалификационной динамики основным направлением является переход к более сложным, высококвалифицированным профессиям, овладение дополнительными профессиональными навыками, а в условиях кризисной ситуации – переквалификация работников, что влияет на совершенствование социальной структуры общества. Территориальная динамика трудовых ресурсов имеет объективные причины и происходит между экономическими районами, населёнными пунктами и внутри них. Данный тип трудовой динамики способствует обмену и накоплению знаний, навыков и опыта, но требует определённых затрат, вложений. Отраслевая динамика существует по причине выделения определенных сфер экономической деятельности, объясняется их бурным ростом, специфи-

кой, выражающейся прежде всего в особенностях трудовых процессов: интенсивности, сложности, важности результата труда для удовлетворения возникающих в обществе потребностей. Внутриорганизационная динамика обусловлена сложной, постоянно меняющейся системой трудовых ресурсов.

Формы трудовой динамики могут быть как организованными, так и неорганизованными. К организованным формам относится перевод на различные рабочие места по причине производственной необходимости, к неорганизованным – текучесть кадров. Текучесть кадров – результат взаимодействия экономических, социальных, демографических, психологических и других факторов. При внешней текучести кадров на первое место выходят личные мотивы, затем мотивы, связанные с качеством жизни, размером заработка, профессионально-квалификационные мотивы. При внутриорганизационной текучести на первом месте – мотивы, связанные с условиями труда, затем с качеством жизни, а затем профессионально-квалификационные мотивы.

От движения и стабильности кадрового состава во многом зависят уровень квалификации и опыта персонала предприятия, стабильность хозяйственных процессов, что в свою очередь существенно влияет на результаты деятельности хозяйственной структуры. Руководству предприятия необходимо иметь данные о текущей и перспективной обеспеченности организации рабочей силой, о соответствии состава работников потребностям кадрового обеспечения. Соответствие кадрового состава поставленным задачам определяется прямым счётом при сравнении фактического наличия работников соответствующей квалификации с запланированным числом работников по каждому подразделению и рабочим местам, находя отклонения.

Особенности динамики трудовых потоков социально-культурного сервиса и туристической сферы проявляются в высоком процентном выражении текучести кадров. Спецификой рынка гостиничного персонала является высокая текучесть кадров, составляющая, по некоторым оценкам, около 30%. Гостиничным предприятиям не хватает как работников управляющего звена – топ-менеджеров, так и сотрудников более низких позиций – горничных, официантов. Большое количество молодых специалистов уходят из отельного бизнеса после первого года работы. На уровне топ-менеджмента этот процесс объясняется нехваткой специалистов, вновь открывающимся гостиницам приходится переманивать менеджеров из уже существующих, создавая определённые преимущественные условия труда. На низких позициях миграция связана с маленькой зарплатой, высокими нагрузками и стрессами.

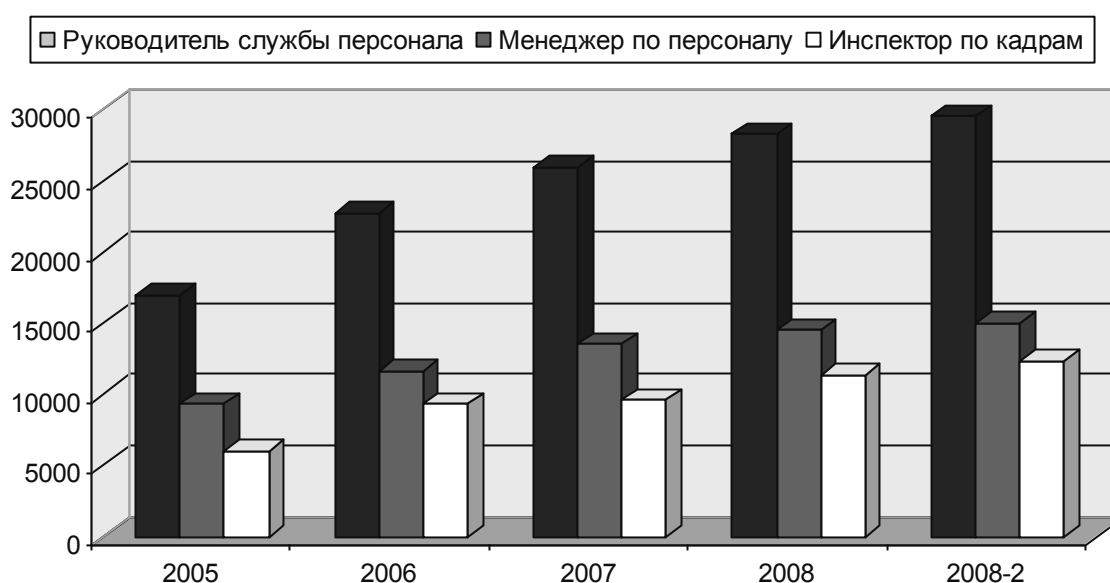


Рис. 1. Динамика средней оплаты труда и работников службы персонала

Спецификой трудового потенциала гостиничного сервиса является также и многочисленность необходимого для полноценного функционирования персонала. Чем выше класс отеля, тем больше сотрудников в нем необходимо. В отеле высшего класса на одного гостя приходится в среднем три сотрудника, в отелях среднего класса это соотношение примерно один к одному. Штат отеля классом «четыре звезды» на 185 номеров составляет 195 сотрудников. С увеличением числа гостиничных предприятий, прогнозируемым по данным Всемирного Совета по туризму и путешествиям (WTTC), количество занятых в гостиничной сфере может возрасти ещё на 50%.

К числу наиболее востребованных профессий в сфере обслуживания относятся повар, повар-кондитер, официант, метрдотель. Очень трудно найти узкого специалиста в сфере сервиса и туризма с высшим образованием, необходимым знанием иностранных языков, стандартов этикета и обслуживания.

Повышение заработных плат в отрасли гостиничной деятельности неизбежно, так как развиваются не только гостиничный сектор, но и другие отрасли, конкурирующие с гостиницами за персонал. Серьёзную конкуренцию гостиницам составляют рестораны, которые предъявляют более низкие требования при более гибком графике работы и более высокой оплате труда. Специалистов служб приёма и размещения, проработавших определённый временной промежуток и имеющих опыт работы, часто приглашают на административные позиции в крупные компании, в результате их зарплата повышается в два-три раза. Проблема дефицита высшего менеджмента в сфере гостеприимства стоит несколько острее, поэтому возможно прогнозировать рост зарплат именно в этом звене. Зарплата обслуживающего персонала существенно не увеличится, так как снижение требований к данным позициям привело к тому, что набираются необученные кадры без опыта работы, но готовые учиться.

#### Основные показатели деятельности гостиниц (включая аналогичные средства размещения)

	2000	2003	2004	2005	2006	2007
Число гостиниц	4182	3915	4041	4812	5375	5917
Номерной фонд гостиниц, тыс. номеров	183	177	179	201	208	219
Единовременная вместимость гостиниц, тыс. номеров	346,1	350,0	344,4	404,4	429,2	447,1
Предоставлено ночёвок за год, тыс.	46559	45426	46236	51922	55148	58377
Коэффициент использования гостиничного фонда (наличных мест)	0,37	0,36	0,40	0,35	0,35	0,36

Спецификой трудовых ресурсов социально-культурного сектора услуг являются, как правило, небольшие форматы предприятий. В процентном отношении большие корпорации в данном виде бизнеса, по различным оценкам, занимают не более 40%. Персонал малых организаций требует квалифицированного управления. Главное отличие работы персонала в малых предприятиях сферы сервиса заключается в том, что у работников нет чётко разграниченной сферы полномочий. Работник часто выполняет несколько функций и должен быстро решать возникающие производственные вопросы. Регулирование численности персонала, необходимое в малых организациях, в большинстве случаев предполагало совмещение функциональных обязанностей некоторых категорий работников. В больших организациях сферы сервиса на первое место выступает стандартизация работы персонала для увеличения скорости и качества работы, но в малых формах организации бизнеса необходим индивидуальный подход к каждому потребителю. Личный контакт с посетителем позволяет ему чувствовать себя не клиентом, а гостем. Умелое сочетание персоналом нескольких функций рассматривается как конкурентное преимущество организации. Умелое распределение трудовых ресурсов, концентрация трудовых по-

токов в определённых узлах деятельности в рамках малых организаций сервиса является необходимым условием управления предприятием сферы услуг.

Исходя из важности личных качеств и умений персонала сферы обслуживания, вытекает вопрос о подготовке кадрового потенциала организации. В России, в отличие от Европы, система учебных заведений, которые готовят специалистов гостиничного бизнеса, только начинает свое становление и развитие, и предприятия сервиса, в том числе и отели, вынуждены заниматься этим самостоятельно. В каждом отеле крупных компаний и высоких категорий работает тренинг-менеджер, ответственный за обучение персонала. Существует практика функционирования групп опытных тренеров, так называемых task-force, на несколько месяцев приезжающих в отель и обучающих персонал на рабочем месте.

Социальные и экономические последствия текучести кадров многообразны. Положительные последствия – удовлетворение потребности персонала, обеспечение рабочих мест рабочей силой. Отрицательные – большой экономический и социальный ущерб по причине сбоев в работе, перерывов в функционировании, снижения трудовой активности.

Динамика трудовых потоков на уровне организации включает в себя набор и расстановку кадров, повышение квалификации, перевод на другое рабочее место, совмещение в рамках одной должности нескольких функций, обучение новой специальности, целью которых является нахождение оптимального размещения работников в структуре коллектива.

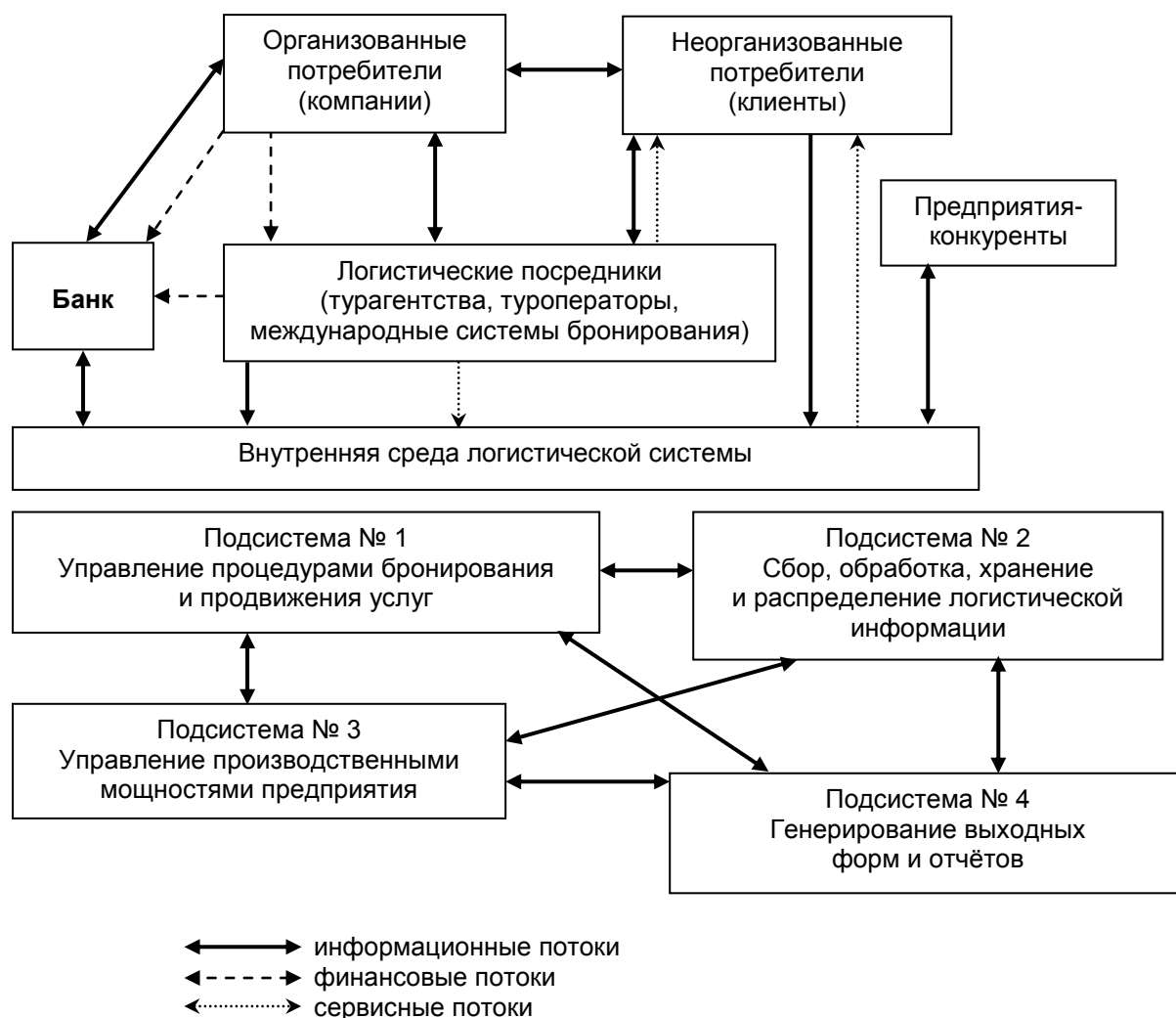


Рис. 2. Структура логистической системы сервисного предприятия

На уровне различных видов потоков ресурсов в сервисных предприятиях создаются предпосылки для построения логистической системы управления организацией на основе систематизированного подхода. Данная логистическая система управления представляет собой структурированную адаптивную систему, состоящую из элементов, связанных сервисными и сопутствующими им финансовыми и информационными потоками. Создание и рассмотрение логистической системы управления сервисным предприятием имеет своей целью оптимизацию использования ресурсов, увеличение эффективности деятельности, повышение качества обслуживания. На основе определения информационных, финансовых и сервисных потоков в предприятие строится организационная структура логистической системы. Управление потоками, осуществляемое на основе информации, остаётся малоизученной областью сервисного бизнеса.

К внутренней среде логистической системы относятся четыре подсистемы, к внешней – организованные и неорганизованные потребители, банки, конкуренты и посредники. Информационное взаимодействие четырёх подсистем внутренней среды определяет логистическую деятельность предприятия обслуживания. Одной из основных функций подсистемы № 3, воздействующей на параметры внутренних ресурсов с целью их оптимизации, и является планирование использования внутренних ресурсов. Данная подсистема оказывает непосредственное влияние на финансовую стратегию организации, на коммуникационную, маркетинговую деятельность, прогнозирование потоков ресурсов и формирование эффективной системы управления предприятием.

Специфика трудовых потоков логистической системы сервисного предприятия во внутренней среде организации раскрывается в специфике самого обслуживания, непосредственного взаимодействия с потребителями, посредниками, службы бронирования и продвижения услуг. Трудовые потоки оказывают важнейшее влияние на внешнюю и внутреннюю среду логистической системы, правильное управление динамикой трудовых потоков является необходимым условием эффективного функционирования предприятия социально-культурного сервиса и туристической сферы.

Система управления сервисным предприятием включает в себя две основные части: логистическую и операционную. Операционная часть системы управления состоит из совокупности трёх блоков, образованных наложением функций управления на организационную структуру предприятия. Блок стратегического управления организует управленческие решения стратегического характера, самый обширный блок управления производством услуг является специфической сферой сервисной организации и выполняет функцию управления производственным процессом. Блок управления производством услуг содержит несколько основных отделов, узлов и подсистем – подсистему управления характеристиками новых и действующих сервисных продуктов, подсистему управления процедурами и технологиями продвижения услуг на рынок, подсистему управления процедурами формирования предварительных заказов, подсистему формирования обратной связи по результатам обслуживания, подсистему информационного обеспечения системы управления, подсистему управления предоставления и формирования текущих заказов, подсистему управления расчётными и учётными операциями на предприятии, подсистему управления производственными мощностями организации. Блок управления факторами производства позволяет руководить персоналом и материально-технической базой организации и является основой формирования трудовых ресурсов, даёт возможность управлять динамикой и численностью трудовых ресурсов. Операционная часть системы управления является основой формирования и непосредственного воздействия на трудовые ресурсы организации, базовая логистическая подсистема распределяет и управляет трудовыми ресурсопотоками сервисной организации. Спецификой динамики трудовых ресурсов являются специфика самого персонала, его необходимая квалификация, уровень и численность, обширность блока производства услуг и обслуживания, непосредственное взаимодействие с потребителями услуг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Туризм в цифрах. 2008: стат. сб. М.: ИИЦ «Статистика России», 2008. 40 с.
2. Мировая экономика: глобальные тенденции за 100 лет / под ред. И.С. Королева. М.: Юрист, 2003. 604 с.
3. Шумпетер Й.А. История экономического анализа: в 3 т. / Й.А. Шумпетер; пер. с англ. под ред. В.С. Автономова. СПб.: Экономическая школа, 2001. Т. 3. 1369 с.
4. Иванов В.В. Логистические аспекты управления ресурсопотоками гостиничного предприятия / В.В. Иванов, А.Б. Волков // Пять звезд. 2000. № 6. С. 11-14.

**Мальшина Наталия Анатольевна** – кандидат философских наук, доцент кафедры «Предпринимательство и проектный менеджмент» Института развития бизнеса и стратегий Саратовского государственного технического университета

**Malshina Nataliya Anatolyevna** – Candidate of Science in Philosophy, Assistant Professor of the Department of «Entrepreneurship and Project Management» of the Institute of Development of Businesses and Strategies of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 18.07.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 330:336

**Н.В. Орлова**

**ФИНАНСОВЫЙ РЫНОК –  
ЭЛЕМЕНТ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ**

*Рассматриваются место и роль финансового рынка в воспроизводственной структуре экономики, определяются роль и значение его сегментов в движении капитала реального сектора экономики и осуществлении инвестиций.*

Финансовый рынок, финансовые ресурсы, инвестиции, воспроизводство, государство.

**N.V. Orlova**

**FINANCIAL MARKET –  
REPRODUCING STRUCTURE COMPONENT**

*The most important agent to form sources of economic growth and development is financial market. Theoretical comprehension of the market place and role in reproduction economic system is regarded in the article. The market also takes important place in determination of role and meaning of its segments in capital movement of the real economy sector.*

Financial market, financial resources, investment, reproduction, state.

Приложение к сложному трансформационному процессу, в котором находится Россия, понятий «первоначальное накопление капитала», «механизм воспроизводства капитала», «догоняющий тип развития» не бесспорно и недостаточно для понимания всей глубины происходящих в России изменений, определения вектора ее движения по пути общественного прогресса. Возник целый круг проблем, связанных с его исследованием. Одной из таких проблем является деформация механизма воспроизводства на микро- и макроуровнях в условиях трансформационного процесса.

Безусловно, трансформационный процесс неизбежно сопровождается значительными изменениями во всем механизме функционирования экономической системы, однако направленность этих изменений и глубина во многом определяются состоянием финансового рынка и особенностями проводимой финансовой политики. Достаточно сказать, что преобразование экономики по «шоковому» варианту привело не только к смене принципов хозяйствования, что само по себе ведет к качественным изменениям в экономических отношениях, а и к нарушениям условий нормального хода воспроизводства, как на макро-, так и на микроуровне. В результате произошли не только «сжатие» воспроизводства, но и его деформация, сделавшая невозможным осуществление даже простого воспроизводства, как оборотных средств, так и основных фондов, породив массовые неплатежи, бартер и разорение многих предприятий.

Финансовый рынок, встроенный в финансовый сектор как механизм его функционирования, является неотъемлемым элементом структуры воспроизводства, который определяет не только функционирование финансового сектора, а и жизнедеятельность реального сектора воспроизводственной системы. Выделение финансового рынка в качестве элемента воспроизводственной структуры строится на следующем принципе: это реально функционирующий элемент структуры, элемент, относительно обособленный в силу выполняемых им в процессе трансформации социально-экономической системы функций, несет определенную смысловую нагрузку, является особым звеном в механизме движения системы, элементом самого механизма.

Проблема взаимодействия финансового рынка с другими элементами воспроизводственной структуры российской экономики в условиях трансформационного спада может быть глубоко исследована с позиции теории переходной экономики. Трудности такого исследования связаны с тем, что теория перехода от социализма к капитализму, внутренним моментом которой является проблема трансформационного экономического спада, лишь создается.

Мы поддерживаем позицию группы московских ученых под руководством В.Н. Черковца, что возникший теоретический вакуум не может быть заполнен заимствованием западных теорий, поскольку по своей природе они просто не могут содержать позитивного решения данной проблемы для российской модели хозяйствования. Попытки решить проблему преодоления трансформационного спада методами монетаризма, кейнсианства, институционализма представляются попросту несостоятельными. Все эти теории дают адекватное отражение иной экономической реальности, реальности зрелой рыночной экономики, в которой давно сложился промышленный цикл, поддающийся регулированию в определенных границах при высокой компетенции регулирующих органов. В равной мере несостоятельны попытки использовать опыт латиноамериканских стран по финансовому оздоровлению их уже рыночной экономики, оказавшихся перед необходимостью погашения огромной внешней задолженности. Как показала практика, использованная ими модель не дала ожидаемого результата даже в этих странах. В постсоциалистических странах решается совершенно иная проблема – проблема становления рыночной экономики заново, а потому и с этой точки зрения заимствования не вполне состоятельны.

Структура экономики есть отражение структурирующего фактора производства, объединяющего составные части национальной экономики в национальную экономическую си-



стему. В движении ее могут быть выделены два аспекта: самосохранение и саморазвитие. В соответствии с ними национальная экономика в первом случае должна быть способна к самообеспечению, самовоспроизводству, во втором – к качественному совершенствованию. Это выдвигает соответствующие требования к структуре экономики в каждом из вышеобозначенных аспектов. Наиболее полно этому соответствовала воспроизводственная структура, позволявшая выразить непрерывность общественного воспроизводства как единство процессов простого возобновления (самосохранения) и расширения (саморазвития) национальной экономики. Макроэкономическое развитие сопровождается усложнением взаимосвязей, ее конкретных количественных пропорций, видоизменением моделей структуры национальной экономики. Это также влечет изменения значимости отдельных элементов структуры для дальнейшего развития самой экономической системы и воздействия их на другие сферы деятельности человека и самого человека.

С учетом этих установок исследование взаимодействия финансового рынка с элементами воспроизводственной структуры мы можем строить на методологическом положении о том, что воспроизводственная системная структура в своем развитии периодически проходит через периоды неустойчивости (сопровождающиеся сменой режимов функционирования воспроизводственной системы) и периоды относительно стабильного состояния, близкого к равновесию. Мы будем учитывать, что стабильное состояние основывается как на преимущественно рыночных механизмах поддержания равновесия, так и на активном государственном вмешательстве в воспроизводственные процессы.

Взаимодействие элементов воспроизводственной структуры прослеживается как в ее спокойном состоянии, так и в состоянии возмущения. Прежде всего, возникает вопрос о взаимодействии воспроизводственной структуры и финансового рынка. По сути – это вопрос о месте и роли финансового рынка в воспроизводственной структуре российской экономики.

Продолжая отвечать на этот вопрос, дополнительно отметим, что в ситуации неустойчивости воспроизводственная структура оказывается крайне чувствительной к переменам на финансовом рынке, а потому в практике хозяйствования возникают сложности определения направлений развития самого финансового рынка и направлений изменения воспроизводственной структуры. Именно в такие периоды, в моменты неустойчивости, наиболее очевидными становятся спонтанные процессы самоорганизации воспроизводства, основанные на кооперативных эффектах взаимодействия элементов всей воспроизводственной системы. Если воспроизводственная система сразу не выходит на устойчивый путь поступательного развития, то может последовательно возникать целая цепь бифуркационных состояний в ее структурных элементах, вот тогда может происходить выбор дальнейшего направления развития. Рыночный механизм финансовой системы в условиях неустойчивости самоорганизуется, и когда сигналы о возникающих отклонениях, поступающие по каналам обратных связей, меняют действие других элементов, тогда и воспроизводственная структура приобретает равновесие.

В условиях спокойного развития воспроизводственной системы поведение экономических агентов на финансовом рынке устойчиво, а потому предсказуемо. Институциональные структуры воспроизводственной системы формируют мотивы поведения хозяйствующих агентов на всех уровнях хозяйствования. В этих условиях формируются относительно устойчивые прямые и обратные связи между элементами структуры, которые укладываются в выработанные теорией экономико-математические модели. Хотя, строго говоря, они не учитывают всех возможных факторов, влияющих на ход воспроизводства (особенно факторов неэкономических), многие из которых рассматриваются в моделях как постоянные, а от других при построении моделей просто абстрагируются. В этом случае можно говорить о прямом стимулирующем воздействии финансового рынка на элементы воспроизводственной структуры.

В процессе взаимодействия финансового рынка с элементами воспроизводственной структуры участвует и государство. Поддерживая механизм финансового рынка, оно не только создает институциональные рамки, формирующие определенные соотношения между структур-

ными элементами воспроизводства, но и достраивает недостающие для нормальной жизнедеятельности всего социально-экономического организма обратные связи, и с помощью инструментов экономической политики «запускает» механизмы самонастройки экономики в нужном направлении. В качестве примеров могут служить действия «встроенных», или «автоматических стабилизаторов», механизм мультипликатора расходов (налогов), денежного мультипликатора и др. Таким образом, процессы самоорганизации, протекающие в воспроизводственной системе, оказываются под непосредственным воздействием «управляющих параметров» более высокого уровня – общества в целом, от имени которого и действует государство [1].

На взаимодействие финансового рынка и воспроизводственной структуры в российской экономике оказывают влияние трансформационные перемены. Если воспроизводственная структура переживает глубокую трансформацию, сопровождающуюся ломкой всех институциональных элементов, и находится в состоянии, далеком от равновесия, то состояние финансового рынка, как правило, характеризуется как кризисное: процессы капитализации в реальном секторе затухают, а экономика в целом может оказаться в структурном кризисе, как это и было в России. В этих условиях использование равновесных моделей для прогнозирования воспроизводственного процесса оказывается проблематичным. Затруднительным, а точнее просто невозможным, оказывается использование в рамках национальной экономики общих программ стабилизации и структурной перестройки, разработанных международными организациями в качестве общих рекомендаций для целого ряда стран [2].

На наш взгляд, в России нужны адекватные теоретические подходы, позволяющие делать выводы и обобщения, принимать на их основе действенные решения. В этом плане наиболее актуальным становится анализ взаимодействия формирующегося финансового рынка с другими элементами воспроизводственной структуры. Важность этой проблемы объясняется тем, что именно в ходе этого взаимодействия и взаимовлияния формируются источники преодоления трансформационного спада.

Протекание процессов взаимодействия финансового рынка с элементами воспроизводственной структуры определяется сложившимися экономическими условиями в России. Переходная российская экономика, вступившая на путь «первичного капиталообразования» [3], на протяжении 1990-х годов вплоть до 1999 года находилась в состоянии затяжного экономического спада, который достиг своей наивысшей точки в кризисном 1998 году. Экономический рост прекратился и начался затяжной трансформационный спад, определяющий природу собственно экономического кризиса в последнем десятилетии ушедшего века.

Процесс «капиталообразования» имеет свою логику: образованию промышленного капитала, персонифицирующегося в физических и юридических лицах, становящихся собственниками объектов реального сектора экономики, предшествует накопление финансового капитала в денежной форме. Накопление финансового капитала осуществляется:

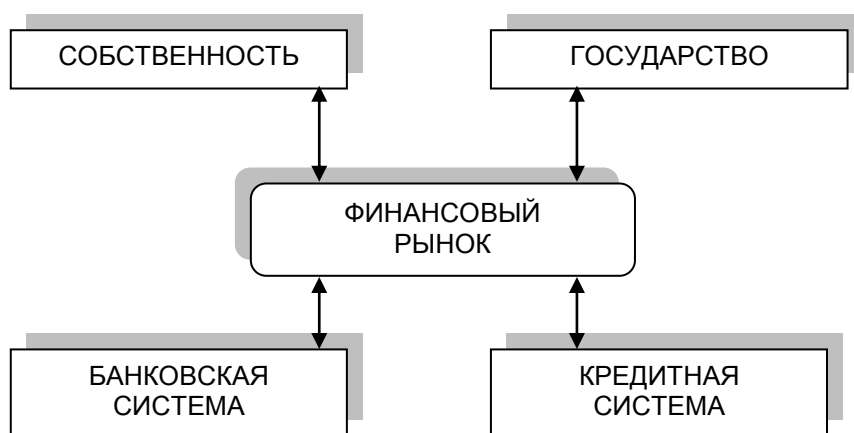
- через функционирование торгового и банковского капитала;
- через привлечение и использование сбережений населения;
- путем прямого казнокрадства;
- через агрессивное использование «бесхозного» реального сектора в целях присвоения прибыли;
- путем выкачивания денежных средств бывших государственных предприятий в целях последующей финансово-спекулятивной их прокрутки.

Использование данных способов накопления финансового капитала сопровождалось отрывом его от процесса формирования промышленного капитала во времени. Большая часть денежных ресурсов использовалась собственниками в финансовых сделках на фондовых рынках, поскольку они приносили скорый и непосредственный доход. Сформировавшийся временной лаг между образованием финансового капитала и образованием промышленного капитала в России и выступил фактором спада. Его продолжительность закрепля-

лась тем, что накопленный в стране денежный капитал устремлялся за рубеж, что столь естественно в условиях экономической, политической и прочей нестабильности.

Заметим, что это свойственно всякой переходной экономике, но особенно болезненно совершаются эти процессы в России. Множество внутренне присущих переходной экономике обстоятельств не только ограничивает возможность немедленного экономического роста, но и порождает разную продолжительность и разрушительную силу трансформационного спада, что предопределяется конкретно-историческими условиями той или иной страны.

Переход от спада к росту во всех постсоциалистических странах происходит постепенно по мере овладения капиталом реального сектора экономики, развития финансового рынка и формирования соответствующих инвестиционных условий в стране. Такая логика развития экономики в переходный период позволяет выделить наиболее важные экономические институты, являющиеся элементами воспроизводственной структуры, взаимодействующие в этом ее жизненном цикле с финансовым рынком. К ним можно отнести: собственность, государство, банковскую и кредитную системы (см. рисунок).



Взаимодействие финансового рынка с элементами воспроизводственной структуры

Именно взаимодействие данных элементов воспроизводственной структуры, их устойчивые связи и взаимозависимости формируют экономический смысл процесса преодоления трансформационного спада в воспроизводственной системе России.

Финансовый рынок в воспроизводственной структуре в процессе взаимодействия с банковской и кредитной системами, находясь в прямой и обратной связи с институтом собственности и государственными институтами, по существу является:

- связующим звеном между институтом собственности и институтом государства;
- механизмом взаимодействия между реальной и финансовой сферами экономики;
- определяющим фактором функционирования банковской и кредитной систем, их участия в воспроизводственном процессе.

При этом он может повернуться разными своими гранями к процессу производства, способствовать его эффективности или тормозить оборот капитала.

Прежде всего, финансовый рынок имеет прямые связи с институтом собственности. Можно утверждать, что состояние финансового рынка, его место в воспроизводственной структуре определяется переменами в отношениях собственности и изменением функций государства как хозяйствующего собственника. Вместе с тем, по мере развития финансового рынка формируются условия перераспределения собственности, темпы образования реального капитала. Испытывая воздействие государства, подчиняясь этому воздействию, финансовый рынок четко определяет долю государственной собственности, а потому и степень его экономического давления на хозяйствующие субъекты. В этом смысле финансовый рынок, институт собственности и институт государства находятся во взаимосвязи и взаимозависимости.

Известно, что, вступив на путь трансформационных преобразований, российское государство сбросило с себя бремя собственника объектов реальной экономики. Но парадокс состоял в том, что формально оно оставалось таковым вплоть до завершения приватизации. Главной задачей, которая встала перед российским государством, стала борьба с инфляцией. Но ведь и инфляция была порождена уходом государства из экономики. Отпуск цен в январе 1992 года в условиях «высокомонополизированной, хронически дефицитной, характеризующейся к тому же крайней технико-технологической неоднородностью материально-технической базы экономики», сопровождался их резким повышением (за один только 1992 год – в 26 раз) и сокращением масштабов производства [4]. В результате разразился самый острый финансовый кризис, разрушивший проводившуюся государством кредитно-денежную и финансовую политику, и финансовые институты, созданные для ее проведения.

К тому же не вполне адекватно были определены природа инфляции и методы ее преодоления. Есть основания полагать, что финансовый рынок «потерпел крушение» потому, что его стабилизация достигалась методами и способами, подрывавшими реальный сектор экономики, и без того находившийся не в лучшем состоянии. Истоки финансовой стабилизации финансового рынка лежат в стабилизации реального сектора. Но такая ситуация в России не сложилась, что и питает неустойчивость финансовой системы, занятой в этот период выполнением совершенно иной функции, состоящей в накоплении денежного капитала. Таким образом, «специфично» решенная проблема, касающаяся государственной собственности, обернулась для российской экономики разрушением механизма функционирования финансового рынка.

Финансовый рынок является участником формирования собственности. Собственность формируется в процессе создания новыми частнокапиталистическими собственниками их капиталов, как новых, не только по стоимости, но и по своей натурально-вещественной субстанции. Ведь, действительно, только тот капитал, который по своей натуральной форме заново создан, воспроизведен новыми собственниками, становится частнокапиталистической собственностью не только юридически, но и по своим источникам. Клеймо экспроприатора, приватизатора снимается с того частного собственника, который своими предпринимательскими способностями сумел материально-вещественно воспроизвести свой капитал за счет произведенной на его предприятии прибавочной стоимости. Этот процесс может совершиться лишь в процессе воспроизводства, в том числе и через механизм финансового рынка.

В российской практике это уже давно удалось тем предпринимателям, кто занят в тех сферах производства и обращения, где скорость оборота капитала высока. Но в отраслях промышленности, где скорость оборота капитала заведомо выше десятка лет, такое воссоздание капитала произойдет еще не скоро. Но только тогда можно будет утверждать, что новые собственники не просто присвоили ставший ныне их капитал, а создали и воспроизвели его как новую собственность. Суть состоит не в том, что это нужно для утверждения новых частных собственников, они-то себе лично уже обеспечили необратимую победу. Суть в том, что социально-экономическая эффективность, социальная оправданность нынешних трансформационных преобразований напрямую определяется тем, какую новую материально-техническую базу и насколько эффективно для всего нового буржуазного общества создает новый класс собственников. Историческое оправдание современной буржуазной революции определяется тем, к какому результату стремится формирующийся класс собственников, и какой эффект он получает в качестве этого результата:

первый эффект – класс собственников просто воспринимает старый материально-технический базис и уровень социалистического планового народного хозяйства с его уже устаревшими за годы перехода к капитализму производственными фондами, ориентированными в значительной мере на производство потребительских товаров для населения. Тогда материально-технический прогресс оказывается для российской экономики недоступным;

второй эффект – класс собственников тесно и умело интегрируется в мировую экономику, создавая при этом качественно новую, современную материальную базу своего экономического господства;

третий эффект – класс собственников, реализуя свой собственный интерес, увеличивая личное богатство, еще больше превращает российскую экономику в сырьевой, колониального типа придаток развитого Запада.

В этой связи, важное значение приобретает связь института государства и финансового рынка. Отметим, что пока совершенно не разработана теоретически и не развита на практике (после финансового кризиса 1998 года) проблема участия государства как субъекта финансового рынка.

Финансовый рынок, как и любой другой, с его стихийно формирующейся динамикой может быть лишь объектом воздействия, объектом регулирования (успешным или неуспешным) со стороны государства. Потому во взаимодействии государства и финансового рынка ключевым вопросом становится выяснение возможностей конкретного государства и его желания («политической воли») как побудительного мотива стимулирования динамики финансовых потоков. Все дело в природе конкретного государства. Если государство в переходной российской экономике является комитетом по управлению делами элиты правящего класса, то у него нет никакого мотива заниматься динамикой финансовой сферы и экономической динамикой вообще. В экономическом росте (в росте прибыли и экономической власти как факторе увеличения прибыли) заинтересованы отдельные монополии, которые не только реализуют свои интересы в своей производственной и финансовой деятельности, но и персонифицируют их при лоббировании на государственном уровне. Они могут это делать и потому, что имеют четко выраженный интерес, и потому, что имеют огромные ресурсы воздействия на государственный аппарат, и потому, что могут персонифицировать этот свой интерес. Что касается интереса народа, то из-за специфического, характерного для капиталистической частной собственности, механизма распределения произведенного валового продукта, он совсем не обязательно что-то получает при возрастании ВВП. Поэтому интерес народа вообще в высоких темпах экономического роста, в скорости обращения денежных потоков является мало материализуемой во всех отношениях вещью. Кроме того, народ не может ни персонифицировать этот свой слабо выраженный интерес, ни сконцентрировать достаточные для его проталкивания, реализации, лоббирования ресурсы в верхних государственных эшелонах. В силу этих обстоятельств государство на финансовом рынке может реализовать интерес и народа, и общества, но в условиях России делается это слабо.

Финансовый рынок не в меньшей степени связан и с банковской и кредитной системами. При всех положительных изменениях в банковской системе, для нее все еще характерны черты, обусловленные нынешней фазой трансформационных преобразований в стране, снижающие активность привлечения инвестиций на финансовом рынке:

- высокая цена банковских кредитов;
- неразвитость механизма трансформации сбережений населения в инвестиции;
- сохранение высоких рисков при кредитовании предприятий.

Изменения поведения субъектов финансового рынка отражают изменения их интересов, обусловленные структурными изменениями в инвестициях в основной капитал. В этом проявляются и общие особенности повышательной фазы трансформационных преобразований: экономический рост привел к некоторому увеличению (или восстановлению) роли реального сектора, прежде всего промышленности. А в самой промышленности – повышению, хотя и незначительному, удельного веса пищевой промышленности и промышленности строительных материалов, электроэнергетики и газовой промышленности. При всей скромности этих тенденций, важно то, что структура инвестиций отражает структуру всего экономического роста в последние годы. Прирост ВВП обеспечивается, главным образом, за счет топливно-добывающих отраслей, которые были и главными инвесторами в реальный сектор.

Основные направления негативного воздействия кредитно-денежной и финансовой политики на состояние реального сектора, усугублявшего трансформационный спад, проявились в следующем:

во-первых, резкое ограничение инвестиционного потенциала большинства отечественных предприятий введением завышенных относительно уровня рентабельности налоговых ставок, поглотивших едва ли не полностью их прибыль. Под воздействием этого обстоятельства предприятия либо разорялись, либо уходили в тень;

во-вторых, прямое разорение реального сектора различными финансовыми структурами, различными способами изымавшими денежные средства предприятий для финансово-спекулятивной прокрутки, ради чего крупными коммерческими банками создавались финансово-промышленные группы, в которых доминировали интересы банковского капитала;

в-третьих, недоступность для большинства предприятий банковского кредита при высокой в нем потребности из-за его дороговизны в силу непрерывного повышения ставки рефинансирования.

Таким образом, антиинфляционная политика государства внесла свой вклад в разорение реального сектора экономики, в истощение его скудного инвестиционного потенциала. На грани полного разорения оказались целые отрасли гражданской промышленности, либерализацией внешнеэкономической деятельности поставленные в условия разорительной конкуренции с иностранными фирмами. Разразившийся в августе 1998 года финансовый кризис показал, насколько опасно достижение финансовой стабилизации на счет разорения реального сектора, здесь ценой выступает основа всякой национальной экономики на любом этапе ее развития.

Разорение реального сектора в период финансового кризиса в России сопровождалось формированием коммерческих банков и накоплением денежного капитала. Известно, что невоспроизводственное накопление капитала действительно предшествует воспроизводственному. В России это накопление осуществлялось путем раздела и передела объектов реального сектора, в том числе и через механизм финансовой системы. В силу этого финансовая система становится временно доминирующей. Деятельность институтов финансовой системы, и, прежде всего коммерческих банков, была направлена на формирование денежного капитала. Этот процесс шел столь стремительно, что уже к середине 90-х годов при проведении залоговых аукционов счет шел на сотни миллионов долларов, накопленных аутсайдерами, превратившимися в олигархов.

Развивающийся финансовый рынок, при его активном взаимодействии с денежно-кредитной системой, с устойчивыми связями с институтом собственности, становится активным элементом механизма циклического развития народного хозяйства. Финансовый рынок – элемент воспроизводственной структуры, в процессе взаимодействия с другими элементами, функционирует и как элемент механизма циклического развития хозяйственной системы. Через финансовый рынок цикличность развития народного хозяйства встраивается в обычный промышленный цикл перепроизводства капитала. Повышательная фаза трансформационных преобразований, которая наблюдается последние 4-5 лет, не только не может отменить эту закономерность капиталистического воспроизводства, она встраивается в нее, частично формируя ее. Поэтому по мере завершения перехода к капиталистической рыночной экономике циклообразующие факторы должны все более влиять на формы проявления новой динамики народного хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красникова Е.В. Трансформационный спад как отражение противоречий переходной экономики / Е.В. Красникова // Проблемы и противоречия воспроизводства в России в контексте мирового экономического развития. Теория. Сопоставления. Поиски. М.: ИНФРА-М, 2004. С. 115-116.

2. Серегина С.Ф. Роль государства в экономике / С.Ф. Серегина. М.: Экономика, 2002. 280 с.

3. Черковец В. Особенности нового этапа инновационного развития России / В. Черковец // Экономист. 2008. № 12. С. 38-55.

**Орлова Надежда Викторовна** –  
кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Финансы и кредит»  
Саратовского государственного  
аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Orlova Nadezhda Victorovna** –  
Candidate of Sciences in Economics,  
Assistant Professor of the Department  
of «Finances and Credit» of Saratov State  
Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

*Статья поступила в редакцию 16.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 656.03

**М.Ю. Павлов**

### **СИСТЕМНОЕ СООТНОШЕНИЕ МЕЗО- И МИКРОЛОГИСТИКИ В ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА**

*Изложены особенности использования логистических технологий в деятельности метрополитена. Определена специфика метрополитена как объекта логистического менеджмента и выделен комплекс научных и практических задач, решаемых с использованием логистики.*

Логистический менеджмент, мезологистическая система, микрологистическая система, метрополитен, пассажиропоток.

**M.Yu. Pavlov**

### **RELATIONSHIP OF MESO - AND MICROLOGISTICS IN UNDERGROUND RAILWAY SYSTEM**

*The author researches logistics technologies in the underground railway systems. He identifies the specificity of the underground as an object of logistics management and isolated a set of scientific and practical problems solved with the use of logistics.*

Logistic management, mezologistic system, micro logistic system, underground railway systems, passenger flow.

Логистика как управленческая функция, применяемая на метрополитене, призвана обосновывать совокупность проектных решений, технических средств, методов анализа, планирования и организации, которые охватывают во взаимосвязи экономические, социальные, технические вопросы и отражают главные принципы деятельности метрополитена: пассажирский, эксплуатационный, строительный, городской, технико-экономический. Последнее в обобщенном виде можно сформулировать следующим образом [1]:

– пассажирский: наиболее полное удовлетворение потребностей пассажиров на основе создания удобной системы массовых, скоростных, регулярных и безопасных перевозок

при благоприятных санитарно-гигиенических условиях и архитектурной среде, отвечающей функциональным, социальным и эстетическим требованиям;

– эксплуатационный: обеспечение четкой, удобной, безопасной эксплуатации метрополитена с оптимальными затратами на основе создания долговечных и надежных сооружений, автоматизированных устройств контроля движения и подвижного состава, современных производственных и ремонтных подразделений, служебных и бытовых помещений для обслуживающего персонала;

– строительный: обеспечение высокого качества и наименьшей трудоемкости строительства метрополитена на основе создания индустриальных тоннельных конструкций и монтажных узлов, удобных и безопасных систем механизации и автоматизации основных и вспомогательных производственных процессов, современных производственных баз и бытовых помещений для метростроителей;

– городской: обеспечение нормальных условий жизни города в период строительства и эксплуатации метрополитена на основе рационального выбора мест прокладки линий и способов проведения работ с учетом сложившейся архитектуры города, планов его реконструкции и развития, требований охраны окружающей среды;

– технико-экономический: обеспечение высокого технического уровня строительства и эксплуатации метрополитена при наименьших трудовых, материальных, финансовых затратах на основе использования передового опыта, внедрения новейших достижений науки и техники.

Среди перечисленных главным является пассажирский принцип, в то же время каждый принцип должен рассматриваться во взаимодействии с другими, поскольку все они, в конечном счете, направлены на то, чтобы обеспечить высокий уровень транспортного обслуживания населения. Отработка этих принципов в наибольшей степени достигнута в тех мегаполисах, где метрополитен имеет длительный эксплуатационный срок, по примеру Санкт-Петербурга.

Метрополитен как крупнейшая транспортная система Санкт-Петербурга и сложнейшее инженерно-техническое сооружение городского хозяйства на протяжении нескольких последних лет функционирует на фоне действия сложных динамических факторов переменной экономической среды, а его развитие тормозится недостаточным финансированием дальнейшего строительства. В существующих (особенно в период экономического кризиса) условиях становится особенно необходимым изыскивать пути рационализации использования материальных и финансовых ресурсов, в первую очередь, за счет применения адекватных сложности проблемы методов управления, основанных на принципах логистики.

К основным методологическим принципам, применяемым в логистическом менеджменте, относятся следующие [2]:

– принцип системности, суть которого состоит в том, что все элементы логистической системы рассматриваются в их взаимосвязи и взаимодействии, направленном на достижение общей цели управления;

– принцип тотальных затрат – учет всей совокупности издержек управления материальными и связанными с ними информационными и финансовыми потоками;

– принцип глобальной оптимизации, предполагающий согласование локальных целей функционирования элементов системы для достижения глобального оптимума;

– принцип логистической координации и интеграции, который подразумевает достижение согласованного, интегрального участия элементов в управлении потоками при реализации целевой функции;

– принцип разработки необходимого комплекса подсистем: технической, экономической, организационной, правовой, кадровой, экологической и других, обеспечивающих процесс логистического менеджмента;

– принцип моделирования и информационно-компьютерной поддержки, означающий широкое использование различных моделей: экономико-математических, графических, имитационных;



тационных и других при анализе, синтезе, оптимизации объектов и процессов в логистических системах;

– принцип всеобщего управления качеством – обеспечение надежности функционирования и высокого качества работы каждого элемента логистической системы для обеспечения общего качества товаров и услуг, поставляемых конечным потребителям;

– принцип гуманизации всех функций и технологических решений в логистических системах, что означает соответствие экологическим требованиям по охране окружающей среды, эргономическим, социальным, этическим требованиям работы персонала и т.п.;

– принцип устойчивости и адаптивности: логистическая система должна устойчиво работать при допустимых отклонениях параметров и факторов внешней среды и приспосабливаться к новым условиям, меняя программу функционирования, критерии оптимизации, при значительных изменениях этих параметров.

Специфика логистической системы метрополитена состоит в том, что в данном случае объектом приложения логистики является пассажирский поток. Каждый отдельный пассажир как элемент пассажиропотока самостоятельно принимает решение по выбору вида транспорта, маршрута, мест пересадки с учетом действующих тарифов, интервалов движения, затрат времени, причем учитывается не только собственно время движения, но и время подхода от места отправления к остановочному пункту, время ожидания транспортного средства, время подхода от остановочного пункта к месту назначения. Как следствие, структура логистической системы метрополитена естественным образом расширяется в своих масштабах объединением взаимосвязанных подсистем, обеспечивающих дотранспортное, транспортное и послетранспортное обслуживание. Первая подсистема осуществляет организацию подхода пассажиров к станциям метрополитена и посадочным платформам, отвечает за удобство их расположения, комфорт и безопасность при ожидании поезда. Вторая подсистема – транспортное обслуживание – обеспечивает доставку пассажира до остановочного пункта назначения с предоставлением необходимого уровня комфорта. Третья подсистема – послетранспортное обслуживание – имеет целью обеспечить удобство подхода пассажиров к местам назначения или остановочным пунктам пересадки на другой вид транспорта [3].

Применение мезологистического подхода к организации функционирования метрополитена обеспечивает принятие крупномасштабных решений: подготовка проектирования, строительства и эксплуатации на основе разработки его генеральной схемы и этапизации строительства в увязке с генеральным планом и комплексной схемой развития всех видов общественного транспорта города, обоснование размещения селитебных территорий города с учетом существующей и перспективной транспортных сетей, учет складывающихся пассажиропотоков и их прогнозирование. Эти вопросы решаются органами местного управления с учетом демографических факторов, ресурсов, расселения, производства, культурно-бытовой сферы. В дальнейшем мезологистический подход получает свое развитие в микрологистическом подходе. К вопросам микрологистики относятся прогнозирование и планирование объемов транспортных услуг и затрат с учетом пассажиропотоков, благоустройство транспортных коммуникаций, функционирование автоматизированной системы диспетчерского управления и контроля работы единиц подвижного состава на линиях.

На мезоуровне использование инструментария логистики определяет общие правила проектирования и эксплуатации метрополитена и позволяет обосновать тип метрополитена (подземный, наземный или надземный), заложение линий (мелкое или глубокое), систему организации движения поездов, расстояние между станциями, компоновку станционных и пересадочных узлов, т.е. обязательные требования, предъявляемые ко всему комплексу метрополитена. Решение этих проблем осуществляется на основе общеметодологических принципов логистики.

С позиций логистических принципов суммарного сокращения затрат времени и глобальной оптимизации должны анализироваться и пути следования пассажиров к станциям

метрополитена. Здесь основное внимание, особенно при сравнительно больших расстояниях между станциями, должно уделяться вопросам организации удобных путей подхода и подъезда к ним.

Важнейшими элементами логистической системы метрополитена являются станционные и пересадочные комплексы. Они служат узловыми пунктами метрополитена, где осуществляются прием, посадка, высадка, пересадка и эвакуация пассажиров на поверхность. В соответствии с принципом глобальной оптимизации и системным подходом, рациональная архитектурно-планировочная компоновка узловых пунктов определяет степень совершенства метрополитена. При архитектурно-планировочной компоновке станционных и пересадочных узлов должны обеспечиваться необходимое количество и достаточная пропускная способность удобных входов, выходов, путей следования, контрольно-пропускных и подъемно-транспортных устройств, оптимальное распределение пассажиропотоков и минимальные затраты времени на перемещение пассажиров.

Однако при всем этом основным объектом логистического подхода к организации работы метрополитена остаются потребности в перевозках, характеризуемые пассажиропотоками. Именно пассажиропотоки, в конечном счете, определяют общие и технические принципы проектирования и эксплуатации метрополитена. На основании параметров пассажиропотоков рассчитываются потребность и степень использования технических средств, определяется необходимая численность эксплуатационного персонала и устанавливается порядок действия работников метрополитена, связанных с движением поездов. Пассажиропотоки являются основой для составления графика движения поездов, который концентрирует в себе решение комплекса задач по организации движения и перевозки пассажиров и устанавливает необходимые размеры движения, время отправления и прибытия поездов на станции, скорости движения поездов по перегонам и участку, некоторые другие параметры. Как внеуличный транспорт, метрополитен обладает потенциальной возможностью обеспечивать массовые, скоростные, регулярные и безопасные пассажирские перевозки. Эти свойства определяют преимущества метрополитена в сравнении с другими видами городского общественного транспорта. Сами эти преимущества тем значительнее, чем правильнее определены параметры провозной способности, частоты и скорости движения.

Использование описанного инструментария логистики в организации функционирования метрополитена, по нашим оценкам, может обеспечить решение комплекса научных и практических задач, важнейшими из которых являются:

- изучение пассажиропотоков методом учета пассажиров, их прогнозирование с использованием экономико-математических и имитационных моделей и разработка системы мер по их полной, своевременной и безопасной доставке на станции назначения;
- развитие пропускных и провозных способностей линий метрополитенов, внедрение новейших приемов организации работы диспетчерских участков станций и рациональных методов организации путевых и ремонтных работ;
- разработка теории, системы контроля и совершенствования эксплуатации подвижного состава и устройств электроснабжения;
- организация работы станций и пересадочных узлов с учетом передового отечественного и зарубежного опыта, приемов рассредоточения пассажиропотоков между станциями путем передачи части пассажиров наиболее загруженных станций на менее загруженные и координации работы всех видов городского пассажирского транспорта;
- оптимальная и безопасная организация движения и перевозок пассажиров;
- повышение экономической эффективности метрополитена, рост доходов от перевозки пассажиров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васюков П.А. Мы строим метро: история, настоящее, будущее / П.А. Васюков, Е.Д. Редниченко. М.: Московский рабочий, 1983. 319 с.
2. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе / В.И. Сергеев. М.: ИНФРА-М, 2001. 608 с.
3. Плотников М.В. Логистический подход к пассажирским перевозкам / М.В. Плотников // Актуальные проблемы экономики и транспорта: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2001. С. 94-95.

**Павлов Михаил Юрьевич** –  
аспирант кафедры «Коммерция и логистика»  
Санкт-Петербургского государственного  
университета экономики и финансов

**Pavlov Mikhail Yuryevich** –  
Posta-graduate Student of the Department  
of «Commerce and Logistics» of Saint-Petersburg  
State University of Economics and Finance

*Статья поступила в редакцию 21.10.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 330.35+330.564.2

**Н.В. Решетникова**

### **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА И ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ДОХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ**

*Дана типологизация регионов России по уровню и темпам роста душевых доходов. Показаны особенности взаимосвязи дифференциации доходов и экономического роста на различных этапах развития хозяйственной системы.*

Доходы населения, дифференция по регионам.

**N.V. Reshetnikova**

### **SPECIFIC FEATURES OF INTERDEPENDENCE BETWEEN ECONOMIC GROWTH AND POPULATION INCOME DIFFERENTIATION**

*The paper presents a typology of Russian regions according to the levels and rates of growth of per capita incomes. Specific features of interdependence between income differentiation and economic growth at different stages of development of the economic system are shown.*

Population income, differentiation according to regions.

Дифференциация доходов представляет собой один из элементов более общего понятия «социально-экономическая дифференциация». Среди элементов социально-экономической дифференциации можно выделить: дифференциацию в оплате труда, по уровню сбережений, по материальной обеспеченности, по потреблению отдельных групп товаров и услуг, гендерную дифференциацию и др. Темп и уровень социально-экономической дифференциации различаются в странах мира в зависимости от масштабов экономического развития, типа проводимой социальной политики, используемой модели социальной защиты.

Целесообразно рассматривать уровни социально-экономической дифференциации: от глобального (между странами) до микроуровня (внутри региона). Для каждого уровня социально-экономической дифференциации могут быть отмечены особенности взаимосвязи неравномерности распределения доходов и экономического роста, дивергенция или конвергенция душевых доходов и потребления.

Разрыв в доходах между бедными и богатыми странами увеличивается на протяжении двух последних столетий. В 1820 г. соотношение доходов между самой богатой страной мира (США) и самой бедной страной (в то время это был Китай) составляло 3 : 1. Перед Первой мировой войной это соотношение было 11 : 1 (в то время самой бедной страной был уже Египет). Сейчас США имеют валовой внутренний продукт на душу населения, в 72 раза больший, чем самая бедная страна мира – Эфиопия [1, с.46].

Заметим, что не все зарубежные и отечественные аналитики (например, С. Бхалла, Х. Сала-и-Мартин, Ю. Шишков) однозначно трактуют происходящие процессы. Критикуя сложившуюся международную практику определения уровня неравенства подушевых доходов и бедности, они утверждают, что происходит процесс конвергенции подушевых доходов, а уровень бедности в ряде развивающихся стран завышен [2, с.47].

Процесс усиления различий регионов в показателях уровня жизни бурно протекал в конце 90-х годов XX века и в нашей стране. Анализируя динамику реальных доходов населения по регионам в 1990-1996 гг., академик А.Г. Гранберг сделал вывод о происходящей дивергенции региональных уровней реальных среднедушевых доходов [3, с.296], увеличении группы бедных и беднейших регионов. Межрегиональная дивергенция при общем снижении реальных доходов в эти годы неизбежно расширяла зону абсолютной бедности.

Дивергенция или конвергенция душевых доходов может быть выявлена на основе типологизации регионов РФ. Нами осуществлена типологизация регионов первого вида, т.е. по уровню индикатора в базисном году и относительной величине индикатора в текущем году, а также прослежены изменения в выделенных группах регионов с использованием данных за 2000-2006 гг. В результате все регионы РФ были подразделены на следующие группы:

1) регионы, в которых темп роста реальных доходов выше среднероссийского и абсолютная величина среднедушевых денежных доходов также выше среднероссийского уровня (Московская область, Республика Коми, Пермский край). Следует отметить, что в течение анализируемого периода эту группу покинули Тюменская область, включая Ханты-Мансийск, Чукотский АО, где темпы роста стали ниже, чем в среднем по России, при сохраняющейся высокой абсолютной величине доходов. В то же время группу пополнили такие активно развивающиеся регионы как Московская область и Пермский край, для которых были характерны исключительно высокие темпы роста реальных доходов – соответственно 131,0 и 121,0% против 114,0% в среднем по России [4, с.120-121];

2) регионы, в которых при абсолютной величине дохода ниже среднероссийского уровня темп роста реальных доходов был ниже, чем в среднем по России. Следует отметить, что в этой группе «аутсайдеров» в течение рассматриваемых пяти лет произошли определённые изменения: осталась в этой группе лишь Республика Мордовия с темпом роста реальных денежных доходов – 107,0%. Многие регионы Центра России, сохраняя невысокие доходы по абсолютной величине, имели значительные темпы роста реальных доходов, превышающие средние по стране, и переместились в четвёртую группу. И, наоборот, из четвертой группы во вторую группу регионов перешли Брянская и Орловская области, в которых темпы роста реальных доходов составили соответственно – 113,7 и 112,0%;

3) регионы, где при абсолютной величине дохода выше среднероссийского, темпы роста были ниже среднероссийского (г. Москва, Самарская область, г. Санкт-Петербург). Эта группа регионов осталась почти без изменений. Отметим, что Хабаровский край переместился в первую группу, а в г. Санкт-Петербурге имел место минимальный по стране темп роста реальных доходов – 102,0%;

4) регионы, в которых при абсолютной величине доходов ниже среднероссийского, темпы роста реальных доходов были выше среднероссийского уровня. Эту группу дополнили Ивановская, Калужская, Костромская, Курская, Ульяновская области. Сохранили своё положение в ней Белгородская и Воронежская области.

В начале XXI века появились симптомы некоторого сближения регионов по социальным параметрам, хотя этот процесс находился в начальной стадии и не был до конца определён. В конце рассматриваемого периода положительным фактом явилось расширение четвёртой прогрессирующей группы регионов за счёт сокращения второй группы. Таким образом, можно констатировать, что если в 90-е годы XX века имела место ярко выраженная дивергенция душевых доходов в регионах, то в настоящее время наблюдается тенденция к сближению региональных уровней доходов при сохранении все еще значительных различий между ними по абсолютной величине.

Если рассмотреть ситуацию на уровне федеральных округов, то можно отметить следующие моменты. В Центральном федеральном округе средние доходы были выше, чем в целом по России, а темп роста реальных доходов совпадал со среднероссийским уровнем. В ряде округов (Северо-Западный, Уральский, Дальневосточный) среднедушевые доходы были выше, чем среднероссийский уровень, а темп роста реальных доходов ниже. В некоторых округах (Южный, Приволжский) средние доходы были ниже, чем в целом по России, но темпы роста реальных доходов были более высокими. И лишь в Сибирском федеральном округе средние доходы и темпы реальных доходов отмечались ниже уровня РФ.

Проследим динамику денежных доходов населения в Приволжском федеральном округе и его территориальных составляющих. В этом федеральном округе в 2006 г. самые высокие доходы были характерны для Самарской области – 144,3% от среднего уровня по округу и Пермского края – 137,5%. Денежные доходы выше среднего уровня имели место в Республиках Башкортостан и Татарстан – соответственно 111,5 и 117,3%. В Нижегородской области величина среднедушевого дохода практически совпадала со средним уровнем по округу – 100,3%, минимальная величина среднедушевых доходов отмечалась в Республике Марий Эл – 61,5%. Саратовская область занимала десятое место в Приволжском федеральном округе, с показателем – 76,8%.

Можно сделать вывод о том, что темпы роста реальных доходов в среднем по округу, начиная с 2005 года, стали обгонять темпы роста реальных доходов в целом по стране. При этом наибольшие показатели отмечались в Республике Марий Эл – 132,0%. Высокими темпами росли реальные доходы – в Ульяновской области (120,0%), Чувашской Республике (126,0%), Удмуртской Республике (121,0%), – в основном в регионах, имеющих невысокие абсолютные значения этого параметра.

К сожалению, в Саратовской области темпы роста анализируемого показателя замедлились и стали ниже, чем в среднем по округу, на 5,0 п.п. В целом в Приволжском федеральном округе наблюдалась позитивная динамика денежных и реальных доходов населения.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что в начале нового века ситуация с межрегиональным неравенством социальных параметров несколько улучшилась по сравнению с серединой 90-х годов XX века, появились позитивные тенденции, способствующие сокращению различий в показателях уровня жизни. Имеет место направленность на сглаживание различий в уровне располагаемых ресурсов домашних хозяйств, денежных и реальных доходов между федеральными округами в целом, однако внутри федеральных округов иногда можно отметить процессы нарастания различий между этими параметрами. Всё это свидетельствует о необходимости активизации государственной региональной политики, способствующей выравниванию уровней жизни населения по территории страны, особенно в современных условиях мирового финансового кризиса.

В регионах России наблюдается различный уровень дифференциации доходов населения. Наибольшая неравномерность распределения доходов имеет место в регионах с высо-

ким уровнем экономического развития. Так, для Москвы индекс Джини составил в 2007 г. 0,557 против 0,422 в целом по стране. При этом коэффициент фондов, характеризующий степень поляризации доходов, равнялся 41,7 раза против 16,8 в целом по стране. В Самарской области индекс Джини составил 0,452, в Саратовской области – 0,364. Самые низкие значения этого параметра наблюдались в Ивановской области (0,335) и Тверской области (0,342) [5, с.149-150]. При этом наибольшая доля бедного населения имеет место в менее экономически благополучных регионах. Если в Москве доля бедного населения составляет 12,6%, то в Ивановской области – 31,9%. Наибольшие значения этого параметра были характерны для Калмыкии – 44,0% и Республике Ингушетия – 41,0% [5, с.157-158].

Неравномерность распределения доходов населения является неотъемлемым атрибутом рыночной экономики, взаимовлияние этого процесса и экономического роста изучается экономистами на протяжении уже многих лет. Ещё в 1955 г. Саймоном Кузнецом была выдвинута знаменитая гипотеза, в соответствии с которой на разных этапах развития страны экономический рост воздействует на распределение доходов различным образом. Согласно этой гипотезе, в начале экономического роста неравенство возрастает, а затем оно начинает убывать, поэтому график зависимости индекса неравенства от уровня продуктивности экономики имеет форму перевёрнутой буквы «U». Экономическая интерпретация этого графика следующая. Сначала при очень низком среднем уровне доходов их распределение является более или менее равномерным. Экономический рост сопровождается усилением неравенства, прежде всего, из-за ускорения урбанизации с её относительно более высокими заработками наёмных работников и доходами предпринимателей. Но по мере дальнейшего развития совокупный доход страны повышается настолько, что позволяет государству перераспределять часть его через бюджет в пользу малоимущих и сокращать разрыв между бедными и богатыми [6, с.4]. Такая закономерность была обнаружена С. Кузнецом в период индустриализации в развитых странах, которая сопровождалась массовой миграцией рабочей силы из сельского хозяйства в промышленность. Эта гипотеза долгое время находила эмпирическое подтверждение. Так, группа французских экономистов, изучив данные по 39 развивающимся странам, показала, что неравномерность распределения доходов по квинтелям и децилям возрастает с увеличением среднего (по стране) подушевого дохода до 300-500 долларов в год, затем стабилизируется, а, начиная со среднего дохода в 700 долларов постепенно снижается [7, с.3]. Однако в период с 60-х годов XX века до сегодняшнего времени механизмы, связывающие неравенство с экономическим ростом, утратили былую однородность и приобрели совершенно иной и более сложный характер, при котором эта связь перестала быть столь прогнозируемой [8, с.31].

Со временем выяснилось, что вопреки гипотезе С.Кузнецца экономический рост даже в самых бедных странах необязательно ведёт к углублению неравенства их жителей, таким образом, экономический рост является не злом, а благом для беднейших слоёв общества, что доказывается в работах Д. Доллара, Э. Дитона, Ф. Бургиньона, К. Морриссона и других.

Исследования отечественных учёных, прежде всего, А.Шевякова и А.Кируты свидетельствуют о том, что по совокупности данных о российских регионах гипотеза С.Кузнецца статистически опровергается. В то же время данная гипотеза, переформулированная в терминах нормального неравенства по совокупности данных о российских регионах статистически подтверждается. По мнению учёных, необходимо подразделение общего неравенства на две составляющие: нормальное и избыточное неравенство. При этом под нормальным неравенством понимается неравенство, характеризующее распределение доходов среди слоёв населения, активно вовлечённых в экономические процессы; под избыточным неравенством понимается неравенство, обусловленное низкими доходами тех слоёв населения, которые не оказывают существенного влияния на макроэкономические изменения, т.е. это бедные или малообеспеченные слои населения, которые живут за счёт социальных трансфертов или заняты в тех отраслях экономики, где отмечаются низкие доходы.

Рассмотрим, каким образом трансформируется взаимосвязь экономического роста и неравенства в регионе (на примере Саратовской области) в условиях переходной и рыночной экономики применительно к агропродовольственному комплексу. В 1990-2006 гг. темпы роста продукции сельского хозяйства не отмечались устойчивостью. С 1990 по 1998 гг. наблюдалось снижение темпов роста по сравнению с предыдущим годом. Начиная с 1999 г., появилась положительная динамика в производстве продукции сельского хозяйства. При этом коэффициент фондов по доходам в сельской местности менялся следующим образом. В 1999 г. он составил 13,1 раза (в городе 9,9), на следующий год увеличился до 19,5 раза (в городе 10,6). Заметим, что именно в этом году наблюдался наиболее высокий темп роста продукции сельского хозяйства в Саратовской области. В 2001 г. имело место резкое снижение коэффициента доходов до 12,2 (в городе – 8,1). В 2004 г. вновь произошло увеличение этого параметра до 13,9, и на следующий год он уменьшился до 13,5 раза. Опираясь на приведенные данные, можно сделать вывод о том, что на этом отрезке времени в сельской местности региона гипотеза С. Кузнецца статистически не подтверждалась.

Неравенство доходов определяется институциональной организацией экономики в значительно большей степени, чем факторами производства [9, с.25]. Оно складывается в зависимости от распределения и условий действия прав владения, распоряжения и управления, т.е. от состояния и развития институциональной среды. Следует отметить, что в развитых странах созданы институты государственного перераспределения доходов, которые компенсируют рыночное неравенство. Это обусловлено пониманием того, какие социальные предпосылки необходимы для устойчивого долговременного роста экономики. К сожалению, в России институты, обеспечивающие совокупность условий, необходимых для успешного функционирования рыночной экономики, развиты недостаточно. Проводимое реформирование социальной сферы заменяет подчас формирование необходимых институтов коммерциализацией данной сферы.

Одной из важнейших целей социальной политики должно быть уменьшение расслоения общества путём преодоления избыточного неравенства, выравнивания уровня жизни в различных регионах страны. Среди эффективных инструментов социально-экономического механизма регулирования дифференциации – совершенствование политики доходов и налогообложения, переход от прожиточного минимума как официальной черты бедности к минимальному потребительскому бюджету, развитие форм социальной защиты населения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фенько А. Расслоение личностей / А. Фенько // Коммерсантъ Власть. 2001. 12 июня. С. 46.
2. Bhalla S. Imagine there's no Country: Poverty, Inequality and Growth in the Era of Globalization / S. Bhalla // Wash. Institute of International Economics. 2002. P. 45-49.
3. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики: учебник для вузов / А.Г. Гранберг. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 495 с.
4. Социальное положение и уровень жизни населения России. 2007: стат. сб. / Росстат. М., 2007. 505 с.
5. Социальное положение и уровень жизни населения России. 2008: стат. сб. / Росстат. М., 2008. 502 с.
6. Kuznets S. Economic Growth and Income Inequality / S. Kuznets // American Economic Review. 1955. № 1. P. 1-28.
7. Шишков Ю. Глобальная дивергенция подушевых доходов: некоторые вопросы методологии / Ю. Шишков // Мировая экономика и международные отношения. 2006. № 3. С. 2-10.
8. Шевяков А. Измерение экономического неравенства / А. Шевяков, А. Кирута. М.: Лето, 2002. 320 с.

9. Шевяков А. Снижение избыточного неравенства и бедности как фактор экономической динамики и роста инновационного потенциала России / А. Шевяков // Общество и экономика. 2006. № 11-12. С. 21-28.

**Решетникова Наталия Владимировна** –  
научный сотрудник  
Института аграрных проблем  
Российской академии наук, г. Саратов

**Reshetnikova Natalya Vladimirovna** –  
Scientific Officer  
of the Institute of Agrarian Problems  
of Russian Academy of Sciences, Saratov

*Статья поступила в редакцию 22.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 338

**К.М. Семёнов**

### **КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ КАК ФАКТОР ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ**

*Рассмотрены проблемы устойчивого экономического развития территории на основе приоритетного решения проблем качества жизни населения с использованием надежной системы критериев, показателей и параметров оценки в системе регионального управления.*

Качество жизни населения, региональная политика, инвестиционная привлекательность территории, конкурентоспособность и устойчивость развития региона, инвестиционный потенциал, стимулирование инвестиционной деятельности.

**К.М. Semyonov**

### **POPULATION LIFE QUALITY AS A FACTOR OF A TERRITORY'S INVESTMENT ATTRACTIVENESS**

*The problems of a territory's sustainable economic development based on the priority solution of the population's life quality problems with implementation of a reliable system of criteria, indices and evaluation parameters in the system of regional management are given in this article.*

Population's life quality, regional policy, territory's investment attractiveness, region's competitiveness and sustainable development, investment potential, investment activity stimulation.

Задача повышения темпов экономического развития регионов, а также возрастающие общественные потребности обуславливают необходимость разработки нового подхода к привлечению инвестиций в экономику региона на основе совершенствования региональных систем управления качеством, как комплексного процесса, затрагивающего все составляющие понятия «качество» – от качества жизни населения до экономической, социальной и экологической безопасности конкретной территории.



Достижение поставленной задачи возможно путем привлечения инвестиций в реальный сектор экономики. Объем и темп роста инвестиций в основной капитал являются индикаторами инвестиционной привлекательности региона. Повышение инвестиционной привлекательности способствует дополнительному притоку капитала, экономическому подъему. Инвестор, выбирая регион для вложения своих средств, руководствуется определенными характеристиками: инвестиционным потенциалом и уровнем инвестиционного риска, взаимосвязь которых и определяет инвестиционную привлекательность региона.

В современной российской практике в настоящий момент не определена конкретная методика оценки инвестиционной привлекательности регионов, поэтому в последнее время стали все чаще появляться различные методики расчета показателей инвестиционной привлекательности.

Иностранные инвесторы ориентируются на оценки многочисленных консалтинговых фирм (рейтинговых агентств), регулярно отслеживающих состояние инвестиционной привлекательности во многих странах мира, в том числе и в России, на основе использования рейтинговых оценок<sup>1</sup>.

Заслуживает внимания подход, оценивающий инвестиционную привлекательность территории на основе анализа инвестиционного потенциала и определенных типов риска: экономического, финансового, политического, социального, экологического, законодательного [1].

Вместе с тем, как представляется, одним из ключевых показателей инвестиционной привлекательности в настоящий момент необходимо рассматривать показатель качества жизни в его широком значении (от качества труда, работы и продукции до качества образования, здравоохранения, культуры, качества технической инфраструктуры), анализ которого и позволит оценить уровень социально-экономического развития территории.

Социально-экономическая ситуация в регионах РФ, в том числе и в Саратовской области, предопределяет необходимость приоритетного решения проблем качества жизни населения на основе надежной системы критериев, показателей и параметров оценки, позволяющих органам государственной власти более эффективно и результативно управлять процессами формирования, обеспечения и повышения качества жизни населения в регионах.

Под качеством жизни населения региона следует понимать степень развития и полноты удовлетворения всего комплекса потребностей и интересов людей, комфортности общественной и природной среды для жизни и деятельности человека на конкретной территории, определяющего уровень благосостояния, социального, духовного и физического здоровья человека.

Переход от стратегии выживания к стратегии конкурентоспособности и устойчивости развития, повышения качества жизни населения необходимо рассматривать в числе основных задач, стоящих перед региональными органами власти Саратовской области. Поэтому в инвестиционной политике области акцент следует делать на поиск новых резервов и факторов устойчивого развития и конкурентоспособности, уделяя при этом особое внимание инвестиционной привлекательности области, поддержке инновационной деятельности, реализации крупных инвестиционных проектов.

Основной целью инвестиционной политики Саратовской области по проблеме качества жизни должно стать стимулирование притока инвестиций в региональную экономику для увеличения выпуска высококачественной и конкурентоспособной продукции и услуг, обеспечения более высокого качества жизни населения области.

В последние годы значительно вырос общий уровень инвестиционного потенциала Саратовской области. По оценкам отдельных рейтинговых агентств, область входит в число наиболее инвестиционно привлекательных регионов РФ. Необходимо отметить позитивные тенденции в области. Объем инвестиций в основной капитал за 2005-2007 годы увеличился в 2,5 раза. Высокие темпы роста сохранились и в прошедшем году. По итогам 2008 года объем

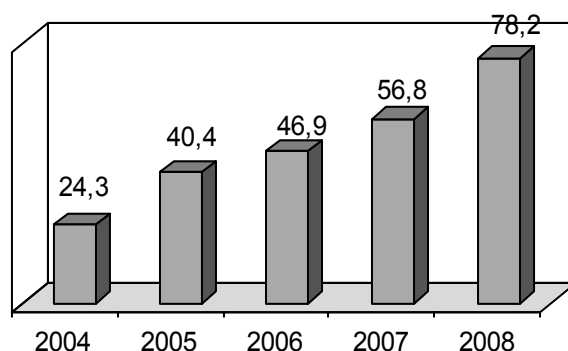
<sup>1</sup> Сайт «Инвестиционный менеджмент» (<http://investment2.ru>).

инвестиций в основной капитал оценивается в объеме 78,2 млрд. рублей, что составляет 118,3% к уровню 2007 года [2] (см. рисунок).

Среди мер, направленных на стимулирование инвестиционной активности хозяйствующих субъектов области в направлении повышения качества жизни, реализации качественной инвестиционной политики и качественного инвестиционного управления, следует отдельно выделить следующие:

- реализация крупных инвестиционных проектов в разных секторах экономики области;
- внедрение механизмов государственно-частного партнерства с помощью использования концессионных соглашений, средств Инвестиционного фонда РФ, венчурных фондов, бизнес-инкубаторов, технопарков, центров трансфера технологий, института особых экономических зон.

В область пришли крупные инвесторы, создающие сети торговых организаций различных форматов, супер- и гипермаркеты и т.д.



Динамика инвестиций в основной капитал на территории Саратовской области за 2004-2008 гг., млрд руб.

Закрепленный в Стратегии развития области рост уровня благосостояния населения и повышения качества жизни во многом определяется ростом доходов населения и инвестированием в образование, здравоохранение, жилищно-коммунальное хозяйство.

В числе важнейших социальных проектов, реализуемых на территории Саратовской области, является проект компании «Fresenius Medical Care Deutschland GmbH» (Германия). Проектом предусматривается создание диализного центра на 40 мест для лечения от 150 до 250 пациентов с хронической почечной недостаточностью. В результате реализации проекта станет возможным проведение до 37500 диализных процедур в год при 3-сменном режиме работы центра. Количество пациентов на диализе планируется поэтапно увеличить до 300 человек.

Примером социально значимого проекта является также инвестиционный проект компании «Пересвет-Регион» (г. Москва) по комплексной застройке микрорайона № 1 Новосоловогорского жилого района в г. Саратове.

Показатель «качество жизни» в данном проекте определяется подходом компании к его реализации, предполагающим строительство жилья, полностью укомплектованного объектами социальной инфраструктуры, детскими дошкольными учреждениями, общеобразовательной школой, физкультурно-оздоровительным центром, предприятиями торговли и социального обслуживания населения.

Так, компания планирует строительство двух детских садов, которые одновременно смогут принять до 600 детей, школы, рассчитанной на 1500 учащихся, торгово-развлекательного комплекса, детских и спортивных площадок и прочих объектов социального назначения, а также подземных и наземных паркингов для жителей микрорайона и их гостей.

Последовательная реализация региональной инвестиционной политики, направленной на повышение качества жизни населения области, будет способствовать созданию дополнительных рабочих мест, увеличению поступления налогов в бюджеты всех уровней, повышению благосостояния, улучшению социальных условий и характера труда, росту потребления материальных благ и услуг.

По мнению автора, повышение качества управления инвестиционной деятельностью в регионе необходимо осуществлять на основе маркетинговых исследований и региональных стратегических маркетинговых программ, концепции регионального маркетинга, инвестиционного проектирования и бизнес-планирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и методы оценки любых активов / А. Дамодаран. М.: Альпина Бизнес Бу, 2004. 246 с.

2. Доклад Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области «Социально-экономическое положение Саратовской области, январь-декабрь 2008 года».

**Семёнов Кирилл Михайлович** –  
кандидат экономических наук, доцент,  
министр инвестиционной политики  
Саратовской области

**Semyonov Kirill Mikhaylovich** –  
Candidate of Science in Economics,  
Assistant Professor, Investment Policy  
Minister of Saratov Region

*Статья поступила в редакцию 10.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 338

**К.М. Семенов**

#### **ПОВЫШЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ**

*Рассмотрены проблемы устойчивого экономического роста территории на основе построения комплексной системы управления качеством.*

Управление качеством, инвестиционные проекты, инвестиционное проектирование, инвестиционная политика, конкурентоспособность, управление инвестиционной деятельностью.

**К.М. Semyonov**

#### **TERRITORY'S INVESTMENT ATTRACTIVENESS INCREASE BASED ON THE IMPROVEMENT OF THE REGIONAL SYSTEMS OF QUALITY AND COMPETITIVENESS MANAGEMENT**

*The author studies the problems a territory's sustainable economic growth based on the establishment of an integrated quality management system.*

Quality management, investment projects, investment planning, investment policy, competitiveness, investing activities management.

Повышение инвестиционной привлекательности справедливо принято относить к числу важнейших факторов экономического развития территории. При этом понятия «инвестиционный климат», «инвестиционная привлекательность», «конкурентоспособность территории» отражают качество экономического развития, а также степень благоприятности ситуации, складывающейся в той или иной стране (регионе, отрасли), по отношению к инвестициям, которые могут быть направлены на её развитие.

Качество необходимо рассматривать как комплексное понятие, характеризующее эффективность всех элементов системы регионального управления: разработка стратегии регионального развития, организация производства, уровень социального развития территории и др.

Качество труда, работы и продукции, равно как и качество жизни населения, находится в непосредственной зависимости от развития инновационной деятельности, реконструкции, модернизации и обновления региональной экономики, её инвестиционной привлекательности. При этом именно обеспечение высокого уровня качества жизни является конечной целью любых усилий в системе регионального управления и важнейшей предпосылкой поддержания и повышения конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности территории.

Совершенствование управления качеством необходимо осуществлять на основе мобилизации инвестиционных ресурсов и резервов в рамках государственной политики и роста государственных инвестиций в качество. При этом целесообразно повысить эффективность управления качеством инвестиционных проектов, используя методологию «Шесть сигм» (DMAIC), включающую реализацию последовательных этапов поиска и принятия решений: Постановка задачи (Define); Измерения (Measure); Анализ (Analyze); Контроль (Control). Завершающим этапом является анализ результативности проектов.

В системе инвестиционного управления качеством следует различать три вида инвестиционных проектов – производные, базовые и проекты прорывного характера. Производные, или деривативные инвестиционные проекты преследуют цель создания удешевленных версий выпускаемой в области продукции (услуг) или их дополнения некоторыми новыми улучшенными свойствами. К проектам прорывного характера относятся коренная переработка выпускаемой продукции и существующих процессов, создание новых поколений продукции, принципиально отличающихся от предыдущих, революционная перестройка производства.

Базовые или платформенные проекты связаны с более существенными изменениями производимой продукции, исключающих применение новых, неапробированных технологий или материалов.

На успешное решение проблемы качества в соответствии с «Концепцией государственного контроля качеством» значительное влияние оказывает «инвестиционный климат в области», отражающий степень благоприятности ситуации, складывающейся в регионе по отношению к потенциальным инвестициям, а также риски их реализации.

К числу факторов, определяющих качество инвестиционного проектирования, можно отнести: квалификацию и мобильность трудовых ресурсов (качество рабочей силы); макроэкономические показатели; качество государственного и корпоративного управления; добросовестность контрагентов по исполнению контрактов; качество налоговой системы и уровень налогового бремени; качество банковской системы и других финансовых институтов; качество объектов инфраструктуры; качество природных ресурсов и состояние экологии и др.

Инвестиционная политика в отношении рассматриваемых факторов состоит в том, чтобы системно и комплексно поэтапно управлять ими в направлении улучшения общеэкономической ситуации.

В рамках реализации региональных программ «Качество» на основе инвестиционного управления предполагается осуществлять следующие приоритетные направления:

- селекция и инициирование инвестиционных проектов, ориентированных на совершенствование системы управления качеством в перспективных отраслях экономики региона и взаимодействие с целевыми инвесторами;
- создание благоприятной среды для развития и привлечения инвестиций в развитие систем управления качеством;
- целевая подготовка и переподготовка специалистов предприятия и администраций регионов в области менеджмента качества;
- институциональные мероприятия, обеспечивающие инновационный характер и мультипликативные эффекты повышения качества и его устойчивости и др.

**Семёнов Кирилл Михайлович** –  
кандидат экономических наук, доцент,  
министр инвестиционной политики  
Саратовской области

**Semyonov Kirill Mikhaylovich** –  
Candidate of Science in Economics,  
Assistant Professor, Investment Policy  
Minister of Saratov Region

*Статья поступила в редакцию 10.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 001.895

**Л.О. Сердюкова**

### **ПРОБЛЕМЫ ТИПИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ (РИС)**

*Определен комплекс факторов, влияющих на тип региональных инновационных систем (РИС). Сформулирована группа базовых принципов построения эффективной РИС в России. Рассмотрены типы РИС, и дано дополнительное обоснование необходимости формирования смешанно-сетевых РИС. Дополнены функции государства по формированию РИС.*

Региональная инновационная система, локализация, инновация, инновационная активность, функции и методы государственной поддержки.

**L.O. Serdyukova**

### **REGIONAL INNOVATION SYSTEMS TYPIFICATION PROBLEMS (RIS)**

*The complex of the factors influencing type of the FIG is defined the group of base principles of construction effective RICE in Russia is formulated here. Types RICE are considered, and the additional substantiation of necessity of formation of mixed-network FIG is given state functions on FIG formation are added*

## Regional innovation systems, the localization, the innovation, innovations activity, the function and methods of state support.

Важнейшей составляющей развития экономики страны является создание региональных инновационных систем, являющихся составными частями общей инновационной системы страны. Для этого нужно обеспечить тесное взаимодействие центральных и региональных систем управления инновационным развитием, следует направить значительные усилия на создание межрегиональной сети для обмена информацией, опытом и для координации усилий.

Возникновение различных типов региональных инновационных систем связано не только с особенностями природного, исторического, демографического характера, но и с неравномерностью социально-экономического развития отдельных территорий, которая стала особенно ощутима в связи с повсеместным распространением современных информационных технологий, телекоммуникаций и средств транспорта.

Экономические аспекты глобализации выдвигают на первый план локализацию, так как выживание в условиях развивающейся глобальной экономики все в большей степени зависит от инновационности и квалификации людей, их умений и талантов и от институтов, имеющих на местном уровне. Локализация уравнивает глобализацию, она раскрывает местное разнообразие и креативность.

Под локализацией обычно понимается процесс использования экономического потенциала географически очерченного региона (в рамках страны) или даже крупного города для того, чтобы успешно осуществлять инновации и совместно конкурировать посредством взаимосвязанных сетей и альянсов.

Особенности экономической локализации привели к возникновению различных типов региональных инновационных систем, особенно типов региональных инновационных кластеров как районов высоких технологий, сформированных на основе межфирменных связей в рамках определенного региона и «гибкой специализации» с целью снижения транзакционных издержек, использования местной отраслевой среды и культуры, повышения инновационного потенциала.

На тип региональных инновационных систем в наибольшей степени влияют формы и характер межфирменных связей, которые, в свою очередь, зависят от следующих факторов:

- размер территории;
- особенности исторического развития;
- природные ресурсы;
- государственное регулирование;
- доминирующие формы предпринимательской деятельности.

Кроме этих факторов на тип региональной инновационной системы оказывают сильное влияние различные институты, связанные с новыми научными знаниями и технологиями. Формальные и неформальные отношения и механизмы сотрудничества в создании и использовании инноваций могут обеспечить эффективность рынка и низкие транзакционные издержки в партнерстве и кооперации.

Современное формирование и развитие концепции региональных инновационных систем отражает переход от линейного (цепочка «наука – производство – потребление») к системному инновационному процессу. На практике это привело к фокусированию внимания на институтах и их взаимодействии в региональных инновационных системах.

При формировании типа региональной инновационной системы учитываются особенности инновационных стратегий основных участников инновационного процесса в определенном регионе. При этом дополнительно учитываются особенности национальной инновационной системы не только своей страны, но и стран - потенциальных партнеров.

На характер взаимодействия институтов в региональных инновационных системах оказывает существенное влияние развитие технологических, производственных и организа-

ционных компетенций из-за возможности появления потенциальных конкурентов в сфере новых продуктов и технологий, необходимости освоения опыта совершенствования управления инновациями на уровне корпораций и региона. При этом обучение посредством зарубежного опыта предполагает наличие сложных, разветвленных, не всегда рыночных взаимодействий, возникающих в рамках неформальных профессиональных ассоциаций в инновационной сфере. Новые знания стали рассматриваться как источник инновационных преимуществ не только страны, но и региона.

«Инновационная специализация» региона определяется во многом рамками межотраслевых территориальных комплексов, в которых она существует.

Различия между регионами в области научной и технологической политики влияют на характер и направление инновационной деятельности в регионе. Уровень и динамика поддержки научных исследований, малого инновационного предпринимательства существенно различаются по регионам внутри страны. Научные исследования и разработки непосредственно связаны с инновационной активностью, но не тождественны с ней. Доля ВВП, расходуемая на науку, представляет собой несовершенный индикатор инновационной деятельности, но этот показатель конкретен, информация о его значениях доступна, на его основе удобно анализировать страновые различия.

Лидерство по уровню затрат на научные исследования не обязательно приводит к лидерству в инновационной активности. Можно быть лидером в научно-исследовательской активности и аутсайдером в инновационной активности. И, наоборот, без лидерства в научно-исследовательской активности быть лидером в инновационной активности, хотя последнее является кратковременным лидерством без реагирования на технологические изменения. При этом отношение крупных корпораций региона к поддержке научной деятельности не связано непосредственно с промышленной специализацией и отраслевой структурой, это связано с переливом капитала в сферу высокодоходной инновационной деятельности при стабилизации доходности на низком уровне в традиционных бизнесах.

Тип региональной инновационной системы, в рамках которой функционирует фирма, влияет и на уровень, и на направление ее инновационной активности. Выделяются значимые на региональном уровне факторы, влияющие на формы инновационной активности:

- основные региональные институты инновационной деятельности;
- компетенции региональных институтов, особенно в сфере организации управления инновациями у региональных властных и бизнес-элит;
- рыночные мотивации и ограничения, с которыми сталкиваются институты из-за особенностей регионального рынка инноваций.

Спросовые ограничения на региональном рынке инноваций, условия ценообразования на новые продукты и технологии влияют на уровень и характер инновационной активности участников рынка, на стремление к освоению других региональных рынков.

Мотивации со стороны спроса на региональном рынке инноваций часто стимулируют создание инноваций, особенно если фирмы ориентированы на конечного потребителя. Характеристики инвестиционной привлекательности региона формируют инновационные возможности для поставщиков нового оборудования и материалов. Здесь компетенция в управлении инновациями формируется посредством накопления опыта проектирования, создания и эксплуатации нового оборудования.

Инновационная активность участников регионального рынка инноваций связана и с уровнем конкуренции на нем. Сами по себе факторы спроса не всегда создают достаточные мотивации для инновационной деятельности. И эмпирические, и статистические данные показывают, что чаще всего деятельность конкурентов вынуждает фирмы заниматься инновационной деятельностью.

Рыночные мотивации спросом и конкуренцией не могут инициировать реальную инновационную деятельность, если фирмы и их специалисты не в состоянии эту деятельность

осуществлять. Необходимым условием является наличие достаточных компетенций как у отдельной фирмы, так и у региональных бизнес-ассоциаций и властных структур региона. При этом квалификация специалистов на региональном уровне связана и с общими особенностями и традициями системы образования и науки региона.

Региональные особенности науки формируют исследовательские компетенции как важный фактор технологического развития фирм. Научные подразделения крупных фирм стремятся сотрудничать с научными учреждениями (особенно с университетами), расположенными в том же регионе, именно к ним, прежде всего, обращаются фирмы. При этом исследовательские компетенции зависят от уровня развития научных исследований в регионе, от инвестиций в инновационную сферу, особенно от инвестиций в науку.

Различия в региональных исследовательских и производственных компетенциях как характеристиках типа региональных инновационных систем приводят к тому, что менеджеры в различных регионах страны стремятся найти именно те сферы и области инновационной деятельности, в которых они могут в большей степени рассчитывать на поддержку своей инновационной активности со стороны внешней среды региона.

Образовательные, исследовательские, технологические и производственные, управленческие компетенции трансформируются со временем в новые области деятельности и продукты. Во всех случаях региональное инновационное развитие опиралось на традиционно лидирующие в регионах сферы деятельности, аккумулируя их технологические преимущества. Таким образом, происходило постепенное формирование и усиление региональной и корпоративной компетенции в сфере управления инновациями. Инвестиции фирм в технологии и связанные с ними научные исследования и подготовку кадров в университетах косвенно способствуют и развитию исследований в сопряженных сферах деятельности.

С помощью этих компетенций инновационные фирмы региона могут быстро и эффективно преодолевать технологический разрыв, отделявший их от мировых лидеров, несмотря на неразвитость науки, технологическую отсталость и отсутствие внутреннего спроса на инновационные продукты.

Инновационная политика в регионе должна быть направлена на формирование общего благоприятного экономического климата, что выражается в поддержке инновационной ориентации фирм, общего и специального образования, ориентированного на потребности промышленности, в обеспечении стабильной региональной экономики, поддержке государством освоения зарубежных технологий.

Инновационное поведение фирм существенно зависит от компетенций менеджеров и от того, как действия последних оцениваются и воспринимаются (поощряются или нет). В различных регионах используются разные методы оценки и восприятия, зависят они от принятой системы корпоративного управления, т.е. от формы контроля и управления корпоративной собственностью.

В широком смысле принято выделять две системы, в одной (атлантическая система) собственность и контроль (акционеры и менеджеры) разделены, их активное взаимодействие осуществляется посредством фондового рынка. Поскольку акционеры имеют ограниченную информацию о внутренних процессах, происходящих в фирме, собственниками которой они являются, важной мотивацией для них служит уровень дивиденда, зависящий от прибыли в краткосрочном периоде, т.е. во многом и от квалификации менеджеров. В то же время в рамках этой системы более эффективно организованы процессы привлечения ресурсов для финансирования принципиально новых возможностей. В долгосрочном периоде производительность фирм остается невысокой. Успешная инновационная активность фирм во многом определяется не действиями властных структур непосредственно, а быстро меняющимся состоянием фондового рынка.

В рамках другой модели (континентальная система) традиции корпоративного управления таковы, что основные экономические субъекты, взаимодействующие с фирмой, такие



как поставщики, банки, потребители, имеют возможность получать более подробную информацию о технологических и познавательных компетенциях фирмы и, соответственно, оценивать ее инновационный потенциал. При этом зрелые фирмы более склонны к инвестированию в научные исследования и разработки. В долгосрочном периоде производительность фирм остается высокой. Успешная инновационная активность фирм во многом определяется действиями властных структур непосредственно, а не быстро меняющимся состоянием фондового рынка.

Таким образом, особенности любой региональной системы проявляются в:

- большей или меньшей роли государства и частного сектора в инновационной деятельности;
- роли крупного и малого бизнеса;
- соотношении фундаментальных и прикладных исследований;
- отраслевой структуре инновационной деятельности.

Центральное место в данном перечне занимает первый фактор, можно сказать, что в российских условиях он имеет ключевое значение.

Подытоживая опыт формирования региональных инновационных систем (РИС) в странах с рыночной экономикой, а также советский опыт управления научно-техническим прогрессом, можно выделить три типа таких систем:

- рыночно-сетевая РИС – классическая рыночная, неиерархическая, сетевая (в терминологии информационной эпохи);
- административно-командная РИС – классическая нерыночная или этатистская, иерархическая, несовместимая с сетевыми рыночными отношениями [1];
- смешанно-сетевая РИС – постклассическая рыночная, неиерархически-сетевая, основанная на партнерско-паритетном взаимодействии государства и частных структур в инновационных процессах, особенно на государственно-частном партнерстве.

Ядро административно-командной РИС образует совокупность организаций, действующих централизованно-иерархически с целью развития инновационных процессов в регионе. Но как только такие организации в условиях России становятся основой РИС, тотчас возрождаются командно-административные методы. Их утверждение ведет к подмене целей: основной целью становятся самосохранение организаций и повышение их статуса, а инновации рассматриваются лишь как средство достижения этой цели. Поэтому принципиально важно уяснить, что суть сетевой инновационной системы состоит не в совокупности организаций, это совокупность институционализированных мотивов, правил и стратегий деятельности, направленной на развитие инноваций.

Реализуются мотивы, правила и стратегии инновационной деятельности людьми, объединенными в целевые организации. При этом организации выступают не как исходный факт, а как инструмент, с помощью которого осуществляются соответствующие мотивы, правила и стратегии инновационной деятельности. Поэтому сначала требуется определить, легитимно институционализировать сетевую систему и одновременно содействовать появлению, развитию сети соответствующих организаций. Эта сеть должна отвечать требованиям рыночной конкуренции новых продуктов и технологий и противостоять претензиям любых чиновников на доминирование в инновационной системе. Это принципиально важно для смешанно-сетевой системы, в которой участвуют не только частные организации, как в рыночной системе, сетевой по определению, но и государственные организации, тяготеющие к доминированию.

Смешанно-сетевая РИС есть институционализированная сеть мотивов, правил, стратегий деятельности и паритетных взаимодействий государственных, частных и совместных организаций, ориентированная на создание и широкое распространение инноваций. Учитывая технологическую многоукладность народного хозяйства страны, российские РИС, в частности РИС Саратовской области, должны ориентироваться на одновременную иннова-

цию трех технологических укладов – информационного, индустриального и аграрного. При этом формирование смешанно-сетевой РИС означает дальнейшее развитие открытого общества, утверждение в нем качеств гибких сетевых систем, предоставляющих индивидам новые, ранее недостижимые степени свободы. Следствием этого может стать быстрый рост массовой инновационной активности граждан.

Иной эффект дают административно-командные РИС в закрытых обществах традиционного типа и в анклавных территориальных образованиях. Здесь региональная инновационная система подчинена интересам авторитарной местной власти. Ее функционирование не развивает массовую инновационную активность граждан, а становится новым средством их подчинения. Россия в этом отношении находится в двойственной ситуации: участие конкретных территориальных органов власти в становлении РИС может быть паритетно-партнерским, когда РИС используют как новый ресурс социально-экономического развития всей конкретной территории, или же административно-доминирующим, когда РИС используют как новый ресурс сохранения своего господства без комплексного развития всей территории. Имеются предпосылки как для первого, так и для второго вариантов развития РИС.

С одной стороны, российские чиновники традиционно тяготеют к административному командованию бизнесом и наукой, бизнес мало доверяет государству, наука же утратила активный социальный статус – все это способствует становлению административно-командной РИС. С другой стороны, возникли элементы инфраструктуры, ориентированные на утверждение смешанно-сетевой РИС: технопарки, инновационно-технологические центры (ИТЦ), инновационно-промышленные комплексы (ИПК), наукограды, технополисы. В период финансово-экономического кризиса 2008-2009 гг. для оживления инновационной деятельности, преодоления «инновационной апатии» пришло время строить новые российские региональные инновационные системы паритетно-партнерского типа.

Необходимо формировать механизм партнерских взаимоотношений государства с наукой и бизнесом, основанных на равноправии их участников. Партнерские правила должны быть аналогичны партнерству в бизнесе, т.е. юридически паритетны при заключении контракта, а после его заключения отношения партнеров строятся в соответствии с этим контрактом. Возможность такой паритетности нуждается в законодательном закреплении норм правил взаимоотношений между государственными и негосударственными организациями, между чиновниками и членами гражданского общества. Необходим закон о партнерствах с участием государственных органов как одной из стороны партнерства.

Интересный опыт создания РИС демонстрирует проект «Инновационная сеть Поволжья», существующий с 2002 г. Он осуществляется в Приволжском федеральном округе на основе партнерства государственных органов (полпред Президента РФ в федеральном округе и два федеральных министерства), Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Совета ректоров и Координационного совета промышленников и предпринимателей федерального округа. Тогда же учрежден Межрегиональный фонд содействия инновациям (МФСИ), который имеет филиалы в большинстве субъектов Федерации в данном федеральном округе. Одной из главных целей Фонда является реализация пилотного проекта создания РИС Поволжья как модельного сегмента для других регионов. Создается информационная сеть INNOVNET. Совместно с Академией народного хозяйства при Правительстве РФ ведется подготовка инновационных менеджеров. МФСИ включен в состав исполнителей инновационных программ, реализуемых совместно с Британским советом и Европейской комиссией по научно-техническому сотрудничеству [2].

Новый тип региональной инновационной системы должен быть ориентирован не только на генерирование научных идей и их подготовку к практическому применению, но и на доведение этих идей до стадии инновационного продукта с последующей его реализацией потенциальными инвестором и производителем. Увеличение доли инновационных продуктов, реализуемых на месте, будет повышать валовой региональный продукт и инвестицион-

ную привлекательность региона. Действующее федеральное законодательство не акцентирует внимание на таких аспектах инвестиционной политики регионов, но это не противоречит праву субъектов Федерации на опережающее законодательное регулирование данных аспектов в пределах своей компетенции [3].

В конечном итоге, тип российских РИС зависит от политической воли руководящих территориальных органов власти: либо будет взят курс на смешанно-сетевую РИС, которая основана на паритетном партнерстве и уже доказала свою эффективность в различных странах, либо предпочтение будет отдано неэффективной, но удобной для бюрократии административно-командной РИС.

Можно выделить следующие базовые принципы построения эффективной РИС в России:

- обеспечение не административно-командного, а смешанно- сетевого характера РИС;
- законодательное закрепление достойной оценки интеллектуального потенциала работников научных и образовательных учреждений как предпосылки активного их вовлечения в инновационные процессы;
- интенсификация процесса создания РИС субъектов Федерации через ускорение информатизации инновационного пространства страны, потому что РИС тем эффективнее, чем полнее информатизирована инновационная деятельность в регионах.

Реализация этих принципов позволит российским региональным инновационным системам активизировать людей и организации, которые способны создавать и распространять инновации, развивать инновационное предпринимательство в регионах.

Основные различия региональных инновационных систем в Российской Федерации связаны с различной ролью региональной власти в формировании инфраструктуры рынка инноваций и создании благоприятных институциональных условий для инновационной деятельности. При этом необходимость вмешательства государства в региональные инновационные процессы объясняется как их значением для социально-экономического развития региона, так и ограниченностью рыночных механизмов по ряду направлений инновационной деятельности.

Формирующиеся региональные инновационные системы России в большей степени ориентированы на сохранение в них ведущей роли государства, что во многом связано со сложившейся инновационной культурой. При этом от государства необходимы следующие функции в формировании региональных инновационных систем России:

- аккумуляция средств на научные исследования и разработки для прямого их финансирования через федеральный и региональные бюджеты, специальные региональные фонды (научные, инвестиционные, венчурные и др.), через содействие аккумуляции финансовых средств частных, акционерных, общественных, международных структур посредством предоставления госзаказов, налоговых и иных льгот;
- координация инновационной деятельности через содействие со стороны региональных властей кооперации и взаимодействию участников инновационного процесса, формированию регионального технологического пространства страны на основе стандартизации и сертификации;
- стимулирование и поддержка инноваций со стороны государства путем предоставления определенных льгот участникам инновационного процесса: налоговые и таможенные льготы; передача в собственность или аренду земельных участков, зданий, сооружений, интеллектуальной собственности; льготное кредитование и доленое финансирование научно-технических разработок и крупных проектов; включение затрат на НИОКР в себестоимость продукции; ускоренная амортизация научного оборудования, частичное или полное государственное страхование инновационных рисков с учетом установленных требований и санкций в области экологии, эргономики, безопасности продукции и технологий;

- создание правовой базы инновационной деятельности через формирование необходимого законодательства, в том числе по охране прав интеллектуальной и промышленной собственности, создание действующих механизмов, обеспечивающих его соблюдение;
- институциональное обеспечение инновационных процессов через содействие со стороны государства процессу формирования и стабильному функционированию организационных структур создания и внедрения инноваций (научных центров и наукоградов, технопарков, бизнес-инкубаторов и т.д.);
- создание благоприятного инвестиционного и инновационного климата для повышения рейтинга региона и привлечения инвестиций в инновационную сферу, стимулирования международного сотрудничества и кооперации в сфере инноваций;
- формирование инфраструктуры регионального рынка инноваций, когда государство участвует в создании региональных информационных систем как посредник между субъектами регионального рынка инноваций, предоставляет государственные гарантии при заключении сделок, оказывает юридическую поддержку;
- кадровое обеспечение инноваций через утверждение государственных образовательных стандартов способствует достижению сбалансированности универсальных и специальных знаний студентов, формированию у них навыков постоянного самообразования;
- регулирование направленности инноваций при оказании со стороны государства особой поддержки инновациям, обеспечивающим социальную стабильность общества, экологическое равновесие.

Реализуя указанные функции в рамках государственной инновационной политики региона для повышения экономической и социальной эффективности инновационных процессов, региональные властные структуры должны использовать прямые и косвенные методы государственной поддержки инновационной деятельности на уровне региона.

В системе прямого государственного регулирования – использовать финансирование НИОКР и инновационных проектов из бюджетных средств при рациональном софинансировании и выполнении государственных контрактов на НИОКР и инновационную продукцию через механизмы конкурсности в распределении бюджетных средств, обеспечивать правовое регулирование инновационной деятельности.

В системе косвенных методов государственной поддержки инноваций – использовать налоговые льготы (льготное налогообложение прибыли, сокращение налогооблагаемой базы, уменьшение налоговых ставок, вычеты из налоговых платежей, инвестиционный налоговый кредит, «налоговые каникулы», реструктуризация налоговой задолженности, налоговые амнистии, льготное налогообложение дивидендов по акциям инновационных предприятий), механизмы льготного кредитования (льготные по срокам погашения и процентным ставкам кредиты, преференции банкам-кредиторам, субсидирование процентной ставки, госгарантии по кредитным рискам), системы ускоренной амортизации основных фондов.

Выполнение государством перечисленных функций и методов в различной степени отразилось на формировании региональных инновационных систем России с учетом следующих объективных факторов:

1. Наличие отдаленных от центра регионов. При этом, чем больше расстояние от центра, тем меньше возможностей добиться коммерческих результатов за счет политического лоббирования. Отдаленные регионы в большей степени вынуждены полагаться на свои силы и учитывать возможности, предоставляемые региональным рынком, а не конфигурацией политических сил.

2. Существование депрессивных регионов. К инновационной деятельности в большей степени готовы депрессивные регионы. Именно в этих регионах возникает потребность в преодолении кризиса за счет новых технологических решений по снижению затрат или создания принципиально новых товаров и появления новых компаний по их производству при постепенном отмирании тех производств, которые вызвали кризисное состояние, а также по-

требность в освоении новых рынков. В тех регионах, где прежняя структура промышленности способна давать стабильный доход и тем создавать условия экономической и политической стабильности, «склонность к инновациям» будет намного ниже.

3. Существование различий между регионами с точки зрения преобладающей промышленной специализации.

Региональные инновационные системы Российской Федерации только формируются. Сейчас они представляют собой довольно пеструю картину, на которой организационные осколки советской индустрии в виде научно-исследовательских институтов (НИИ), государственных научных центров (ГНЦ), научно-производственных объединений (НПО), научно-технических центров (НТЦ) переплетаются с инновационными подразделениями крупных и средних корпораций, а также с малыми формами наукоемкого бизнеса. Это разнообразие является отражением отечественной специфики и освоения мирового опыта инновационной деятельности в России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Келле В.Ж. Инновационная система России: формирование и функционирование / В.Ж. Келле. М.: УРСС, 2003. 327 с.

2. Стратегии макрорегионов России: методологические подходы, приоритеты и пути реализации / под ред. А.Г. Гранберга. М.: Наука, 2004. 512 с.

3. Инновационный путь развития для новой России / под ред. В.П. Горегляда. М.: Наука, 2005. 476 с.

**Сердюкова Лариса Олеговна** –  
кандидат экономических наук, доцент,  
заведующая кафедрой  
«Менеджмент, коммерция и право»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Serdyukova Lariss Olegovna** –  
Candidate of Science in Economics,  
Assistant Professor, Head of the Department  
of «Management, Commerce and Law»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 24.06.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 656.13

**В.Н. Трегубов, К.В. Рулев**

### **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МАРШРУТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ**

*Рассмотрена технология обследования пассажиропотока на маршрутах городского общественного транспорта. Приведено описание информационной системы для поддержки проведения обследования «СинхроДок-Льготные перевозки» на основе логистической синхронизации. Выполнен экономический анализ результатов последнего обследования и предложена методика классификации маршрутов по степени их социальной значимости.*

Пассажирыпоток, логистическая синхронизация, классификация, экономический анализ.

V.N. Tregubov, K.V. Rulev

**ECONOMIC RESEARCH AND CLASSIFICATION OF PUBLIC TRANSPORT ROUTES USING LOGISTICS SYNCHRONIZATION**

*The authors consider the technology survey of passengers on routes of urban public transport. A description of the information system to support the survey «SinhroDok – Transportation» logistics, based on synchronization is given here. Completed economical analysis of the results of recent survey and proposed a method of classification of routes according to their degree of social significance.*

Passenger traffic, logistics synchronization, classification, economic analysis.

В 2009 г. планируемый размер годовых затрат на компенсацию льготного проезда граждан в Саратовской области должен был достигнуть 1,4 млрд рублей, что существенно превышает возможности регионального бюджета. Необходимость оптимизации расходов на компенсацию льготного проезда и потребность в уточнении транспортной подвижности льготных пассажиров и стало основным мотивом в проведении комплексного исследования транспортной подвижности и пассажиропотока льготных категорий пассажиров.

При участии автора в мае 2009 г. в Саратовской области было проведено исследование пассажиропотоков и расчет основных экономических показателей на маршрутах городского общественного транспорта. Целью обследования являлось получение фактической информации о доли льготных пассажиров в общем объеме перевозок, а также определение доли отдельного маршрута в общем объеме перевозок льготных пассажиров.

Структурная схема проведения обследования приведена на рис. 1.

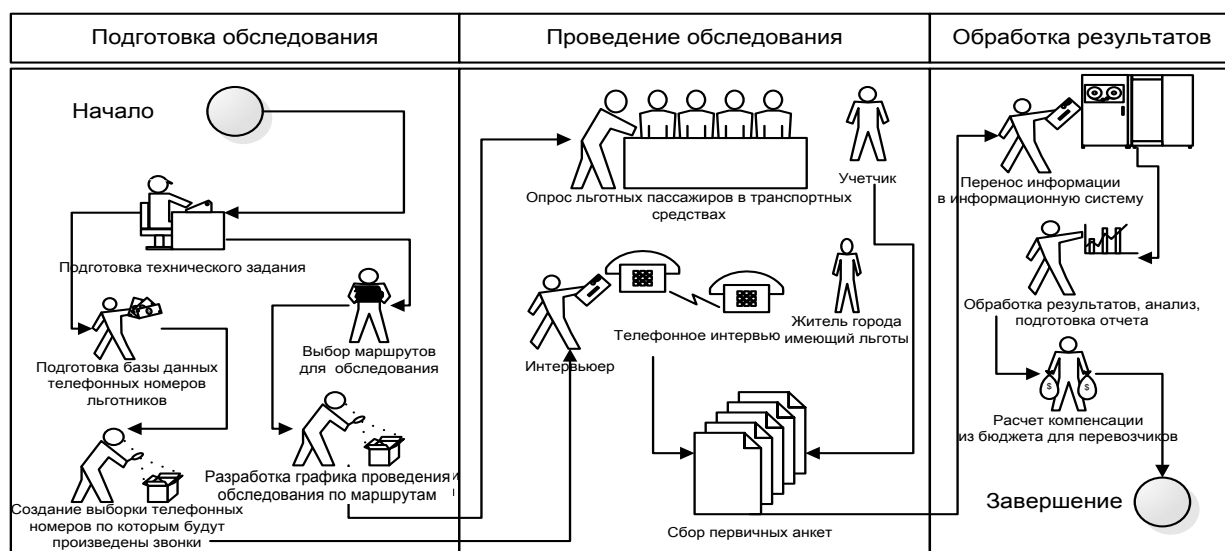


Рис. 1. Последовательность работ по обследованию пассажиропотока

Обследование было проведено в 3 городах Саратовской области (Саратов, Энгельс, Балаково) на 70 городских маршрутах и 30 пригородных. Для опроса в транспортных средствах было задействовано 327 учетчиков. Учетчиками было опрошено более 170 тыс. пасса-

жиров и подготовлено к обработке более 3000 анкет. Координация работы учетчиков, а также формирование и обработка необходимой информации осуществлялись с использованием специально разработанной информационной системы.

Информационная система для изучения транспортной подвижности льготных пассажиров опросом в транспортных средствах «СинхроДок-Льготные перевозки» предназначена для информационной поддержки проведения массовых обследований пассажиропотоков и транспортной подвижности льготных пассажиров путем опроса в транспортных средствах. Информационная система построена на основе использования технологии синхронизации документооборота [1,2].

Для обеспечения возможности хранения данных обследования наиболее эффективным способом была разработана реляционная база данных, которая позволяет сохранить в едином центральном информационном хранилище всю необходимую информацию (рис. 2).

Перечень требований к информационной системе «СинхроДок – Льготные перевозки» содержит следующие пункты:

- обеспечивать возможность создания и редактирования единого информационного реестра маршрутов, транспортных предприятий;
- обеспечивать возможность создания и редактирования единого информационного реестра учетчиков и их бригад;
- автоматизировать создание и обработку учетных документов;
- обладать достаточной степенью безопасности и секретности при обработке информации, а также иметь возможность обеспечивать многопользовательский ввод информации с автоматизированных рабочих мест.

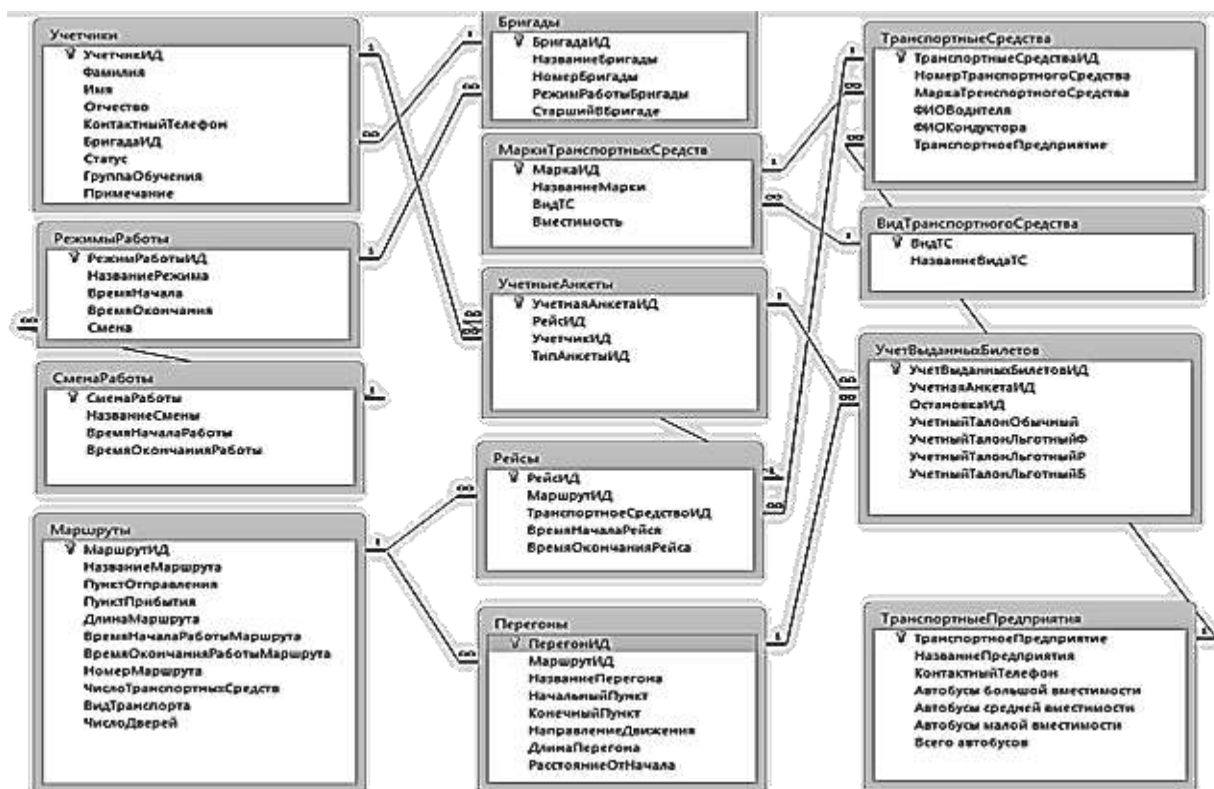


Рис. 2. Структура базы данных информационной системы «СинхроДок – Льготные перевозки»

На первом этапе работы с информационной системой производится заполнение справочников «Вид транспортного средства», «Марки транспортных средств», «Транспортные предприятия», «Транспортные средства», информация для заполнения указанных справоч-

ников представляется муниципальным предприятием, регулирующим городские пассажирские перевозки, а также непосредственно транспортными предприятиями, на маршрутах которых будет осуществляться обследование.

Затем производится заполнение справочников по лицам, которые будут осуществлять опросы в транспортных средствах. Они разбиваются на отдельные бригады, в каждой бригаде назначается бригадир, координирующий деятельность бригады. Для отдельной бригады в соответствии с методикой и технологией проведения обследования разрабатывается расписание с указанием точного маршрута обследования, времени прибытия на конечный пункт, номера обследуемого транспортного средства и времени проведения обследования. Расписание разрабатывается на каждый день выполнения обследования. Расписание выдается каждому учетчику, также осуществляется сбор информации об учетчиках, она в последующем будет использована для связи с учетчиком, контроля его работы и формирования расчетных ведомостей.

Для формирования точной учетной информации о пассажиропотоках на отдельном маршруте по его перегонам формируется информационный массив обследуемых маршрутов и их перегонов. На основе собранной информации формируются учетные документы, которые совместно с графиками проведения обследования выдаются учетчикам. Основным учетным документом, который затем будет использован для автоматизированной обработки и на основании которого выполняется сбор основных сведений, является учетная анкета.

Результаты обследования автоматически переносятся в компьютер (с помощью сканера с автоподатчиком) и затем используются для дальнейшего анализа. Для окончательного анализа и обработки информации об обследовании строятся специальные графики, которые позволяют в систематизированном виде представить весь информационный массив данных обследования.

В проекте использовались технологии Microsoft: ADO.NET, .NET Remoting, Windows Forms, XML, ASP.NET, Mobile Web, Reporting Services, Microsoft Access 2010, Microsoft Excel 2010. Для разработки приложений использовались языки программирования VB.Net и C#.Net в среде Visual Studio 2008. База данных реализована на платформе SQL Server 2008.

В целом разработанная система «СинхроДок – Льготные перевозки» ориентирована на решение задачи систематизации и анализа данных обследований пассажиропотока льготных пассажиров путем опроса в транспортных средствах и может быть рекомендована для внедрения и использования на уровне муниципалитетов крупных и средних городов, а также в региональных системах сбора и учета информации о транспортном комплексе.

Для анализа полученной в ходе обследования информации авторами была разработана методика классификации исходной информации по различным критериям с использованием статистических методов [3].

### **Классификация социальной значимости маршрутов по доле льготников в общем объеме перевозок**

Одним из основных показателей, определяющих использование маршрутов для льготных перевозок, является доля льготных перевозок в общем объеме перевозок маршрута. Для маршрутов г. Саратова эта доля изменяется от 28 до 74%.

Большая часть маршрутов относится к группе со средней льготной нагрузкой и показателем доли льготников от 0,3 до 0,6-33 маршрута (82,5%), этими маршрутами выполняется и больший объем льготных перевозок – более 87%. На этих маршрутах в среднем в сутки на одном транспортном средстве перевозится около 300 льготных пассажиров, что соответствует среднему для всего города. При этом на маршрутах этого типа работает 89% транспортных средств (табл. 1).

Таблица 1

Классификация маршрутов по доле льготных перевозок

Показатели	Доля льготных перевозок, %			Общий итог
	0-30	30-60	60-90	



Количество маршрутов	2	33	5	40
Доля маршрутов, %	5,0	82,5	12,5	100
Количество транспортных средств	60	567	11	638
Доля транспортных средств, %	9	89	2	100%
Средний объем перевозок льготных пассажиров на одно транспортное средство	163	292	464	307
Объем перевозок льготных пассажиров за сутки	8687	180286	17717	206689
Доля в общем объеме льготных пассажиров города, %	4,2	87,2	8,6	100

К маршрутам с высокой льготной нагрузкой, на которых доля льготных пассажиров больше 0,6, относится 5 маршрутов, у них гораздо более высокий показатель объема льготных перевозок на одно транспортное средство (более 464 человек), который значительно отличается от среднего по городу. В целом на таких маршрутах перевозится около 9% в общем объеме льготных пассажиров и работает только 2% транспортных средств.

К маршрутам с низкой льготной нагрузкой можно отнести 2 маршрута, у них также значительно отличается доля льготных пассажиров, но в меньшую сторону, объем льготных перевозок на одно транспортное средство составляет 163 человека, в целом по городу ими выполняется только 4% перевозок льготных пассажиров и работает 9% транспортных средств.

#### **Классификация социальной значимости по среднему объему льготных перевозок на одно транспортное средство**

Еще одним информативным показателем является суточный объем перевозок льготных пассажиров на одно транспортное средство, это позволяет нам сравнить эффективность использования транспортных средств.

В рамках этой классификации можно выделить три группы маршрутов. К первой группе относятся маршруты с высокой социальной нагрузкой, в которых за день перевозится более 600 пассажиров (в среднем 702). Таких маршрутов в городе 4 (10%) и на них работает 69 транспортных средств (также 10,9%), но ими осуществляется 24,5% льготных перевозок. Все указанные маршруты относятся к городскому электротранспорту (табл. 2).

Таблица 2

Классификация маршрутов по объему перевозок льготников

Показатели	Средний объем перевозок льготных пассажиров на одно транспортное средство			
	0-300	300-600	600-900	общий итог
Количество маршрутов	24	12	4	40
Доля маршрутов, %	60	30	10	100
Средний объем перевозок льготных пассажиров на одно транспортное средство	191	406	702	307
Суточный объем перевозок льготных пассажиров	68226	87842	50620	206689
Доля в общем объеме перевозок, %	33,0	42,5	24,5	
Доля льготных пассажиров в объеме перевозок на маршруте, %	44,7	49,5	61,3	47,8
Количество автобусов	334	235	69	638
Доля автобусов	52,4	36,8	10,8	100

Вторую группу составляют маршруты, на которых в среднем в сутки одним транспортным средством перевозится от 300 до 600 пассажиров. Таких маршрутов 12 (30%) и

ими осуществляется 42,5% перевозок в городе. На этих маршрутах задействовано более 36% городских автобусов, среднее наполнение автобуса льготными пассажирами составляет около 50%.

Третья группа – маршруты с низкой социальной нагрузкой – до 300 пассажиров – составляют 24 (60%) маршрута и хотя на данных маршрутах работает 334 транспортных средства (52,4%), ими выполняется только 33% в общем объеме льготных перевозок.

### **Классификация социальной значимости маршрутов по доле маршрута в общем объеме льготных перевозок**

Долю отдельного маршрута в общем объеме перевозок также можно рассматривать как одну из классификационных характеристик. Она показывает значимость маршрута в общем объеме льготных перевозок.

В маршруты с очень большим объемом перевозок (более 4% от общего объема перевозок) попали 7 маршрутов, большую часть – 20 маршрутов составили маршруты с долей менее 2%. В группу со средним объемом перевозок (от 2 до 4%) попали 13 маршрутов, при этом выполняется правило Парето, что более 80% перевозок приходится на 20% маршрутов (табл. 3).

Таблица 3

Классификация маршрутов по доле льготных пассажиров в общем объеме перевозок

Данные	Доля льготных перевозок, %			Общий итог
	0-2	2-4	>4	
Количество маршрутов	20	13	7	40
Доля маршрутов, %	50,0	32,5	17,5	100
Средний объем перевозок на одно транспортное средство	223	343	480	307
Общий суточный объем перевозок на маршрутах	31077	70914	104698	206689
Доля в общем суточном объеме перевозок, %	15,0	34,3	50,7	1
Наполнение транспортного средства	47,7	47,9	47,7	0
Количество транспортных средств	157	248	233	638
Доля транспортных средств, %	24,6	38,9	36,5	100

### **Классификация социальной значимости маршрутов по нескольким показателям**

Рассмотренные способы классификации позволяют судить об отдельных аспектах социальной нагрузки маршрутов. Для получения обобщенной классификации маршрутов по степени их социальной значимости для города необходимо построить механизм их классификации по нескольким показателям [4]. Для визуального представления связи трех рассмотренных параметров построена пузырьковая диаграмма (рис. 3), она отображает связь показателей доли льготных пассажиров и суточного объема перевозок, а величина пузырька определяется долей маршрута в общем объеме льготных перевозок. Диаграмма показывает, что явно выраженной взаимосвязи между данными показателями нет.

Ряд проанализированных показателей являются связанными друг с другом, поэтому необходимо выбрать те, которые имеют наименьшую степень корреляции. Проведенный корреляционный анализ позволил выделить два показателя, имеющих наименьшую степень корреляции, это – доля льготных пассажиров в общем объеме перевозок и доля льготных пассажиров на маршруте. На их основе и будет построена итоговая классификация, принцип классификации и основные классификационные признаки приведены в табл. 4.

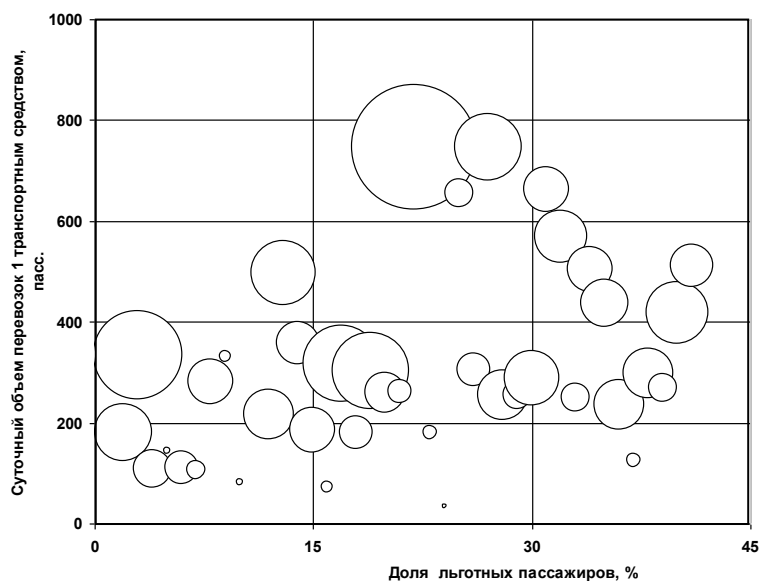


Рис. 3. Пространственное распределение маршрутов по степени их социальной значимости

Таблица 4

Классификационные признаки маршрутов общественного транспорта

Показатели		Доля льготных перевозок в общем объеме перевозок на маршруте	
		Низкая	Высокая
Доля льготных перевозок на маршруте в общем объеме льготных перевозок города	Низкая	Маршруты с низкой социальной нагрузкой по обеспечению льготных перевозок (социально малозначимые маршруты)	Маршруты с высокой долей льготных перевозок, но имеющие низкий пассажиропоток
	Высокая	Маршруты с низкой долей льготных перевозок, но имеющие значительный пассажиропоток	Маршруты, несущие основную социальную нагрузку по обеспечению льготных перевозок (социально значимые маршруты)

Итоговая классификация показывает, что к маршрутам, имеющим наибольшую социальную нагрузку в городе, относятся 6; они выполняют более 32,4% общего объема льготных перевозок; на них работает 133 транспортных средства, в среднем одно транспортное средство, функционирующее на данных маршрутах, перевозит за сутки более 543 льготных пассажиров. Доля льготников на социально значимых маршрутах приближается к 60%, что почти в два раза превышает этот показатель для социально малозначимых маршрутов (табл. 5).

Таблица 5

Итоговая классификация маршрутов по степени социальной значимости

Доля льготных перевозок на маршруте в общем объеме льготных перевозок города	Показатели	Доля льготных перевозок в общем объеме перевозок на маршруте	
		0-0,03	>0,03
0-0,45	Количество автобусов	158	175
	Суточный объем перевозок	168	283

	на одно транспортное средство		
	Количество маршрутов	11	4
	Доля льготников в общем объеме перевозок, %	35,51	40,14
	Доля маршрутов в общем объеме перевозок, %	17,9	28,2
>0,45	Количество автобусов	172	133
	Суточный объем перевозок на одно транспортное средство	317	543
	Количество маршрутов	19	6
	Доля льготников в общем объеме перевозок, %	64,49	59,86
	Доля маршрутов в общем объеме перевозок, %	21,51	32,42

Предложенная классификация может быть рекомендована региональным и муниципальным органам для улучшения механизмов распределения бюджетных дотаций и более точного и адресного распределения средств бюджета. В соответствии с ней особое внимание должно обращаться на организацию и обеспечение льготных перевозок на социально значимых маршрутах. В первую очередь для этих маршрутов должны выделяться и компенсации, так как платный пассажиропоток на данных маршрутах невысокий.

Кроме того, с использованием предложенной классификации можно:

- выделить маршруты с наибольшей социальной нагрузкой, которые требуют первоочередного выделения бюджетных средств для компенсации выпадающих доходов;
- оптимизировать структуру компенсационных выплат и обеспечить целевую направленность на наиболее социально значимые маршруты;
- в перспективе при оснащении транспортных средств приборами автоматизированного учета передвижений, на социальных маршрутах выполнять оборудование за счет средств муниципального и регионального бюджетов;
- оптимизировать структуру маршрутов, осуществляющих перевозку льготных пассажиров, и исключить социально малозначимые маршруты.

Осуществление указанных мероприятий позволит минимизировать затраты средств федерального и регионального бюджетов на компенсацию выпадающих доходов транспортным предприятиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трегубов В.Н. Синхронизация электронного и бумажного документооборота на основе технологии XML / В.Н. Трегубов // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: материалы конф. М.: МГТУ, 2005. С. 124-125.
2. Трегубов В.Н. Модель оценки качества пассажирских перевозок с синхронизацией интересов участников на основе использования метода Харрингтона / В.Н. Трегубов // Совершенствование технологии и организации обеспечения работоспособности машин: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 81-88.
3. Многомерный статистический анализ в экономике / Л.А. Сошникова, В.Н. Тамашевич, Г. Уебе и др. М.: ЮНИТИ, 1999. 598 с.
4. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики / В.С. Лукинский. СПб.: Питер, 2007. 448 с.

**Трегубов Владимир Николаевич** – кандидат экономических наук, доцент кафедры

**Tregubov Vladimir Nikolayevich** – Candidate of Sciences in Economics,

«Организация перевозок и управление  
на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Рулев Константин Викторович** –  
соискатель кафедры «Организация перевозок  
и управление на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного  
технического университета

Assistant Professor of the Department  
«Organization of Transportation  
and Management on Transport»  
of Saratov State Technical University

**Rulev Konstantin Viktorovich** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Organization of Transportation  
and Management on Transport»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 14.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*

## СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

---

УДК 316.35

О.А. Демчук

### МОЛОДЁЖНЫЕ СУБКУЛЬТУРЫ СОЦИАЛЬНО ОПАСНОГО ТИПА В КОНТЕКСТЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОЛОДЁЖНОЙ ПОЛИТИКИ

*Статья посвящена теоретическому анализу феномена молодёжных субкультур и, в особенности, их социально опасной разновидности. Автор прослеживает эволюцию дискурса социальной опасности применительно к молодёжным субкультурам в России, анализирует виды социально опасных молодёжных субкультур (скинхедов, футбольных фанатов, гопников и любителей, сатанистов), а также необходимость включения их представителей в состав объекта молодёжной политики.*

Молодёжные субкультуры, девиация, социальная опасность, молодёжная политика.

O.A. Demchuk

### YOUTH SUBCULTURES OF SOCIALLY DANGEROUS TYPE WITHIN THE REGIONAL YOUTH POLICY CONTEXT

*The article is devoted to theoretical analysis of youth subcultures phenomenon and especially its social-dangerous type. The author shows what is the social-dangerous discourse evolution applicably to youth subcultures in Russia, analyses social-dangerous youth subcultures kinds (skinheads, football fans, gopnics and lubers, satanists), and also necessity to include their representatives to the youth policy object.*

Youth subcultures, deviation, social danger, youth policy.

Любое государство ближайшие перспективы развития обычно связывает с молодёжью. Но важно отметить, что молодёжь представляет собой не монолитное образование, а, напротив, в большой степени стратифицированную социально-демографическую группу. Наличие в её составе всевозможных неформальных объединений свидетельствует о самостоятельности, инициативности, независимости мышления, поведения и всего образа жизни некоторой части представителей молодого поколения. Но это также сигнализирует и о процессах, идущих на уровне общества в целом. К тому же имеет значение, каков характер этих мо-

лодѣжных неформальных объединений, в которые молодые люди вступают по собственной воле и которыми продуцируются молодежные субкультуры.

Молодѣжные субкультуры как социокультурное явление имеют относительно недолгую историю. Они появились в Великобритании в начале 50-х годов и отсюда распространились в страны Запада и в Россию. Молодѣжные субкультуры проявлялись первоначально в субкультурных стилях тэдди-бойев и чуть позже модов, скинхедов и панков. Со временем субкультурные стили изменялись, пополнялись новыми. Поколение российской молодѣжи, чья молодость пришлась на 60-70-е годы, может по праву считаться основоположником российских молодѣжных субкультур, их духовной, ценностно-нормативной основы.

С точки зрения цивилизационного подхода в социологии, современное общество находится на постиндустриальном этапе развития (хотя оговоримся, что, к примеру, для российского общества характерны также и черты индустриального, а местами и традиционного обществ). Понятие «молодѣжная субкультура» возникает в качестве собирательной категории в единственном числе под влиянием философского обобщения на индустриальном этапе развития общества (как на Западе, так и в России). В настоящее время, когда российское общество совершает переход от индустриального к постиндустриальному этапу, а социологический метод критики социальной реальности потеснил былой непререкаемый авторитет философских абстракций, более точным становится употребление этого понятия во множественном числе. Мы говорим теперь о молодѣжных субкультурах и их разновидностях.

Можно согласиться, это связано с тем, что для индустриального общества больше характерны модернистская картина мира, модернистское представление о культуре, тогда как постиндустриальное общество мыслится в рамках постмодернистской концепции. Разница состоит в том, что в первом случае структура культуры состоит из ядра и периферии, и любые субкультурные отклонения от установленной ценностной иерархии ядра воспринимаются как нарушение общепринятого, как выход за его рамки. В течение времени происходит взаимодействие ценностей базовой культуры и молодежной субкультуры [7, с.72].

В постмодернистском же представлении структура культуры характеризуется множественностью, неопределенностью, изменчивостью. Все социокультурные элементы равнозначны и равноценны. Культура сохраняет устойчивость за счет того, что опирается на «фундамент» (понятие Левиковой), включающий некий набор более или менее равнозначных ценностей. Поэтому субкультуры, каждая из которых отличается собственным ценностным строем, имеют общие для всех субкультур ценности, позволяющие выделить и определить субкультуру как самостоятельный феномен [7, с.73-74]. Среди этих ценностей – протест и воплощение желания быть другим, особенным (это также можно было бы назвать желанием быть своим среди своих и чужим для всех остальных).

Конечно, можно предположить, что и отдельно взятый человек, задумав стать не похожим на других, изобретѣт свой стиль. Но этот стиль обретѣт сторонников и станет субкультурным, либо мы будем иметь дело с другим явлением, именуемым, к примеру, индивидуальным экспериментом или как-то еще. Другими словами, субкультура опирается на группу, ею порождается. В связи с этим мы можем выделить ряд атрибутов молодѣжных субкультур. Это – групповая идеология, групповые нормы и ценности, определеннѣный стиль поведения, особенности внешнего вида (стиль одежды, причѣска, элементы одежды, украшения), речевые (сленг, жаргон, клички) и музыкальные предпочтения, татуировки, ритуалы.

Таким образом, мы можем определить молодѣжные субкультуры как самостоятельные системы убеждений, ценностей и норм, моделей поведения и жизненного стиля, которые разделяются и активно используются группами молодѣжи, находящимися в явном меньшинстве в рамках доминирующей культуры. В отношении современного российского общества правомерно одновременное употребление понятия молодежной субкультуры как отклонения от доминирующей в обществе системы норм и ценностей и как особого равноценного элемента культуры в рамках данного общества. Другими словами, молодѣжные субкультуры,

так или иначе, всегда девиантны, но при этом их роль всегда достаточно значима, эти субкультуры нельзя недооценивать.

Существующие типологии молодёжных субкультур (см.: [8, с.8-9; 9,с.95; 10, с.6; 11, с.143]) имеют существенные недостатки. Во-первых, нет четких критериев для типологизации, в связи с этим, во-вторых, в рамках одной типологии одна и та же субкультура может быть отнесена к разным типам, в итоге получаются либо слишком общие типологии, либо типологии, перегруженные позициями. Это объясняется наличием большого количества самих субкультурных стилей, а также сфер, которые ими охвачены. Для нас в данном случае имеет значение тот факт, что некоторые субкультуры имеют не только девиантный, но и социально опасный характер.

Девиантность часто ассоциируется с ненормальностью, неправильностью, опасностью. Молодёжные субкультуры по определению принимают на себя все эти значения. Но здесь не всё так однозначно, потому что за почти полвека существования феномена молодёжной субкультуры в России смысл, вкладываемый в понятие «социальная опасность» применительно к субкультурам, существенно изменился. Связано это, в первую очередь, с изменением исторического контекста: с переустройством социальной и политической власти в России на рубеже 90-х годов.

В 60-х воспитание молодого поколения продолжалось по линии единой идеологии. Молодые люди были в первую очередь будущими строителями коммунизма. Но «хрущёвская оттепель» приоткрыла пути влияниям со стороны Запада: новая музыка, молодёжные субкультуры, западный образ жизни, капитализм. В России появилась первая молодёжная субкультура – стилиги, и сразу стало понятно, что никаких субкультур в Советском Союзе быть не должно по определению, потому что они представляют опасность для единой и единственной идеологии. Влияние Запада было объявлено «тлетворным», была развернута работа по расширению комсомола. «К концу 60-х годов больше 18 миллионов молодых людей были комсомольцами» [3, с.84], а эта организация «превратилась в правую руку КПСС и советского правительства, выполняя важнейшую роль социализации и социального контроля» [3, с.84].

Такое понимание социальной опасности продолжало существовать и в последующие годы, вплоть до начала перестройки (середина 80-х). За эти годы появилось множество других субкультурных стилей, заимствованных с Запада. В 60-е в СССР появились хиппи, в конце 70-х – панки, металлисты, рокеры. Их культура была по своей сути протестной, бунтующей против общепринятых норм, утверждающей сексуальную свободу, свободу индивидуальности и самовыражения. Кроме того, они становились политизированными. Как иллюстрацию можно привести строчки из песни рок-группы «Алиса» «Всё это рок-н-ролл»:

Мы, как один, социально опасны,  
И по каждому плачет тюрьма.  
Мы катимся вниз по наклонной,  
С точки зрения высших сфер,  
Молодёжные группировки  
Берут с нас дурной пример.  
Где воспитательный фактор?  
Где вера в светлую даль?

...

Всё это рок-н-ролл!

Естественно, что такие настроения в среде молодёжи пугали советское правительство. Молодёжные субкультуры считались результатом западной пропаганды, объявлялись вредными, разлагающими и оглупляющими советскую молодёжь. Но самая главная опасность, исходившая от них, состояла в том, что выходил из-под государственного контроля досуг молодёжи, а значит и её образ мыслей, поведение, воспитание.



Со второй половины 80-х в стране началась перестройка, демократизация советского общества, и молодёжь всё чаще стала объединяться для общения не в рамках комсомола для организованных форм досуга, а неформально и по своим собственным интересам. Это очень важный момент, потому что неформальные молодёжные объединения, с одной стороны, выражали тенденцию к плюрализму мнений и к демократии в нашей стране. Но, с другой, опять представляли опасность: опасность для единой идеологии КПСС и опасность для перестройки как единого пути будущего развития советского общества.

Правительство снова нашло способ борьбы с неправильной молодёжью. Всех неформалов классифицировали на три группы. Первая – положительные: общественно-политические объединения, развивающие свои идеи в рамках КПСС. Вторая – нейтральные или эпатажные (скейтбордисты, рокеры, металлисты, кришнаиты, панки). Третья – отрицательные, антиобщественные группы (фашисты, шовинисты, националистические и прокапиталистические группы, иногда панки, металлисты, рокеры) [3, с.87-88]. Так как в сам комсомол насильно было уже никого не затащить, то создали клубы в духе молодёжных субкультур: рок-клубы, клубы мотоциклистов, спортивные секции. Внутри этих клубов велась работа по возвращению молодёжи на нужный путь. С теми неформалами, которые не вписывались в рамки этих клубов (в основном из антиобщественных групп молодёжи), правительство открыто вело борьбу.

К началу 90-х комсомол полностью прекратил своё существование. Демократизация общества набирала обороты. Молодёжь перестала определяться как строитель будущего общества, государство обратило на неё внимание как на субъект, нуждающийся в поддержке и помощи. Поколение 90-х называют потерянными, потому что обнажились истинные проблемы молодёжи: безработица, отсутствие жилья, низкая зарплата, дедовщина в армии и общее рассогласование духовных основ и примеров для воспитания. Молодёжные субкультуры были связаны с криминализацией и маргинальным статусом молодёжи. Гопники, люберы, «новые русские» стали «героями времени». Здесь социальная опасность выливалась в то, что целое поколение страны оказалось неспособным вписаться в нормальную жизнь, появлялась угроза стабильности и нормальному развитию общества.

В настоящее время молодёжные субкультуры существуют в нашем обществе свободно и во множестве. С Запада продолжают заимствоваться всевозможные субкультурные стили: готы, растаманы, эмо, рэйверы, граффитчики, ролевики, хакеры. Молодёжь вольна в своём выборе форм досуга, круга общения, поведения, внешнего вида, музыкальных предпочтений. Субкультуры продолжают носить протестный характер, но это более мирный протест: подростковый бунт взросления, максимализм, протест против культуры взрослых, массовой культуры.

Молодёжные субкультуры вообще появляются как результат деятельности неформальных объединений молодёжи. Деятельность эта разворачивается в социальном пространстве. Социальное пространство, по мысли Э. Дюркгейма, Г. Зиммеля, – это пространство социальных взаимодействий. Следовательно, субкультуры также можно рассматривать как «подсистемы культуры, включающие совокупность устойчивых специфических форм взаимодействия, присущих какой-либо социальной группе, слою» [12, с.128].

В качестве отдельного типа мы можем выделить социально опасные молодёжные субкультуры. Истинно социально опасными можно назвать действия носителей некоторых молодёжных субкультур (скинхедов, футбольных фанатов, сатанистов), потому что они представляют угрозу жизни и здоровью людей, членов общества. Идеологическая и политическая составляющая понятия социальной опасности молодёжных субкультур в настоящее время сведена до минимума и если встречается, то не расценивается как серьёзная и реальная опасность. Опираясь на веберовское понимание социального действия [5], мы определяем социально опасные субкультуры как субкультуры, действия представителей которых несут реальную опасность жизни, здоровью и благополучию окружающих людей.

К социально опасным субкультурам можно отнести как наиболее типичных представителей – скинхедов, а также футбольных фанатов, гопников, сатанистов, иногда – панков. Их действия часто подпадают под статьи Уголовного кодекса Российской Федерации (ст. 105. Убийство; ст. 111. Умышленное причинение тяжкого вреда здоровью; ст. 115. Убийство, совершенное группой людей по предварительному сговору на почве расовой и национальной ненависти; ст. 210. Организация преступного сообщества (преступной организации); ст. 212. Массовые беспорядки; ст. 213. Хулиганство; ст. 214. Вандализм; ст. 243. Уничтожение или повреждение памятников истории и культуры; ст. 244. Надругательство над телами умерших и местами их захоронения; ст. 282. Возбуждение национальной, расовой или религиозной вражды).

Что же представляют собой эти субкультурные стили?

Если обратиться к истории возникновения субкультуры *скинхедов*, то мы увидим, что сформировалась она в Англии в середине 60-х годов XX века. Это была обычная рабочая молодежь, выходцы из рабочего класса, которые просто противопоставляли себя всей остальной молодежи, утверждая таким образом свою классовую позицию. Они ходили по выходным на стадионы, рьяно болея за свою футбольную команду, что приводило к побоищам между болельщиками, дракам и насилию. А также проводили время на танцплощадках, где употребляли много алкоголя и шумно веселились. Это была субкультура вне политики, не имеющая никакого отношения к расизму, нацизму и экстремизму. Социально опасной эта субкультура стала из-за столкновений ее представителей с иммигрантами из Пакистана, которых стали использовать как дешевую рабочую силу в ущерб местным рабочим.

Из Англии движение скинхедов перешло в Америку, распространилось по большей части Европы, проникнув в Скандинавские страны и даже в отдельные страны Востока. В каждой стране оно имело собственную историю становления и развития. К 80-м годам окончательно оформились все известные атрибуты субкультурного стиля скинхедов (бритые головы, берцы, подтяжки, куртки-бомберы, вскидывание «зигов»), движение приобрело реальную силу и массовость. На этом этапе скинхеды стали объектом внимания политических партий, решивших, что «у них есть возможность прибрать к рукам огромный ресурс нерассуждающей силы» [2, с.17], используя националистическую идеологию. Так расизм проник в субкультуру скинхедов. В середине 80-х годов субкультура скинхедов раскололась на традиционных бритоголовых и «наци-скинов».

В России скинхеды появились в первой половине 1990-х годов. В настоящее время скинхед-движение, так же, как и за границей, разделено на два противоположных направления: антифашисты (AFA: RASH – красные анархо-скинхеды, SHARP – скинхеды против расовых предрассудков) и националисты (они же белые скины, наци-скины, наци). Еще может встретиться слово «бонхед» (костяная голова). Это у скинхедов считается ругательством: антифашисты так называют националистов, а те в свою очередь так зовут тех белых скинхедов, которые нарушили правило не трогать детей, женщин и стариков. Действия представителей обоих направлений скинхед-движения можно расценивать как социально опасные. Сами они называют это «акциями прямого действия» или силовыми акциями. Для скинхедов-антифашистов они заключаются в запланированных стычках на футбольных матчах, на улицах города или другом определенном месте со скинхедами-националистами. Для последних это нападения на объект (рынок, общежитие), на отдельных представителей «другой» расы, а также и побоища со скинхедами антифашистского направления.

С движением скинхедов тесно связан субкультурный стиль *футбольных фанатов*. Футбольные фанаты часто являются одновременно и скинхедами и участвуют в их силовых акциях. Такая взаимосвязь объясняется тем, что оба этих субкультурных стиля вышли из одной социальной среды – молодежь рабочего класса Англии 60-х годов. Посещение футбольных матчей было традиционной формой досуга этой молодежи. Здесь важен вопрос – почему эта форма досуга непременно сопровождалась насилием. По мнению британских учёных, это

«было попыткой «магического переустройства общества» через приверженность сверхсимволизированному стилю и образцу поведения, который включает и насилие» [1]. Также это было связано с появлением и возрастанием коммерциализации футбола, против которой молодежь выражала свой протест посредством насилия на трибунах.

В России пик развития движения футбольных фанатов пришелся на послеперестроечное время, начало 90-х годов. Болельщики соперничающих футбольных клубов устраивали драки друг с другом прямо на трибунах во время и после матчей, а также нападали на представителей нерусского этноса на рынках и в метро. И такое поведение означало не только безраздельную преданность своей любимой команде, но и являлось следствием вдруг наступившей в стране демократии, которая воплотилась в среде молодёжи в настроениях вседозволенности, беспредела и анархии взамен прежних многих запретов. В настоящее время накал футбольных страстей несколько поутих, но, тем не менее, нападения и драки после футбольных матчей имеют место. Движение саратовских футбольных болельщиков также переживало период активизации (2001-2002 годы) в связи с пребыванием саратовской футбольной команды «Сокол» в высшей лиге.

Ещё одним элементом в общей картине социально опасных молодёжных субкультур является движение *гопников*. Оно появилось в середине 80-х годов в Казани, когда улицы города вдруг захлестнула волна подросткового насилия, советские школьники стали объединяться в группировки и жить по тюремным понятиям. Вскоре это явление распространилось по всей стране. Сами гопники считают слова «гопы», «гопота» обидными и предпочитают называть друг друга пацанами. Считается, что слово «гопник» появилось ещё после революции и происходит от аббревиатуры ГОП – городское общежитие для пролетариата. Это было крупнейшее в стране общежитие и находилось оно в тогдашнем Петрограде. Поселённые там дети приезжих рабочих прославились на весь город своими хулиганскими выходками.

В конце 80-х годов на смену казанским гопникам пришли люберы. Слово происходит от названия подмосковного города Люберцы, что по дороге из Казани в Москву. Люберы (любера, ребята, пацаны) занимались тем, что собственноручно изготавливали спортивные снаряды и «качались» в обустроенных под тренажерные залы подвальных помещениях, при этом не принимая никаких химических препаратов. Их, как и гопников, объединяла идея – очистить Москву от панков, металлистов, хиппи и других, кто носит длинные волосы и серьги в ушах, кто пытается выделиться. Каждый любер должен был уметь драться, носил значки с изображением Ленина и любил свою родину (или малую родину). В основном это было просоциалистически настроенное движение, хотя кроме идейных, были и такие его представители, кто преследовал чисто материальные цели. Но это не мешало всем им сосуществовать и участвовать в совместной деятельности. Деятельность эта заключалась в том, чтобы нападать на неформалов, отбирать у них деньги, отстригать волосы и драться. Причем люберы не называли это тюремным словом «гоп-стоп», а считали это действием по идейным соображениям под названием «экспроприация».

Движение гопников-люберов имеет ярко выраженные атрибуты субкультурного стиля. Люберы во время занятий в тренажёрном зале носили клетчатые штаны. Руководители люберских отрядов надевали кожаные куртки (практичны: легко стереть кровь). Остальные носили фурики (кепочки), значки (или татуировки) с Лениным, на пальцах – печатки, в кулаке – зажималка (чтобы удар был больней), волосы на голове – коротко острижены или сбриты. Среди музыкальных предпочтений – раннее творчество группы «Любэ», шансон. В речи использовали жаргонные слова и выражения: разводить, крыша, беспредел, по понятиям, запахло, лох (лицо, обиженное хулиганом, тот, кого развели). Типичный день любера проходил по схеме: «качалка» – кабак – дискотека. Возле дискотеки можно было встретить традиционные женские бои. Вообще, девушки-гопницы отличались особой жесткостью в драках (например, могли добивать побитого, прыгая по нему в туфлях на каблуках).

В начале 90-х годов идейная составляющая движения люберов сошла на нет. Движение превратилось в группировку и к середине 90-х годов большинство люберов перестреляли в так называемых разборках, которые проходили прямо на улицах. Оставшиеся в живых переехали в Москву и стали бизнесменами. Известно, что в наши дни в люберецких «качалках» занимаются лишь ветераны движения и молодёжь, которой люберские идеи уже совершенно чужды [4]. В настоящее время движение люберов фактически прекратило своё существование, а гопников можно встретить практически в каждом городе. Это малообразованные подростки и молодёжь с окраин столичных или провинциальных городов, которые работают на заводах, где у них очень маленькие зарплаты, или вообще не работают. Они носят спортивные штаны, кроссовки (в любое время года), вязаные шапочки и продолжают заниматься «разводом»: отбирают в основном мобильные телефоны и деньги, могут, конечно, избить.

Нельзя не отметить и ещё одно субкультурное направление, которое также может быть отнесено к социально опасному типу, – *сатанизм*. Его называют по-разному: религиозной сектой, субкультурой религиозного типа, религиозным объединением. По сути, сатанисты – это молодые люди, единомышленники, которые собираются, как правило, на кладбище ночью и проводят там время. Их объединяет идея, что церковь и истинная вера далеки друг от друга, что бог не всемогущ и не всесилен, что надо верить в сатану и стать равным богу. Часто собрания этой молодёжи сопровождаются распитием спиртных напитков, после чего они бесчинствуют, пугают людей, ломают и разрушают надгробия. Кроме того, известны случаи проведения сатанистами кровавых обрядов с жертвоприношением животных. Подобные обряды имеют сильное разрушительное воздействие на психику участвующих в них, особенно если это подростки.

Таковы молодёжные субкультуры, которые мы без сомнения можем отнести к социально опасному типу. Но существует ещё ряд субкультур, в отношении которых имеются варианты. Например, панки. Представители этой субкультуры проповедуют протест как ценность, как самоцель, жизнь против правил. Причем, если меняются правила, то меняются и формы протеста. Современное направление панк-субкультуры *straight edge* (sXe), к примеру, характеризуется отказом от наркотиков (всех: алкоголя, табака, кофеина, психоактивных веществ), сдержанностью и разборчивостью в сексе, антифашистскими политическими взглядами, вегетарианством (по желанию). Представители *straight edge* ничем не выделяются по предпочтениям в одежде, причёске, лишь знаком «X» или аббревиатурой «sXe» [6]. Но, конечно, продолжают своё существование и традиционные панки, действия которых по разным причинам (алкогольное опьянение, личностные особенности, отсутствие внутренних запретов и самоконтроля) могут быть опасны для окружающих.

Другим примером могут служить готы и эмо. Эти субкультуры иногда считают опасными, первые – из-за использования образов и символов, связанных со смертью, вторые – из-за суицидальных наклонностей их представителей. Готы часто путают с сатанистами, так как и те, и другие любят собираться на кладбище. Но готы – это эстеты, готика для них – это основа восприятия мира, мрачность и образы смерти – это эпатаж, напоминание о тщетности всего сущего и безвкусице массовых явлений. Субкультура готы как эстетическое движение не имеет определённой идеологии, поэтому часто оказывается под влиянием других субкультурных стилей, чем и объясняются иногда встречающиеся социально опасные поступки её представителей. Что касается субкультуры эмо, то суицидальные наклонности необоснованно приписывают её представителям, ибо суицид не является характерной чертой эмо-движения. Напротив, это очень позитивная субкультура. Отдельные попытки суицида имеют место, но они не носят массового характера, они являются, если можно так выразиться, побочным эффектом идеологии эмо, заключающейся в постоянных поисках взаимной любви, самовыражении, противостоянии несправедливости, особенном чувственном мироощущении, эмоциональности. Кроме того, сами по себе суициды, равно как и приём наркотических веществ (который является атрибутом многих субкультурных стилей), исходя из нашего определения, не являются социально опасными действиями. Эти асоциальные явления сви-

детельствуют о проблемах психического и физического здоровья членов общества и относятся больше к компетенции психологии, медицины, психиатрии.

Таким образом, всем вышесказанным мы охарактеризовали одну из тех многочисленных страт, на которые может быть поделена молодёжь как большая социально-демографическая группа, как объект молодёжной политики. Критерий молодёжных субкультур социально опасного типа, положенный в основу данной стратификации молодёжи, а также другие возможные критерии, позволяют глубже понять проблемы молодёжи, увидеть её потребности и образ жизни с нестандартной точки зрения. Это очень важно, так как в процессе формирования молодёжной политики объект её должен быть насколько возможно понятным. В настоящее время молодёжь рассматривается несколько обобщённо, молодёжная политика сводится в основном к отдельным тематическим акциям и мероприятиям. Что касается региональной молодёжной политики, то критерий молодёжных субкультур для стратификации молодёжи не используется. В связи с данной темой уделяется внимание различным подростковым девиациям, подростковым правонарушениям. Очевидно, формирование региональной молодёжной политики в отношении представителей молодёжных субкультур социально опасного типа есть дело будущего, возможно, самого ближайшего.

Итак, подведем итоги. В современном социокультурном пространстве мы можем выделить и определить как самостоятельный феномен молодёжные субкультуры. Молодёжные субкультуры характерны для периода перехода от индустриального к постиндустриальному обществу, где одновременно существуют две различные картины мира – модернистская и постмодернистская. Для индустриального общества больше характерно модернистское представление о культуре, тогда субкультура понимается как отклонение от доминирующей в обществе системы норм и ценностей. А постиндустриальное общество мыслится в рамках постмодернистской концепции, где любая субкультура выступает в роли особого равноценного элемента культуры в рамках данного общества [7, с.72-74].

В качестве отдельного типа мы можем выделить социально опасные молодёжные субкультуры. Понятие социальной опасности применительно к молодёжным субкультурам за годы их существования существенно изменялось. Сначала молодёжные субкультуры представляли опасность общественно-политическому устройству общества и идеологии социализма. Затем опасность проявилась в том, что обнажилась дезадаптированность к сменившемуся общественному порядку целого поколения молодёжи. В настоящее время социальная опасность, исходящая от молодёжных субкультур, понимается наиболее предметно, и связана она с угрозой жизни людей. Объясняется подобная смена смыслов изменением общественно-политического устройства в России в советский и постсоветский периоды, а значит и сменой контекста употребления изучаемого понятия.

К социально опасным субкультурам мы относим скинхедов, футбольных фанатов, гопников и люберов, сатанистов, они имеют характерные для всех субкультур атрибуты, а действия их представителей являются социально опасными. В настоящее время представители молодёжных субкультур социально опасного типа в составе объекта молодёжной политики разных уровней учитываются слабо.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Marsh P. Sub-culture theories / P. Marsh // Football violence and hooliganism in Europe. London: The Amsterdam Group, 1996. <http://www.redwhite.ru/>.
2. Аминов Д.И. Молодёжный экстремизм в России / Д.И. Аминов, Р.Э. Оганян. М.: Московское бюро по правам человека, «Academia», 2007. 200 с.
3. Омельченко Е.Л. Молодёжные культуры и субкультуры / Е.Л. Омельченко. М.: Институт социологии РАН, 2000. 264 с.
4. Лошак А. Реальные пацаны / А. Лошак. По материалам программы «Профессия – репортёр». Телеканал НТВ, 2006.

5. Вебер М. Понятие социологии и «смысла» социального действия / М. Вебер. <http://lib.socio.msu.ru/l/library>.

6. Верная А. Straight edge / А. Верная // Субкультуры / А. Верная. 2006. <http://www.subcult.ru/stedge.php>.

7. Левикова С.И. Две модели динамики ценностей культуры (на примере молодёжной субкультуры) / С.И. Левикова // Вопросы философии. 2006. № 4. С. 71-79.

8. Молодёжная культура: молодёжь и проблемы современной художественной культуры: сб. науч. трудов. СПб., 1990. [http://synerg.narod.ru/SER\\_MEGA.htm](http://synerg.narod.ru/SER_MEGA.htm).

9. Сергеев С.А. Молодёжные субкультуры в республике / С.А. Сергеев // Социологические исследования. 1998. № 11. С. 93-98.

10. Сикевич З.В. Молодёжная культура: «за» и «против». Заметки социолога / З.В. Сикевич. СПб., 1990. [http://synerg.narod.ru/SER\\_MEGA.htm](http://synerg.narod.ru/SER_MEGA.htm).

11. Социология молодёжи в контексте социальной работы: учеб. пособие / В.Н. Ярская, Л.С. Яковлев, А.Ю. Слепухин и др. Саратов: СГТУ, 2004. 300 с.

12. Ярская В.Н. Пространство и время социальных изменений: курс лекций / В.Н. Ярская, Л.С. Яковлев, О.Н. Ежов. Саратов: Научная книга, 2004. 280 с.

**Демчук Ольга Анатольевна** –  
аспирант кафедры «Социальная антропология  
и социальная работа»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Demchuk Olga Anatolyevna** –  
Post-graduate Student  
of the Department of «Social Anthropology  
and Social Work»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 316.342:81'1

**А.Е. Живлакова**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ  
К СОЦИОЛИНГВИСТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ  
СОЦИАЛЬНО-ПОЛИТИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЯЗЫКА**

*Исследуются основные социолингвистические концепции социально-политической дифференциации языка. Проводится теоретический анализ социально-политической дифференциации языка в рамках социолингвистики, выявляется зависимость коммуникативных систем от особенностей социальных структур и стратификационной вариативности.*

Стратификация, дифференциация, изоморфизм, статус, коммуникация.

**A.Ye. Zhivlakova**

**THEORETICAL APPROACHES TO SOCIOLINGUISTIC ANALYSIS  
OF SOCIO-POLITICAL LANGUAGE DIFFERENTIATION**

*The author studies the main sociolinguistic concepts of socio-political language differentiation and analyses its theoretical approaches in the context*

*of sociolinguistics. The article shows the dependence between communicative systems, social structure characteristics and stratified variation of society.*

Stratification, differentiation, isomorphism, status, communication.

Вопрос о взаимосвязи языковых и социальных структур заслуживает большого внимания. Структура социально-политической дифференциации языка многомерна и включает в себя как стратификационную дифференциацию, так и ситуативную дифференциацию.

Данная проблема социальной дифференциации языка является ключевой среди теоретических проблем современной социолингвистики. Впервые термин «социолингвистика» ввел в научный оборот американский исследователь Х. Карри в 1952 году. В отечественной науке данный термин был закреплен Е.Д. Поливановым. Согласно Н.Б. Мечковской, социологическая теория «социолингвистики» включает в себя триаду компонентов для изучения: 1) все виды взаимодействия между языком и обществом; 2) все виды особенностей говорения; 3) все виды особенностей письма разных социальных групп [1].

Зарубежные социолингвисты глубоко исследуют вопросы языка, языковое поведение индивидов. Б. Тошович (Австрия) рассматривал язык как корреляционную систему и выявлял соотношение коррелосистемы языка и социума [2, с.21-22].

Социальная дифференциация языка берет свое начало с известного тезиса И.А. Бодуэна де Куртенэ о «горизонтальном» (территориальном) и «вертикальном» (собственно социальном) членении языка (цит. по: [3, с.92]). В первой трети XX в. этим новым направлением в социологии занимались представители французской социологической школы в языкознании, такие как А. Мейе, швейцарские лингвисты – ученики Ф. де Соссюра – А. Сэшеэ и Ш. Балли, Ж. Вандриес (Бельгия), А. Матезиус и Б. Гавранек (Чехословакия), Э.Сепир (США), Дж. Фёрс (Англия) и другие [3, там же]. Основы нового направления были заложены еще в советский период, когда такие ученые как В.В. Виноградов, К.Н. Державин, В.М. Жирмунский, Н.М. Каринский, Б.А. Ларин, Е.Д. Поливанов, А.М. Селищев, Н.В. Сергиевский, Л.П. Якубинский и другие [4] изучали социально обусловленную вариативность языка.

Вопрос социальной дифференциации языка неразрывно связан с вопросом социальной дифференциации общества. Проблема социальной дифференциации языка носит сложный характер, так как в основе решения данной проблемы лежат отношения между социальной структурой общества и структурой языка. Чем более многогранно и многоаспектно представляется исследователю социальная структура общества, тем более сложной будет ее влияние на структуру языка.

Один из представителей социолингвистического направления в США У. Брайт в 1966 году отказался от рассмотрения языка «как единообразного, однородного и монолитного по своей структуре» [5, с.34]. Изучение языка и структуры общества во взаимосвязи было начато еще в советском языкознании. Л.В. Щерба выделил, что в основе соответствия между неоднородностью языковой структуры и неоднородностью структуры данного общества лежит механизм социальной детерминации языка: любая дифференциация в коллективе влечет за собой дифференциацию речевой деятельности и языкового материала [6].

В 20-30-е годы проблема социальной дифференциации языка сводилась к проблеме отражения в языке классовой структуры общества, основанной на марксистской теории классов. Со временем в противовес этому течению появилось микросоциологическое направление, представленное Б.Д. Парыгиным [7], Э.Ф. Звездиной [8] и другими учеными, которые ориентировались на исследования зарубежных коллег, отказавшихся от исследования общества в целом и сделавших основным объектом социологического исследования «социальные группы» [9]. Они рассматривали малую группу как микрокосм «большого» общества.

Микросоциологическая ориентация отразилась в работах известного американского социолингвиста Дж. Гамперца. При анализе социолингвистических проблем он старался не

прибегать к таким «трудноопределяемым» понятиям, как «престиж» и «класс». В качестве основных единиц анализа выступают малые группы, такие как друзья, родственники, сослуживцы и другие (см. [10, с.11]).

В зависимости от лежащих в основе теоретических построений взглядов на социальную природу языка и социальную структуру общества получила распространение теория изоморфизма (полная соотнесенность свойств) языковых и социальных структур.

А.Д. Гримшо в главе «В защиту изоморфизма» в своей книге «Социолингвистика» пишет о том, что «каузальные связи между языком и социальными структурами носят двусторонний характер» (см. [10, с.12]). Он утверждает, что связь между языком и социальными структурами имеет двустороннюю направленность: социальная структура может детерминировать язык, но и язык, в свою очередь, может детерминировать социальную структуру. А.Д. Гримшо опирается на работы американского этнографа Дж. Фишера и социального психолога Б. Бернстайна.

Дж. Фишер провел сопоставительный анализ двух языковых и двух социокультурных систем, основанный на наблюдениях автора над населением двух микронезийских островов – Трука и Понапе. В основе его исследований лежит исторический факт изоляции друг от друга в течение нескольких столетий жителей двух островов, некогда объединенных в один коллектив с единым языком. Из-за изоляции появились как социокультурные, так и языковые различительные черты. Однако считается, что его наблюдения фрагментарны и атомистичны (см. [10, с.13-14]).

Б. Бернстайн выдвинул гипотезу о наличии двух речевых кодов – развернутого и ограниченного. Он утверждал, что эти коды и классовая структура общества взаимосвязаны. Развернутый код он охарактеризовал как код, где используются более сложные синтаксические конструкции. Этот код менее предсказуем, ориентирован на поддержание социального контакта и на выражение социальной солидарности. Ученый считал, что это код рабочего класса, его низших слоев. Ограниченный код включает в себя элементарные синтаксические построения, он более стереотипен и предсказуем. Этот код – код «среднего класса» и высших слоев рабочего класса. Он ориентирован на самовыражение и межличностное общение (см. [10, с.14]).

Эта теория вызвала много споров. Так, западногерманский социолингвист Д. Вундерлих высказал свою точку зрения по данному вопросу, отметив, что понятия развернутого и ограниченного кодов не означают типичное речевое поведение того или иного класса ([11, s.308]).

Американский социолингвист У. Лабов доказал неправильность утверждения о том, что низшие классы используют более ограниченные и стереотипные речевые ресурсы, пригодные только для поддержания социального контакта, а не для индивидуального самовыражения [12]. Представители любых классов и социальных групп могут пользоваться такими речевыми функциями, как «самовыражение», «межличностное общение», «выражение социальной солидарности», «поддержание социального контакта» [10, с.15] и другие. Но в некоторых социальных ситуациях могут быть использованы речевые штампы и готовые формулы, а в других – язык используется более творчески и свободно.

Вернувшись к вопросу об изоморфизме, следует отметить определение, взятое из «Философского словаря»: изоморфизм – это понятие, характеризующее соответствие между структурами объектов. Две системы, рассматриваемые отвлеченно от природы составляющих их элементов, являются изоморфными друг другу, если «каждому элементу первой системы соответствует лишь один элемент второй и каждой операции (связи) в одной системе соответствует операция (связь) в другой и обратно» [13]. В этой связи становится очевидным, что теории Дж. Фишера, Б. Бернстайна и других ученых не подтверждают гипотезы об изоморфизме языковых и социальных структур. Таким образом, как отмечает А.Д. Швейцер, структура социальной дифференциации языка и структура социальной дифференциации обществ связаны между собой, но не изоморфны.



В.И. Беликов и Л.П. Крысин говорят о том, что социальное сложно трансформировано в языке. В результате этого социальной структуре языка и структуре речевого поведения людей в обществе свойственны специфические черты, которые не находят прямых аналогий в структуре общества, хотя и обусловлены социальной природой языка [3]. Примером могут быть типы варьирования средств языка, зависящие от социальных характеристик говорящих и от условий речи – У. Лабов называл это социальной и ситуативно-стилистической вариативностью [14].

Немецкий лингвист М. Бирвиш считал, что очевидного соответствия между характером социальных и экономических условий и языковыми особенностями нет, различия между экономически неоднородными группами не отражаются в системе языковых разновидностей данного языкового общества [15, p.420].

В своем учебнике по социолингвистике В.И. Беликов и Л.П. Крысин пишут: «Даже в тех случаях, когда социальные факторы выступают в качестве детерминантов речевого поведения, между этими факторами и обусловливаемой ими языковой неоднородностью нет взаимно-однозначного соответствия» [3, с.94].

В основе социолингвистического анализа социальной дифференциации языка лежат социолингвистические переменные – языковые корреляты стратификационной и ситуативной вариативности языка. В качестве таких переменных могут выступать социально маркированные языковые единицы, определяющие социально значимый выбор средств выражения. Социальная информация как раз характеризует субъект речи с точки зрения его принадлежности к социальной группе.

Как писал Ш. Балли, речь является «важным фактором социальной символики» [16, с.256].

Некоторые ученые при изучении социального расслоения языка не только опираются на социальные критерии, но и привлекают функционально-стилистическую варьированность языковых образований. Поэтому в качестве факторов, влияющих на стилистическое варьирование языка, выделяют следующие социальные категории: статус, престиж, социальная роль. У. Лабов, например, рассматривал фонетическую вариативность современного американского варианта английского языка в зависимости от социального расслоения говорящих и от стилистических условий речи [17].

К.А. Долинин связал ролевую структуру поведения человека с функционально-стилистической дифференциацией языка. В.В. Виноградов исследовал социально-стилистический аспект социальной дифференциации языка, изучая историю русского литературного языка. Он различал просторечие, простонародный язык, чиновничий язык, солдатский жаргон и другие. За стилистическими разновидностями литературного языка знаменитый академик пытался увидеть их «социальную подоплеку» [18, 19].

Таким образом, сложность социальной структуры не позволяет видеть в проблеме социальной дифференциации языка только отражение в языке классовой структуры общества; при этом должны учитываться все производные от классовой структуры элементы – социальные слои, профессиональные, культурные и иные группы, а также первичные коллективы (малые группы). По мнению А.Д. Швейцера, на язык также воздействуют социальные нормы, установки, стимулы, мотивации, ориентации, механизмы социального контроля, а также другие социокультурные и социопсихологические элементы. Кроме того, на общую картину социальной дифференциации языка оказывают влияние возрастной, половой, этнический и территориальный аспекты [20].

Особенности социальных структур и стратификационная вариативность определяют множественность и разнообразие коммуникативных систем. В различных областях социальной жизни место и характер информационно-коммуникативных процессов отнюдь не одинаковы. Коммуникант является производителем речевой деятельности. С одной стороны, его индивидуальные психологические и социальные характеристики формируют его речевое по-

ведение. С другой стороны, осуществляя речевую деятельность, коммуникант закрепляет, в том числе и для себя, общепринятые нормы речевого поведения. Таким образом, речь представляет собой один из главных инструментов во многих коммуникативных областях, в частности в политике.

Индивиды, входящие в одну социальную группу, обладают схожими, если не одними и теми же социально-психологическими характеристиками. Индивидов одной группы объединяют идентичные или сходные знания, мнения, цели, ценности и нормы. Реализуя различные виды социального познания, члены группы продуцируют схожие социальные репрезентации. Социальная структура является основой формирования политического дискурса и речевого поведения.

Теоретическое изучение влияния социального статуса на речевое поведение в отечественной и зарубежной науке имеет плодотворную традицию. В нашей стране различные аспекты данной проблемы разрабатывались в трудах В.И. Карасика, В.И. Беликова, Л.П. Крысина, Л.Б. Никольского, Е.Ф. Тарасова.

За рубежом данной теме в различных понятийных перспективах посвящены исследования Дж. Гамперца, С. Эрвин-Триппа, У. Ленерта и других.

Несмотря на актуальность проблемы в рамках современной социолингвистической дискурсивной парадигмы наблюдается недостаток исследований, выполненных в социально-структурном коммуникативном ключе, в которых анализируется влияние социального статуса коммуникантов-политиков на их дискурс, а также выявляется факторная обусловленность данного феномена.

По мнению некоторых ученых, такие социальные категории, как «статус», «социальная роль», влияют на стилистическое варьирование языка. Для ряда современных исследований в области стилистики характерно внимание к фигуре говорящего как к одному из основных факторов, обуславливающих варьирование речи, а также выделение различных типов говорящих в зависимости от социальных и ситуативных признаков. Например, американский социолингвист У. Лабов, о котором мы уже упоминали в нашей статье, провел исследование, в котором фонетическая вариативность современного американского варианта английского языка рассматривается в зависимости от социального расслоения говорящих и от стилистических условий речи [21].

Таким образом, структура социальной дифференциации языка и структура социальной дифференциации общества связаны между собой. Структура языка во многом зависит от социальной структуры общества. В основе формирования в частности политического дискурса и речевого поведения также лежит социальная структура. Социальная информация, включающая такие социальные категории, как статус, престиж, социальная роль, характеризует коммуниканта с точки зрения его принадлежности к социальной группе или классу, к различным социальным слоям, профессиональным, культурным и другим группам. Им присущи специфические черты, находящие свое отражение в типах варьирования средств языка. Хотя они и обусловлены социальной природой языка, они не находят себе прямых аналогий в структуре общества. Тем не менее, с научной точки зрения, идентификация такого рода социальной структуры коммуникации представляет большой интерес.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мечковская Н.Б. Социальная лингвистика / Н.Б. Мечковская. М.: Аспект Пресс, 2000. 207 с.
2. Тошович Б. Язык и социум как соотносительные коррелосистемы / Б. Тошович // Язык и общество на пороге нового тысячелетия: итоги и перспективы: тез. докл. Междунар. конф. / под ред. В.Ю. Михальченко. М.: УРСС, 2001. 360 с.
3. Беликов В.И. Социолингвистика / В.И. Беликов, Л.П. Крысин. М.: РГГУ, 2001. 439 с.

4. Гухман М.М. У истоков советской социальной лингвистики / М.М. Гухман // ИЯШ. 1972. № 4. С. 2-10.
5. Брайт У. Введение: параметры социолингвистики / У. Брайт // Новое в лингвистике. Вып. 7. Социолингвистика. М.: Прогресс, 1975. С. 34-41.
6. Щерба Л.В. О трояком аспекте языковых явлений и об эксперименте в языкознании / Л.В. Щерба. Языковая система и речевая деятельность. Л., 1974. С. 24-39. URL: <http://www.philology.ru/linguistics1/shcherba-74a.htm>.
7. Парыгин Б.Д. Социальная психология как наука / Б.Д. Парыгин. Л.: Лениздат, 1967. 262 с.
8. Звездкина Э.Ф. Критика методологических принципов изучения малых групп в буржуазной социальной психологии США: автореф. дис. ... канд. филос. наук / Э.Ф. Звездкина. М., 1968. 27 с.
9. Осипов Г.В. Теория и практика социологических исследований в СССР / Г.В. Осипов; Ин-т социол. исследований АН СССР. М.: Наука, 1979. 343 с.
10. Швейцер А.Д. Социальная дифференциация английского языка в США / А.Д. Швейцер. М.: Наука, 1983. 216 с.
11. Wunderlich D. Zum Status der Soziolinguistik / D. Wunderlich // Aspekte der Soziolinguistik. Frankfurt-M.: Athenum. Fischer Taschenbuch Verlag, 1973. S. 308-333.
12. Labov W. The logic of nonstandard English / W. Labov // Varieties of present-day English / ed. by R.W. Bailey, J.L. Robinson. New York: Macmillan, 1973. P. 156-186.
13. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. М.: Политиздат, 1981. 445 с. // Цифровая библиотека по философии. URL: <http://filosof.historic.ru/enc/item/f00/s03/a000397.shtml>.
14. Лабов У. О механизме языковых изменений / У. Лабов // Новое в лингвистике. Вып. 7. Социолингвистика. М.: Прогресс, 1975. С. 199-228.
15. Bierwisch M. Social Differentiation of Language Structure / M. Bierwisch // Language in Focus / ed. by A. Kasher. Dordrecht: Reidel, 1976. P. 407-456.
16. Балли Ш. Французская стилистика / Ш. Балли. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1961. 394 с.
17. Labov W. The Study of Language in Its Social Context / W. Labov // Advances in the Sociology of Language / ed. by J.A. Fishman. Vol. 1. The Hague: Mouton, 1976. P. 92-151.
18. Виноградов В.В. О языке художественной литературы / В.В. Виноградов. М.: Гослитиздат, 1959. 656 с.
19. Виноградов В.В. Вопросы образования русского национального литературного языка / В.В. Виноградов // Вопросы языкознания. 1956. № 1. С. 3-25.
20. Швейцер А.Д. К проблеме социальной дифференциации языка / А.Д. Швейцер // Вопросы языкознания. 1982. № 5. С. 39-48. URL: <http://www.philology.ru/linguistics1/shveytser-82.htm>.
21. Крысин Л. Социолингвистические особенности устной речи / Л. Крысин. URL: <http://www.svobodanews.ru/content/Article/401430.html>.

**Живлакова Анна Евгеньевна** –  
соискатель кафедры  
«Правовая социология и психология»  
Саратовского юридического института  
МВД России, старший преподаватель кафедры  
«Иностранные языки и культура речи»  
СЮИ МВД РФ

**Zhivlakova Anna Yevgenyevna** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Legal Sociology and Psychology»  
of Saratov Law Institute of the Ministry  
of Internal Affairs of Russian Federation,  
Senior Lecturer of the Department of Foreign  
Languages and Communication Culture  
of Saratov Law Institute of the MIA of RF

*Статья поступила в редакцию 18.06.09, принята к опубликованию 14.01.10*

**В.Б. Звоновский**

**О ВЛИЯНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ  
НА ФОРМЫ СОЦИАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ**

*Статья посвящена пространственному аспекту социальных взаимодействий, в частности, различным типам социальных представлений о пространстве. В центре внимания исследования анализ концепций «пространства» в различных отраслях знания: философии, естественных науках, географии, регионалистике и политологии, повседневности.*

Пространство, повседневность, идентичность, конструирование социальной реальности.

**V.B. Zvonovskiy**

**SPACE'S LOCALIZATION INFLUENCE  
ON SOCIAL BEHAVIOR FORMES**

*The article is related to spatial aspect of social interactions, in particular, to different types of social attitudes to «space». The article is devoted to the analyses of the concept "space" in the diverse knowledge's areas: philosophy, geography and political science.*

Space, everyday life, identity, social reality construction.

В современной социологической теории основным предметом изучения взаимодействия между пространством и обществом («пространственности социального взаимодействия») стала «социологизация» пространства. Под «социологизацией» понимается совокупность представлений о том, что общество (и индивид) наблюдает то пространство, которое общество сконструировало в данный исторический момент в ходе своей деятельности [1, 2, 3]. Под конструированием в данном случае понимается не столько создание в физическом пространстве, где живет социум, различных объектов и коммуникаций между ними, сколько наделение этих объектов социально значимыми смыслами. Вторую составляющую этого процесса мы будем называть социальным конструированием пространства. Подобно представлениям о социальной структуре, нормах и ценностях, представления людей о пространстве подвержены влиянию времени и исторических условий, в которых они сформировались. Это касается как научных и религиозных представлений [4, 5], так и повседневного восприятия пространства [6, 7].

Очевидно, что и восприятие пространства индивидом во многом определяется тем, каким это восприятие сложилось в данном обществе и в данное время. Тем не менее, существуют аспекты специфически индивидуального восприятия, которые в той или иной степени конфликтуют с представлениями социума. Причем это касается не только восприятия пространства. Возникающий конфликт между индивидуальным сознанием и тем, что условно можно назвать социальным (или общественным) сознанием, в отношении восприятия самого широкого спектра внешних человеку объектов и событий находится в фокусе внимания многих исследователей, начиная с Э. Дюркгейма [1] и заканчивая Р. Мертоном [7] и П. Бурдьё [3], см. также [8].

Источником этого фундаментального конфликта является физическая определенность человека и его места в пространстве. Родившись, человек изначально определен в пространстве уже в силу того, что имеет тело. При этом расположение его в одной точке пространства

исключает нахождение в этой точке других объектов, необязательно обладающих органической природой. Проникновение таких объектов в область пространства, занятую индивидом, может стимулировать последнего (помимо противодействия такому проникновению) к уходу из этой области, либо может попросту уничтожить данного индивида. Один этот факт делает пространство непосредственным участником социальных взаимодействий. Поэтому социальное взаимодействие необходимым условием включает в себя взаимодействие индивидов как физических тел [9, 10].

Утверждение о социальном конструировании пространства нуждается в уточнении: индивидуальный, телесный опыт пространства остается значимым элементом данного процесса. Поскольку человек, с одной стороны, обладает телесностью, а с другой стороны, эта телесность уникальна, то человек имеет свой специфический опыт пространства, отличающийся от опыта, аккумулированного современным ему обществом. Возникающий конфликт индивидуального и социального опыта так или иначе разрешается как в научной, так и в повседневной деятельности общества и его членов. Предметом предпринятого ниже исследования является метасоциологический анализ как происхождения конфликта представлений, так и его содержания в различных социальных теориях.

И. Кант выделяет два основных содержания термина «пространство». Во-первых, это «форма всех явлений внешних чувств», т.е. единственное и необходимое условие для восприятия внешних явлений. Предельно упрощая, это – ящик, в котором могут быть размещены внешние тела. Во-вторых, пространство «предзадано» (Кант говорит о его «данности»), и не выводимо из опыта. «Сам внешний опыт становится возможным, прежде всего, благодаря пространству» [11]. Расположение тела человека на какой-то протяженности, т.е. в пространстве, делает последнее предпосылкой любого опыта.

Понятие пространства, каким оно сформировалось в естественных науках, оказалось настолько емким и плодотворным, что стало широко применяться и в социальных науках. Использование этого понятия в основном сводится к двум типам. В одном случае пространством называется в той или иной степени освоенная часть земной поверхности, в первую очередь, расположение на ней социально значимых объектов. Иначе говоря, социальный ландшафт в противовес чисто природному. Во втором случае речь идет о некоторой логической конструкции, подобной метрическому (евклидову) пространству, пространству событий (Эйнштейна) или, например, пространству множеств. Социальное пространство есть абстракция реальных позиций и диспозиций социальных субъектов, абстракция того же уровня, что и физическое пространство. Основное внимание уделено теориям социально нагруженного пространства, таким как теория Пьера Бурдьё [3].

Представления о пространстве, характерные для массового сознания, чаще всего остаются неотрефлексированными. Историю восприятия пространства в обыденном сознании можно описать как процесс абстрагирования представлений о нем, очищения его от социальных конструктов: мифических богов и героев, религиозных образов и мест и т.п. и описания его в терминах точных наук: физики и математики. Интернализовав различные представления о пространстве в процессе социализации, индивид воспринимает пространство личного опыта как вариант научно выверенного и отчасти используемого им в профессиональной и научной деятельности.

Возникновение и развитие различных форм социального поведения под влиянием той или иной локализации социальных акторов в физическом пространстве (на земной поверхности) анализировались различными авторами в географической литературе. В начале XIX века немецкий географ И. Тюнен на основе наблюдений за поведением крестьян сделал вывод, что пространство вокруг своего места проживания человек организует с точки зрения минимизации усилий и максимизации экономического эффекта. Другими словами, пространство представляет собой продукт социальной деятельности и членения пространства происходят в результате социального взаимодействия.

Различные виды социального взаимодействия в пространстве можно свести в две группы. Во-первых, это взаимодействия, осуществляемые путем обмена товарами и услугами, т.е. физическими телами по земной поверхности. Пространство в этом случае зонировано и в нем фиксируются места размещения индивидов и социальных групп. Во-вторых, это взаимодействие, опосредованное символическими обменами, например, информацией, финансовыми ресурсами и т.п. В этом случае размещение в физическом пространстве, например, на земной поверхности, теряет былое значение. Наоборот, наличие упомянутых ресурсов делает возможным территориальную деидентификацию, нахождение везде и нигде.

Первое присуще обществам, где осуществляются преимущественно товарные обмены. Второе – обществам, где обмен информацией доминирует над товарными обменами, а коммуникация как бы отслаивается от обменов, опосредованных земной поверхностью, и становится самоценной. Переход от первого способа взаимодействия ко второму отражает эволюцию общества от доинформационного к информационному. При этом основное отличие пространства как среды обменов информацией от пространства как среды товарных обменов состоит в том, что характер обменов, обеспечивающих коммуникацию, абсолютно не зависит от расстояния между индивидами.

Тем не менее, дуальность представлений о пространстве, обозначенных еще Кантом, сохраняется и в мире, сформированном массовой коммуникацией, поскольку миру индивидуального опыта пространства противостоит (или дополняет его) мир социального опыта пространства. Пространство, каким бы оно ни представлялось в социальной коммуникации, никогда не совпадает с повседневным опытом индивида. Современная коммуникация устранила из пространства темпоральный и материальный аспекты, но сами по себе социальные связи, тем не менее, опосредованы пространством.

Кризис локальной идентичности, о котором писали еще Э. Дюркгейм и Ф. Теннис [1, 12], необходимо рассматривать как часть общего кризиса территориальной идентичности, включающий в себя и кризис государственной идентичности, более известный как процесс «глобализации». Глобализм, будучи процессом в основном политическим и экономическим, сопровождает процесс деидентификации, характерный для современного состояния социума в различных странах. Глобальные темы все более деидентифицируют актора, перемещают его из определенного пространства непосредственных коммуникаций в сферу взаимодействий скорее смыслов, присутствующих в массовой коммуникации, чем тел.

Кажущийся противоположным процесс активизации локальных, этнических в том числе, взаимодействий не столько противодействует процессам глобализации и социализации пространства, сколько накладывается на них. Утрата территориальной идентичности есть процесс деидентификации, а усердная идентификация (локальная, этническая, гендерная и др.) лишь указывает на место в социальном пространстве, хотя и сконструированном на основе физического (этнического, гендерного и т.д.), но являющемся лишь знаком, символом социальной позиции, чаще всего, выбранной самим индивидом.

Все формы такой регионализации можно свести к трем основным. Во-первых, это – следствие конкуренции со стороны эндогенных источников силы, способных если не уничтожить государство, то существенно ограничить его возможности либо на части территории, либо на всей территории в какой-то сфере. Во-вторых, это рост экономического потенциала провинций и регионов страны и формирование основывающихся на их ресурсах локальных социальных институтов, ограничивающих возможности центральных. В-третьих, это процессы этнического и культурного самоопределения в отдельных провинциях, которые могут в перспективе получить автономию в ряде сфер наличествующей в стране социальной системы.

Таким образом, источники современных представлений о пространстве в социологии и других социальных науках носят двойственный характер. С одной стороны, это – более или менее генерализированный индивидуальный опыт повседневного переживания пространства. С другой стороны, – это некоторая совокупность представлений о нем, сформировав-

шихся в данном обществе, в целом стремящаяся к логической непротиворечивости точных наук (физики и математики). Социологическая традиция исследовала преимущественно вторую составляющую этих представлений, согласно которой дифференциация и членение пространства есть проекция социальной дифференциации на физическую поверхность. Следующий этап исследования должен включать в себя изучение того, как именно отдельные составляющие множественной человеческой природы, в данном случае его определенность в пространстве, влияют на повседневное поведение индивида.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дюркгейм Э. Социология. Ее метод, цели и назначение / Э. Дюркгейм; пер. с фр. М.: Канон, 1995. 432 с.
2. Бергер П. Социальное конструирование реальности / П. Бергер, Т. Лукман. М.: Медиум, 1995. 320 с.
3. Бурдые П. Социология политики / П. Бурдые. М.: Социо-Логос, 1993. 336 с.
4. Койре А. Очерки истории философской мысли / А. Койре; пер. с фр. М.: Прогресс, 1989. 296 с.
5. Элиаде М. Космос и история. Избранные работы / М. Элиаде. М.: Прогресс, 1987. 311 с.
6. Бауман З. Спор о постмодернизме / З. Бауман // Социологический журнал. 1994. № 4. С. 69-80.
7. Мертон Р.К. Явные и латентные функции / Р.К. Мертон // Американская социологическая мысль / пер. с англ. М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 379-447.
8. Кесельман Л.Е. Межпоколенческий сдвиг индивидуального оптимизма/пессимизма в современном российском обществе / Л.Е. Кесельман, М.Г. Мацкевич // Журнал социологии и социальной антропологии. 1998. Т. 1. С. 113-120.
9. Быховская И.М. Homo somaticus: аксиология человеческого тела / И.М. Быховская. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 208 с.
10. Лиотар Ж.-Ф. Условия постмодерна / Ж.-Ф. Лиотар; пер. с фр. Н. Шматко. М.: Алетейя, 1998. 160 с.
11. Кант И. Критика чистого разума / И. Кант; пер. в нем. Н. Лосского. М.: Мысль, 1994. 590 с.
12. Теннис Ф. Общность и общество / Ф. Теннис. СПб.: Владимир Даль, 2002. 452 с.

**Звоновский Владимир Борисович** –  
кандидат социологических наук,  
директор по исследованиям  
Фонда социальных исследований

**Zvonovskiy Vladimir Borisovich** –  
Candidate of Sciences in Sociology,  
Research Director  
of Social Research Institute

*Статья поступила в редакцию 10.11.09, принята к опубликованию 27.01.10*

УДК 316.35

**Я.К. Нелюбова**

### **ОБРАЗОВАНИЕ ДЕТЕЙ-СИРОТ В УСЛОВИЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ**

*Статья посвящена анализу последних образовательных инициатив государства в рамках Национального проекта «Образование» и специфике их реализации на региональном уровне. Автор рассматривает включен-*

*ность традиционно закрытой сферы обучения детей-сирот в процессы модернизации образования, отслеживает первые результаты и противоречивые тенденции, способные оформиться в образовательные и социальные риски.*

Национальные проекты в образовании, коммерциализация образования, качество образования, социальное исключение, дети-сироты.

**Ya.K. Nelyubova**

### **OF ORPHAN CHILDREN EDUCATION WITHIN NATIONAL PROJECTS: REGIONAL ASPECT**

*The article is devoted to the analysis of the latest initiatives of the state concerning education within the National project «Education» and the specifics of their realization on the regional level. The author scrutinizes the involvement of the traditionally closed area of educating orphan children in the processes of social modernization, as well as traces the first results and controversial tendencies, which can transform into educational and social risks.*

National education projects, commercialization of education, educational service, social exception, orphan children.

Законодательные инициативы государства в области образования, здравоохранения, социальной сферы являются объектом пристального анализа с точки зрения их декларируемой и фактической адресности, степени эффективности, условий реализации на местном уровне, а также оправданности социальных последствий.

Представители различных социологических подходов, признавая приоритетную роль образования, различно интерпретируют его место в общественной жизни. С позиций классического функционализма образование впервые было рассмотрено как социальный институт, подконтрольный государству, изменения в котором обусловлены социально-экономическими изменениями в обществе. Э.Дюркгейм считал школу важнейшим институтом социализации, через который общество транслирует моральные ценности, в котором формируется «желаемое» моральное сознание [7, с.65]. В концепции структурно-функционального анализа (Т. Парсонс, Р. Мертон) образование выполняет функцию дифференциации индивидов, дает им возможность приобрести опыт соревновательности, подготавливает к принятию взрослых ролей. При этом само образование может быть проанализировано с позиции явных и скрытых функций, объективных и субъективных потребностей, а также феномена дисфункции [9, с.12]. П.А. Сорокин, создатель интегральной парадигмы, выделял селекционирующую функцию образования, видел в нем механизм воспроизводства социальной структуры и иерархии, отделяющий «хороших» будущих граждан от «плохих», «способных» от «неспособных», «подходящих для высоких социальных позиций» от «негодных» [17, с.410]. Такое видение образования представляется актуальным и для современного понимания неравных образовательных возможностей и стратифицирующей роли образовательных институтов.

Трансформационные процессы, протекающие в современном российском образовании, могут быть рассмотрены через призму постмодернистских теорий, согласно которым в настоящее время увеличивается неопределенность многих социальных реалий, социальные трансформации могут носить нелинейный и центробежный характер, а задачей социологического анализа выступает не поиск исчерпывающих ответов, а выявление наиболее характер-



ных тенденций общественного развития. Применительно к теории и практике образования постмодернизм задается вопросами контроля над содержанием образования, а также власти одного, теоретического дискурса над остальными. При этом образование рассматривается как доминирующая общественная подсистема, определяющая сферу труда и экономики. В условиях потребительского общества (Ж. Бодрийяр) образование в меньшей степени ориентировано на реализацию своих культурно-ценностных функций, превращаясь в образовательную услугу, позволяющую приобрести символ, маркирующий статусную позицию. Нам представляется, что именно в этом контексте могут быть рассмотрены новейшие инициативы в области образования, определяемые как «национальный проект» и выражающие «легитимную», пользуясь терминологией П. Бурдьё, точку зрения государства и его включенность в процессы коммерциализации образования. Эта точка зрения, отраженная в официальных высказываниях, согласно П. Бурдьё, выполняет три функции – диагностики (т.е. акта узнавания и подтверждения), администрирования, когда при помощи директив и приказов людям указывается, что они должны сделать, и сообщения с помощью официальных отчетов о том, что сделано в действительности [4, с.82]. Поскольку на образовательном пространстве пересекаются интересы различных социальных групп, предпримем попытку проанализировать преимущественную социальную направленность проектов в области образования и первые итоги их реализации на региональном уровне, опираясь на официальные документы и самоотчеты образовательных учреждений.

Национальный проект «Образование», стартовавший в конце 2005 года, определяется официальными лицами как «мощный стимул интенсификации инновационных процессов в российской образовательной системе» [6, с.3]. Инновации затрагивают принципы, подходы, содержание, а также структурные изменения в образовании (введение дошкольного образования, профильной и предпрофильной подготовки, изменение итоговых форм аттестации старшеклассников, процедуры аттестации педагогических кадров и многое другое). Изменяются мотивационные стратегии (поддержка лучших учителей, доплата за классное руководство, конкурсное внедрение инновационных программ), призванные повысить статус педагогических работников.

Наиболее масштабные изменения в региональной системе образования последовали с начала 2008 года, когда Саратовская область, в числе других 10 регионов, победила в федеральном конкурсном отборе субъектов Российской Федерации, реализующих комплексные проекты модернизации образования (КПМО). В связи с этим только в течение 2008 года правительством Саратовской области было принято более 30 нормативно-правовых актов в сфере образования, а область получила из федерального бюджета 290 млн руб. на выполнение принятых обязательств. По мнению министра образования Саратовской области М.В. Горемыко, происходящие изменения затрагивают не только региональную систему образования, но и экономику области в целом и нацелены на переход от уравнительной системы оплаты труда к учету результативности работы учителя и качества оказания образовательных услуг [6, с.3]. Достижение этой цели планируется за счет введения новой системы оплаты труда (НСОТ) и нормативного бюджетного финансирования, построения региональной системы оценки качества образования (РСОКО), оснащения образовательных учреждений до уровня современных требований, создания органов гражданского участия в управлении образованием.

В 2008 году в КПМО приняли участие 1249 общеобразовательных учреждений области, за исключением:

- 1) начальных школ – детских садов компенсирующего вида;
- 2) детских домов для детей раннего (1,5 до 3 лет), дошкольного, школьного, смешанного возрастов;
- 3) специальных (коррекционных) детских домов для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, с отклонениями в развитии;

4) специальных (коррекционных) школ-интернатов для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, с отклонениями в развитии;

5) вечерних (сменных) общеобразовательных школ при ИТУ и воспитательно-трудовых колониях.

В своей основе поле образовательных реформ не ориентировано на интересы уязвимых категорий детского населения, а именно воспитанников детских домов, школ-интернатов для умственно-отсталых детей и коррекционных школ. Невнимание государства к этой сфере образования частично можно объяснить набирающими силу тенденциями деинституционализации, затрагивающими, в первую очередь, детские дома для относительно здоровых детей раннего и дошкольного возраста и проявляющимися в экономической поддержке приемных семей. Исключение из КПМО учреждений интернатного типа для детей-сирот с отклонениями в интеллектуальном развитии, не комментируемое в нормативных документах и на официальном уровне, лежит в русле привычных для этой категории практик исключения «социально-неполноценных» индивидов. Учреждения для детей с ограниченными возможностями здоровья (нарушениями зрения, слуха, опорно-двигательного аппарата), а также общеобразовательные школы-интернаты для детей-сирот без отклонений в развитии и кадетские школы-интернаты стали участниками КПМО.

Таким образом, традиционно закрытая сфера образования по истечении четырех лет частично включается в новый этап национального проектирования. Между тем, из проживающих на территории Саратовской области 479779 чел. детского населения, на учете в органах опеки и попечительства состоят 10380 детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей (в возрасте до 18 лет). На семейных формах воспитания находятся 7245 детей (69,7%, в 2006 г. – 66%), в интернатных учреждениях области – 2123 ребенка (20,4%, в 2006 – 21,4%, в 2005 – 38%) [19, с.43]. Удельный вес безнадзорных и **беспризорных** детей составляет 1,2% от общего числа детей. По этому показателю Саратовская область занимает 4-е место в ПФО [11]. Абсолютные показатели числа детей-сирот в регионе уменьшаются, однако, такое уменьшение происходит на фоне общего сокращения числа детей, относительные же показатели свидетельствуют о росте тенденции к увеличению числа детей-сирот. Находит ли эта тенденция отражение в происходящем реформировании образовательной системы?

В связи с тем, что пилотные общеобразовательные интернаты Саратовской области перешли в течение учебного года на новую систему оплаты труда и начали реализовывать другие направления КПМО, попробуем сделать первые выводы относительно того, насколько изменился их экономический и образовательный статус в условиях национального проектирования и реализации основных направлений КПМО.

*Введение новой системы оплаты труда и нормативного бюджетного финансирования.* Еще в 2007 году по итогам совместной работы Минобрнауки России и органов управления образованием субъектов РФ в регионы была направлена Модельная методика введения нормативного («подушевого») бюджетного финансирования. «Подушевой» норматив – это минимальный объем финансовых средств, необходимых для реализации образовательной программы в учреждениях конкретного региона в соответствии с госстандартом общего образования в расчете на одного обучающегося в год. Согласно заверениям руководителей Минобрнауки в лице А.А. Левитской, «практика расчета нормативного «подушевого» финансирования показывает, что реализация его принципов позволяет обеспечить более эффективное распределение бюджетных средств на образование за счет смещения акцента на финансирование нужд не учреждения, а обучающегося» [15, с.78].

Первоначальная общественная реакция на планируемые изменения принципа оплаты труда была достаточно сдержанной, при этом большинство опасений были связаны с угрозой «вымывания» из школ специалистов узкого профиля – социальных педагогов, психологов, логопедов [15, с.74].

Министерство образования Саратовской области определяет этот риск как «прогнозируемый», но, по сути, передает решение кадрового вопроса на усмотрение руководителей образовательных учреждений, оговаривая, что «неверное» его решение может стать административно невыгодным: «В условиях действия рыночных механизмов обеспечить сбалансированное штатное расписание школы, сохранить психологическую, медико-социальную службу невозможно запретительными или директивными методами. Но в процедуры лицензирования и аккредитации образовательных учреждений, мониторинговые исследования качества образования мы включили показатели здоровья учащихся, сформированности воспитательной системы школы...» [6, с.8]. Следует напомнить, что 1 января 2002 г. в Саратове уже происходило сокращение числа ставок социальных педагогов, которое в городском комитете по образованию объясняли «демографическим спадом среди учащихся» [18, с.342]. Следующие три года, по данным ГУ ГУВД Саратовской области, характеризовались неуклонным ростом зарегистрированных правонарушений среди несовершеннолетних (2003 г. – 2071, 2004 г. – 2295, 2005 г. – 2401 случая соответственно) [5]. Нельзя говорить о прямой причинно-следственной связи между этими явлениями, но, тем не менее, потенциальная возможность сокращения социальных педагогов и психологов ставит под угрозу выполнение Федерального закона № 120 «Об основах профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних», согласно которому, образовательные учреждения должны оказывать профессиональную психолого-педагогическую помощь детям с проблемами в поведении и развитии.

В плане ближайшей перспективы, как показывают наши наблюдения в образовательных учреждениях, усиливается тенденция сохранения в ОУ только самых высокопрофессиональных психологов и социальных педагогов, «доказавших» свою необходимость в образовательном процессе и сокращения низкоквалифицированных, формально работающих специалистов. Тем не менее, в зоне риска остаются молодые специалисты и те, чья профессиональная позиция не согласуется с линией администрации.

Переход на новую систему оплаты труда для школ-интернатов регламентировалось Законом Саратовской области от 24.12.2008 года № 352-ЗСО «О порядке определения и утверждении нормативов финансирования образовательных учреждений в части расходов на реализацию основных общеобразовательных программ и на содержание обучающихся (воспитанников) в областных государственных образовательных учреждениях интернатного типа». Уже с сентября 2008 г. система начисления заработной платы изменилась в трех пилотных общеобразовательных учреждениях – кадетской школе-интернате, кадетской школе-интернате № 2, школе-интернате № 2 для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей г. Саратова. Имеющиеся данные по новой системе оплаты труда, появляющиеся в отчетах официальных лиц, на сайтах министерства образования, в СМИ очень противоречивы, их средние показатели постоянно меняются. «Мы работаем в проекте, и подчас наши действия опережают изменение нормативной базы, – отметил М. Горемыко в интервью «Российской газете». – Сегодня очень многое зависит от муниципальной власти. Ситуация с реализацией проекта в разных районах области неодинаковая. Отсюда и разброс в учительских зарплатах: в одних районах средняя зарплата учителя выросла до 15 тысяч рублей, в других – лишь до девяти» [14]. Заработная плата в бюджетных образовательных учреждениях перестала быть стабильной характеристикой, зависит от множества составляющих, таких как наполняемость классов, внеклассная нагрузка, динамика стимулирующих выплат, нормативная обеспеченность на муниципальном уровне и др.

Заголовки новостей на сайте министерства образования, посвященные НСОТ, выглядят довольно оптимистично: «Педагоги «пилотных» школ области получили повышенную зарплату», «Заработная плата педагогов «пилотных» интернатных учреждений области увеличилась на 83,5%» и содержат, на сегодняшний день, довольно локальные сведения, не позволяющие произвести глубокого сравнительного анализа изменений в заработной плате педагогов общеобразовательных школ и интернатных учреждений. Так, согласно официальным

данным, средняя заработная плата педагогических работников областных учреждений в сентябре 2008 г. составила 12323,57 руб., что выше уровня оплаты труда в 2007/2008 учебном году на 42%, при этом средняя заработная плата учителей в кадетской школе-интернате № 2 составила 15914,0 руб. что на 83,5% выше уровня заработной платы (8673,9 руб.) в предыдущем учебном году. Рост средней заработной платы обусловлен выплатой надбавок стимулирующего характера и оплатой часов внеаудиторной занятости (подготовка к урокам, работа с родителями, дополнительные занятия с обучающимися и др.), которая в среднем составила 1186,0 руб. Прежней системой оплаты труда названные выплаты не предусматривались. К концу 2008 года средняя зарплата учителей пилотных школ возросла с 6,9 до 14,8 тыс. руб. [16].

Демографический спад конца 90-х годов до сих пор влияет на наполняемость классов, не позволяя достигнуть соответствующих нормативов и соответствующего уровня зарплаты, зависящего от «ученико-часа». Косвенным эффектом «борьбы за ученика» в общеобразовательных школах стал, например, прием в первый класс детей, не достигших даже 6-летнего возраста. Не будут ли интернатные учреждения заинтересованы в притоке новых воспитанников? Позволит ли новая система оплаты труда действительно повысить значимость труда учителя и воспитателя, работающего в интернатных учреждениях? Повысится ли статус специалистов социально-психологической службы таких учреждений? Вот лишь некоторые из вопросов, возникающие в связи с происходящими изменениями.

*Внедрение региональной системы оценки качества образования.* Региональная система оценки качества образования (РСОКО) определяется идеологами образовательных реформ как важнейшая составляющая комплексного проекта модернизации образования. К настоящему времени утверждено Положение о РСОКО, создан «Региональный центр оценки качества образования», который разрабатывает систему критериев, показателей и измерителей качества образования, отвечает за лицензирование и государственную аккредитацию образовательных учреждений, аттестацию руководителей и педагогов, независимую итоговую аттестацию выпускников основной школы, проведение единого государственного экзамена и мониторинговых исследований качества образования.

Проблема оптимальной системы оценки качества образовательного процесса – одна из самых сложных даже для массовой школы, не говоря о школе специальной. Несмотря на то, что формально часть школ-интернатов для детей-сирот обладают статусом общеобразовательных, до 75% обучающихся в них детей могут иметь диагноз «задержка психического развития» (ЗПР) [2]. Педагоги, работающие с этими детьми по скорректированным общеобразовательным программам, считают, что система оценки качества образования в школах-интернатах, помимо всего прочего, должна включать в себя оценку динамики изменений в учебном и личностном росте ребенка с ЗПР, а также оценку работы учителя с педагогически запущенными детьми. Важно, чтобы такие воспитанники имели собственные образовательные маршруты, собственные темпы освоения материала, что может повысить их мотивационные ресурсы, а также и собственные дифференцированные параметры оценки качества образования. Поскольку статус ЗПР, как правило, носит временный характер и к 9 классу у части детей диагноз может быть снят, им предстоит новая форма итоговой аттестации, что вызывает неизбежные сложности в силу социально-педагогической запущенности и дефицита мотивационного компонента личностного развития. В связи с этим педагоги таких учреждений не могут прогнозировать высокое качество образования для воспитанников, обучающихся по общеобразовательным программам и не имеющих ресурсов для их успешного освоения. Отсутствие таких ресурсов связано, в первую очередь не с ограничением психических и умственных способностей, а с отсутствием предшествующего продуктивного опыта образования. С другой стороны, диагноз ЗПР может являться оправданием для сдерживания педагогических усилий, а при наблюдающихся процессах сопротивления деинституционализации и способом рекрутирования новых воспитанников из числа детей-сирот, чьи права некому защитить.

В рамках региональной системы оценки качества образования любопытным нововведением, несомненно, заслуживающим качественного анализа, являются публичные доклады администрации образовательных учреждений, в том числе и общеобразовательных школ-интернатов. Помимо общей характеристики учреждений, их финансово-экономической деятельности, публичные доклады содержат разделы, призванные оценить качество образования: содержание образовательных программ, учебные и внеучебные достижения учащихся, подразумевающие, в первую очередь, качество сдачи учениками выпускных экзаменов в 9-х и 11-х классах и их внеучебную социальную активность.

Во всех семи публичных докладах общеобразовательных интернатов области присутствуют более или менее подробные показатели качества образования, однако, в большинстве случаев они носят формализованный характер, не раскрываются критерии оценки, не всегда есть сравнительные сведения по внутришкольным показателям, не говоря о соотношении с областными. Например: «За последние три года наблюдается повышение качества знаний на 10%. Это является следствием повышения качества преподавания»; «Выпускники нашей школы успешно сдали ЕГЭ по русскому языку и обществознанию и подтвердили свои итоговые оценки по этим предметам. Все выпускники 2007-2008 учебного года поступили в высшие (40%) и средние специальные учебные заведения (60%); «Все выпускники 2007-2008 учебного года подтвердили свои итоговые оценки на выпускной аттестации и поступили в средние специальные профессиональные учебные заведения». Приводятся таблицы успеваемости по классам, в основном 100%, и показатели качества знаний, как правило, в меньших показателях – «Успеваемость по школе составила – 92%, качество знаний – 13,3% [13]. Приводимые данные, видимо, в основном предназначены для органов управления образованием, так как заинтересованному читателю публичных докладов достаточно трудно понять, из чего складываются подобные показатели. Несмотря на то, что публичный доклад призван информировать общественность об особенностях организации образовательного процесса и укладе жизни общеобразовательного учреждения, качество самого доклада зависит, помимо всего прочего, и от готовности администрации к рефлексивной оценке собственных успехов и неудач, ориентации не только на количественные, но и на информативные качественные показатели.

Таким образом, проблема оценки качества образования учреждений интернатного типа, в которых большую часть контингента составляют дети-сироты, является составной частью движения в сторону стандартизации социальных и образовательных услуг. В стадии обсуждения находится образовательный стандарт второго поколения, который должен был бы нормативно задавать параметры обновляемой модели общего образования. Вместе с тем, в настоящее время на государственном уровне отсутствует система стандартов применительно к сиротам, которые находятся в государственных учреждениях, под опекой, или на семейных формах устройства. И, соответственно, отсутствует система оценки качества подготовки выпускников интернатных учреждений и коррекционных школ, которые давали бы представления об уровне социализации воспитанников, также отсутствуют и показатели, с помощью которых можно контролировать достижение этих стандартов [11, с.93].

Попытки, предпринимаемые на региональном уровне в этом направлении, с одной стороны, ориентируют общеобразовательные школы-интернаты на приближение к внедряемым на данный момент критериям качества общего образования, нацеливают на большую открытость этих сведений, хотя бы на уровне формальных показателей. При этом скрытыми остаются проблемы оценки качества образования детей с ЗПР, сравнения уровня сдачи итоговых экзаменов учениками школ и воспитанниками общеобразовательных интернатов, доступности для них высшего образования.

*Создание органов гражданского участия в управлении образованием.* Одним из характерных индикаторов движения в сторону гражданского общества, провозглашаемого с официальных трибун, является привлечение общественности для решения наиболее острых

социальных проблем. Данное направление КПОМО отражает достаточно необычную государственную инициативу в этом направлении, отчасти идущую вразрез с представлением, что в современной России потребность в институте общественных наблюдателей, независимых экспертов, да и просто волонтеров-помощников сформировалась лишь среди небольшого числа исследователей и энтузиастов из неправительственных организаций [18, с.376].

На риторический вопрос «Почему расширение гражданского участия предполагается только в сфере образования, а не в медицине или в сельском хозяйстве?» разработчики КПОМО отвечают, что в других социальных сферах есть иные механизмы влияния на систему, производящую товары и услуги [8, с.44]. В этом ответе обнаруживается констатация тенденции к коммерциализации образования в России. Расширение общественного участия в управлении образованием призвано включить механизмы учета интересов клиента, потребителя системы образования, а также контролировать распределение стимулирующей части фонда заработной платы администрацией. С этой целью были утверждены положения о Региональном совете по развитию образования Саратовской области, о муниципальном общественном совете, об управляющем совете образовательного учреждения, о школьном сайте, о публичном докладе директора и др.

Термины «потребитель», «клиент», «поставщик», «услуга» все активнее используются как официальными лицами образования, так и управленцами на местах. Например, один из руководителей образования так высказался об уходящих из школы детях: «Мы теряем своих работодателей!». Министр образования и науки РФ А. Фурсенко, выступая на Всероссийском молодежном форуме «Селигер-2007» увидел задачу образования в том, чтобы взрастить потребителя, который сможет грамотно использовать технологии и достижения, разработанные другими. Альтернативное мнение академика А.Г. Асмолова: «Хотя услуги в образовании в известном смысле слова есть, но сводить все образование к сфере услуг – ошибочно! ...Образование не сфера услуг, а институт становления культурной идентичности [3, с.50]» – отражает только часть общественной и научной дискуссии, развернувшейся по этому поводу.

Следует отметить, что именно это направление КПОМО наиболее трудно для реального воплощения, поскольку только официальным распоряжением невозможно изменить степень гражданской зрелости населения и сделать систему образования более открытой для общества. Руководители образовательных учреждений вряд ли могут быть заинтересованы в появлении дополнительного контролирующего органа. В решении коллегии министерства образования области от 4.03.09 г. «Об итогах развития системы образования области в 2008 году и задачах на 2009 год» отмечается, что массовое создание общественных структур в управлении образованием выявило проблему формального подхода к реализации их функций [16].

В целом, несмотря на позитивность идеи общественного участия, дискуссионными остаются вопросы о том, как именно общественные советы будут отслеживать качество работы образовательного учреждения, правомерен ли диалог общественного совета и образовательного учреждения в терминах «заказчик» – «поставщик», какие образовательные эффекты возможны, если орган государственно-общественного управления сможет выступать лоббистом интересов образовательного учреждения в органах власти и местного самоуправления?

И, наконец, наибольшую потребность в неформальном функционировании таких советов имеют детские дома и интернатные учреждения для детей-сирот и детей, имеющих ограниченные возможности в здоровье. Однако, занимая в образовательной иерархии низшие ступени и не являясь привилегированным сектором коммерциализации, они не могут рассчитывать на долю общественного участия, в основе которой лежит идея коммерческого продвижения на рынке образовательных услуг. Гражданское участие в управлении такими учреждениями может строиться в контексте соблюдения прав детей-сирот, контроля над их

содержанием и образованием, продвижения семейных форм устройства воспитанников, оптимизации путей взаимодействия с отечественными и иностранными усыновителями.

*Оснащение образовательных учреждений до уровня современных требований и развитие сети общеобразовательных учреждений.* Это направление КПОМО презентуется как одно из самых выигрышных, так как позволяет наглядно отследить изменения в материально-техническом оснащении образовательных учреждений, что является как важным маркером повышения качества образования, так и одним из главных аргументов необходимости идущих преобразований. Отслеживая первые итоги реализации КПОМО в других регионах, руководитель Центра прикладных экономических исследований и разработок Института развития образования Т. Абанкина отметила, что «руководители образования давно свыклись с мыслью, что в 40% учебных заведений не хватает канализации, горячей воды, столовой с возможностью горячего питания. Большинству из управленцев эти цифры даже не были известны. А некоторые, несомненно, про себя считали, что это нормально! Действительно, после появившейся в печати статистики многих шокировал факт, сколько школ в России не имеют туалетов...» [1].

В 2008 г. на строительство и ремонт школ, приобретение оборудования, учебников, школьных автобусов, пожарную безопасность общеобразовательных учреждений в Саратовской области было выделено 760,8 млн руб. областных средств. На мероприятия по развитию сети общеобразовательных учреждений направляется более 85% федеральных средств, полученных на реализацию КПОМО. В реализации именно этого направления наиболее четко проявляется главный принцип КПОМО – «поддержка лидеров», т.е. инвестирование и оснащение в первую очередь тех, кто уже доказал свою жизнеспособность и имеет достаточно развитую ресурсную базу. На практике это означает закрытие или реструктуризацию малокомплектных сельских школ и создание базовых школ, которые становятся информационным и методическим центром школьного округа. К весне 2009 г. в Саратовской области было закрыто 153 школы.

Несмотря на то, что интернатные учреждения не могут быть отнесены к «лидерам образования», в рамках КПОМО все же предпринимаются меры по укреплению их материальной базы, оснащению оборудованием, учебными принадлежностями, медицинскими препаратами. Доля учреждений интернатного типа, соответствующих нормам и требованиям правил пожарной безопасности и СанПиН, за 2008 год возросла с 73 до 84% [16]. В электронных показателях реализации КПОМО по Саратовской области можно найти данные о благоустройстве и оснащении интернатных учреждений области, включающие сведения от обеспечения холодным и горячим водоснабжением, пожарной сигнализацией до наличия мультимедийных проекторов, интерактивных досок и полного штата учителей-предметников. Существует, видимо, вероятность, которая может быть выявлена в ходе качественного исследования, завышения этих показателей, так как из 28 параметров оснащенности, в основном интернаты «страдают» отсутствием должного укомплектования кабинетов физики и химии. Тем не менее, само наличие этих показателей задает достаточно высокую планку и в случае устойчивого внедрения проекта повышает шансы детей-сирот на получение качественного образования.

**Выводы.** Управленческой элитой КПОМО рассматривается как главная результативная составляющая реализации Национального проекта «Образование», иницирующая изменения институционального порядка в системе управления образованием и имеющая высокие социальные эффекты модернизации. Небольшие сроки реализации проекта не препятствуют тому, что в риторике официальных лиц преобладают позитивные характеристики происходящих изменений, отмечаются интенсивность преобразований, преимущества проектной работы в режиме «обязательства регионов в обмен на финансирование из центра», подчеркивается явная возможность повышения качества образования и др.

Общеобразовательные интернатные учреждения для детей-сирот не являются приоритетными агентами КПОМО, практически полностью исключенной оказалась сфера спе-

циального коррекционного образования. Тем не менее, в рамках проекта предполагается стимулирование традиционно слабых зон, касающихся улучшения качества жизнеустройства и образования детей-сирот, а также повышения уровня оплаты труда сотрудников и их мотивационной ориентации на внеучебные формы взаимодействия с воспитанниками. Эти показатели на данном этапе реализации проекта затрагивают в основном внешние, формальные параметры изменений, не меняя устоявшихся практик. Даже частичное включение в проект образовательных учреждений для детей-сирот обнаружило следующие проблемные зоны:

– идеология национального проектирования в образовании, выстроенная по схеме бизнес-проекта и ориентированная на поддержку «лидеров», исключает возможность полноценного соблюдения интересов социально уязвимых категорий детей и отвечающих за них образовательных учреждений;

– жесткие временные рамки и условия реализации КПОМО на региональном уровне могут стимулировать создание в отдельных интернатных учреждениях действенных управленческих команд, однако, в ситуации отсутствия экспертизы образовательных проектов, трудно предположить, возобладает ли продвижение интересов детей над формальными показателями и «достижениями» самих учреждений;

– внедряемая в общеобразовательных интернатах для детей-сирот нормативно-бюджетная схема финансирования имеет риск повлечь за собой косвенную заинтересованность интернатов в определенной наполняемости классов и рекрутировании новых воспитанников;

– в условиях введения новых форм итоговой аттестации не разработанной остается система оценки качества образования детей с ЗПР, а воспитанники коррекционных школ и интернатов оказались исключенными из этого вопроса;

– продвигаемая «открытость» образовательных учреждений на данный период носит формализованный характер, а идея расширения гражданского участия в управлении общеобразовательными учреждениями не ориентирована на защиту прав детей-сирот.

Таким образом, коммерциализация образования и рост цен на образовательные услуги оставляют «за бортом» специальные формы образования, не имеющие потенциала позиционировать себя на рынке образовательных услуг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллова С. Анализируем КПОМО / С. Кириллова // Управление школой. 2008. № 6. URL: <http://upr.1september.ru/article.php?ID=200800601>.

2. Аналитическая справка «О ходе реализации КПОМО в МОУ «Школа-интернат для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей» Воскресенского муниципального района Московской области». URL: <http://150vossint.edusite.ru>.

3. Асмолов А.Г. Образование как ценностное полагание: диалог между педагогикой сотрудничества и культурно-исторической психологией / А.Г. Асмолов // Народное образование. 2008. № 5. С. 48-52.

4. Бурдые П. Социология социального пространства / П. Бурдые. М.: Институт экспериментальной социологии; СПб.: Алетейя, 2007. 288 с.

5. Главное управление внутренних дел по Саратовской области: Архив новостей. [http://www.guvd64.ru/news/news.asp?id\\_header=8&id\\_razdel=37&id\\_news=409](http://www.guvd64.ru/news/news.asp?id_header=8&id_razdel=37&id_news=409) URL.

6. Горемыко М.В. КПОМО в Саратовской области: региональные особенности реализации / М.В. Горемыко // Вестник образования Саратовской области. Август 2008. С. 3-13.

7. Дюркгейм Э. Социология и социальные науки / Э. Дюркгейм // Теоретическая социология: антология: в 2 ч. [под ред. С.П. Баньковской]. М.: Книжный дом «Университет», 2002. Ч. 1. С. 6-69.



8. Горемыко М.В. Комплексный проект модернизации образования в Саратовской области в вопросах и ответах / М.В. Горемыко. Саратов: ГОУ ДПО «СарИПКИПРО», 2008. 44 с.
9. Мертон Р. Явные и латентные функции / Р. Мертон // Американская социологическая мысль. Тексты / под ред. В.И. Добренькова. М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 379-448.
10. Об итогах работы министерства социального развития Саратовской области за 2008 год и задачах на 2009 год. URL: <http://www.sosial.saratov.gov.ru/news/social.php>.
11. Овчинников А. Система стандартов качества услуг для учреждений интернатного типа / А. Овчинников // Социальная педагогика. 2008. № 3. С. 93-101.
12. Парсонс Т. Понятие общества: компоненты и их взаимоотношения / Т. Парсонс // URL: <http://www.gorod.org.ru/biblio.shtml>.
13. Показатели КПОМО по субъекту Российской Федерации: Саратовская область. URL: <http://www.kpomo.ru/report/view/obi/26539/level/4/state/1/view/school>.
14. Интервью министра образования Саратовской области М.В. Горемыко «Российской газете» 28.10.2008. URL: <http://www.saratov.gov.ru/news/interviews/detail.php?ID=31093>.
15. Проблемы «подушного» финансирования в образовании // Вестник психосоциальной и коррекционно-реабилитационной работы. 2007. № 3. С. 74-80.
16. Решение коллегии министерства образования Саратовской области «Об итогах развития системы образования области в 2008 г. и задачах на 2009 г. от 04.03.2009». URL: <http://edu.seun.ru/main/modules.php?name=4pnp>.
17. Сорокин П.А. Социальная стратификация и мобильность / П.А. Сорокин // Человек. Цивилизация. Общество. М.: Политиздат, 1992. С. 295-424.
18. Социальная политика и социальная работа в изменяющейся России / под ред. Е.Р. Ярской-Смирновой. М.: ИНИОН РАН, 2002. 456 с.
19. Ткаченко И.В. Реализация демографической политики на территории области / И.В. Ткаченко // Вестник образования Саратовской области. Август 2008. С. 43-46.

**Нелюбова Янина Камильевна** – аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета

**Nelyubova Yanina Kamilyevna** – Post-graduate Student of the Department of «Social Anthropology and Social Work» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 08.09.09, принята к опубликованию 14.01.10*

УДК 65.011.46

**И.Ю. Резник**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОГРАММ –  
ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
СОЦИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЩЕСТВА**

*Рассматривается комплекс вопросов, возникающих при формировании и реализации программ социально-экономического развития региона. Обсуждаются вопросы учета реальных потребностей населения, формы рас-*

*пределения ресурсов при реализации программ и обеспечения обратной связи в системе «власть – население».*

Социальные программы, социальное управление, социально-экономическое развитие.

**I.Yu. Reznik**

## **MODERN TECHNOLOGIES OF SOCIAL PROGRAMMS REALIZATION – A SOCIETY'S SOCIAL SAFETY BASIC FACTOR**

*The author considers the complex of questions, which appears in formation and realization of programs of social-economical development of region. He discusses problems of accounting of real needs of population.*

Social programs, social control, social-economical development.

Социальное пространство современной России находится в стадии углубления развития реформ и модернизации экономики, что связано с серьезными изменениями во внешней и внутренней политике страны и изменениями в системе социальных отношений. Изменения социального пространства предопределяются, с одной стороны, внешними обстоятельствами, развитием международного сотрудничества, системы политических и экономических связей, проявлениями различных форм глобализации мирового сообщества. Вместе с тем, развитие социального пространства России, изменения в социальной структуре общества зависят от комплекса внутренних причин, определяющих уровень социально-экономического состояния страны, качество жизни населения и общий ресурс социальной безопасности государства. Изменение социального пространства, безусловно, отражает в своих особенностях проявления общих закономерностей развития общества, однако, в значительной части, является результатом совместной деятельности всех ветвей государственной власти, действие которых носят характер рационального объединения стратегических и тактических устремлений, естественными ограничениями для которых является наличие соответствующих возможностей и ресурсов [1, 2]. Концепция социально-экономического развития страны, в целом, и ее регионов, в частности, занимает ключевое место в соответствующих документах федерального и регионального уровней, формирующих систему нормативно-правовых отношений между соответствующими сторонами в социальной иерархии общества [3].

I. Формирование документов, определяющих концепцию социально-экономического развития страны, происходит вначале на федеральном уровне с последующей детализацией государственной политики на уровне регионов. Основные направления деятельности правительства страны и ориентиры, подтверждающие степень и уровень реализуемости целевых установок, фиксируются на уровне Федеральных законов РФ.

В своем углублении и детализации концепция социально-экономического развития постоянно поддерживается деятельностью правительства, законодательных структур исполнительной власти, общественно-политическими силами. Определенная периодизация или временные регламенты в подведении итогов в планах реализации программ социально-экономического развития на уровнях Федерации и регионов, в том числе и обработка информации статистическими органами, дают необходимые сведения, позволяющие вводить соответствующие «корректировки», реализуя в практической жизни общества принцип обратной связи, обеспечивающий устойчивость функционирования больших систем. Можно отметить, что системный подход в разработке государственной внутренней и внешней политики страны, его эффективность, уровень рационализма в определении баланса целей и воз-

возможностей, их достижения определяют реальные темпы развития общества. Вопрос, скорее, заключается в том, насколько удачным при разработке соответствующих документов является подбор «команды» разработчиков и исполнителей. Завершающим итогом в развитии концепции и форм ее реализации в виде соответствующих программ социально-экономического развития становится достаточность финансово-материального обеспечения, закрепляемого государственным бюджетом. Реализация программ социального развития страны и ее регионов является важнейшим элементом социального управления, особенности которого требуют учета на всех уровнях исполнительной власти [3].

II. Разработка программ социально-экономического развития на уровне региона, при всей открытости и прозрачности связей с документами федерального уровня, определяется необходимостью учета особенностей региона, которые формировались на протяжении многих десятилетий и отражают сложную историю развития народно-хозяйственной, общественной, духовной сторон деятельности населения, зачастую, на огромных территориях. Последнее характерно, в частности, для субъектов Федерации, входящих в Сибирский федеральный округ.

Возвращаясь к вопросу о разработке концепции и программы социально-экономического развития Иркутского региона, отметим, что в этом направлении накоплен определенный опыт, анализ которого дает основания говорить о существовании определенных традиций [4], технологий формирования и реализации достигаемости намеченных ориентиров, что получило закрепление на уровне региональных законов [5].

Программа социально-экономического развития области разрабатывается как документ стратегического уровня с перспективой реализации в течение достаточно длительного времени, как правило, в нескольких вариантах, предполагающих определенные прогнозы в развитии событий в зависимости от различных обстоятельств и степени финансовой обеспеченности предлагаемых решений [6].

III. Реализация программ социально-экономического развития, имея в виду ее инфраструктуру на уровне региона, нацелена на решение основных проблем населения региона, что предполагает соответствующий уровень взаимопонимания между структурами власти и населения региона, в интересах которого развивается промышленно-производственный и научно-технический потенциал региона, создаются рабочие места, решаются проблемы повышения качества жизни, закрепления населения на обживаемых территориях и т.д. Вместе с тем, программа созидательной направленности, так или иначе, приводит к изменениям социального пространства, что не может не приводить к разным позициям в оценке происходящих перемен у различных слоев населения или в социальных группах, что сопровождается, зачастую, процессами изменения соотношений в социальной иерархии общества. Последнее приводит к возникновению новых социальных проблем, появление которых на уровне предварительных разработок программы социально-экономического развития вполне ожидалось, однако, детализация содержательной части и количественные параметры все же определяются конкретикой места, времени и условий их появления. Поэтому региональные социальные программы в программах социально-экономического развития региона занимают особо важное место, являются её «болевыми» точками. Блок социальных программ занимает значительное место в планах социально-экономического развития региона. В частности, для социальной практики Иркутского региона характерен ряд социальных программ [7, 8].

Можно отметить, что в каждом регионе имеется, как правило, свой перечень, отражает он специфику региона, однако, наблюдается и существование некоторых «инвариантов», то есть программ, характерных практически для всех регионов. К ним относятся социальные программы по борьбе с наркоманией и др.

IV. Важным обстоятельством в учете социальных потребностей, решении возникающих социальных проблем становится, с одной стороны, создание определенной системы, поддерживающей технологию доведения (в идеале взаимно-однозначного) возникающих

проблем до структур исполнительной власти, реализующих (или контролирующих) реализацию социальных программ. С другой стороны, желательны возможности предвидения, упреждения или, наконец, своевременной фиксации возникающих социальных проблем в соотнесении их с определенными слоями населения или социальными группами.

Предлагаемый подход отражает системное восприятие деятельности государственной власти по решению социальных проблем в понимании необходимости упреждающих действий, как более эффективных для локализации и снятия социальных напряженностей и появления конфликтных ситуаций, которые могут возникать (и возникают) в случаях неудовлетворения социальных потребностей населения [2].

Системная технология в реализации социальных программ требует соответствующей детализации в представлениях о социальном управлении, поскольку социальные программы, по существу, являются одним из действенных инструментов решения социальных проблем.

V. Для подавляющего большинства населения региона с его социальными группами социальные программы являются связующими нитями между структурами исполнительной власти и населением. По существу, средства, сформированные за счет налогов населения, сконцентрированные на определенных статьях расхода госбюджета, идут на выполнение определенного «социального заказа». Такой взгляд на ситуацию предопределяет существование определенной цепи причинно-следственных связей, которые замыкаются (по принципам обратной связи больших систем) и в состоянии формировать некоторые оценочные позиции, определяющие, в целом, степень и уровень социального партнерства, социальной солидарности, качества жизни, демонстрирующихся в отношении населения к власти. В определенном смысле власть оказывает услугу социальной группе и вправе иметь для себя оценочные характеристики своих действий или знать реакцию на свою деятельность со стороны населения. Последнее представляется совершенно необходимой составляющей социального управления, которое и формирует представление о «власти с человеческим лицом». Достаточно обоснованным является также принятие оценки деятельности исполнительной власти как результат работы определенной «команды», что практически уже апробировано в виде лозунгов в политических кампаниях по выборам в органы исполнительной власти. Восприятие структур власти, реализующих социальные программы, не может не восприниматься как деятельность корпоративных структур, поскольку реализация социальных программ в настоящее время приобретает облик достаточно развитых и наукоемких технологий удовлетворения общественных потребностей. Последнее, естественным образом, означает приобретение и закрепление опыта, накопленного в различных сферах оказания услуг, и стремление к тому, чтобы исполнительная власть в глазах населения имела соответствующий бренд, а работа властей была построена профессионально в плане менеджмента и была эффективной. Понимание эффективности работы региональных команд исполнительной власти (деятельность аппарата администрации региона, в частности, контролируется по широкому перечню показателей.

VI. Развитие отношений между структурами власти и населением в духе социального сотрудничества, партнерства, повышение качества жизни, решение насущных проблем жизни населения региона предполагают разработку определенной технологии формирования программ социально-экономического развития региона в различных аспектах отображения этой программы на многостороннюю социальную проблематику потребностей населения. Системный подход развивается как методологическая основа взаимосвязи целей и задач развития государства и регионов, учета динамизма в изменении социального пространства современного общества, распространения системы рыночных отношений на различные сферы деятельности, включая политические аспекты реализации социальных программ.

Технологию формирования социальных программ и их реализацию можно отнести к современным направлениям социологии, имеющим непосредственное отношение к обеспе-

чению социальной безопасности современного общества и обеспечению устойчивости его развития.

Авторитет исполнительной власти во всех проявлениях ее иерархической структуры имеет большое значение для установления доверительных отношений между администрацией региона и его районов с социальными группами, имея в виду необходимость решения таких важных вопросов, как обеспечение необходимого уровня качества жизни, сохранение здоровья, увеличение долголетия и закрепление населения в Сибири.

Важное значение при формировании социальных программ имеет обеспечение соответствующего баланса в предположениях о развитии социальных запросов в определенных социальных группах, рассматриваемых с позиций внутренней логики программы, в целом, с реальными запросами социальных групп, живущих насущными проблемами дня и заботами. Существующая практика формирования программ, контроль за их реализациями, формирование бренда исполнительной власти, развитие корпоративной этики «власти с человеческим лицом» еще не стали стереотипами отношений настоящего дня, однако, в этом направлении многое делается. Многие стороны отношений с социальными группами нуждаются в развитии, детализации этики поведения и воспитании чувства персональной ответственности к вопросам, от решения которых зависят судьбы населения региона.

По результатам сравнительных исследований можно сделать ряд основных выводов.

1. Одним из инструментов или средств целенаправленного изменения социального пространства на федеральном или региональном уровнях может рассматриваться такая институциональная форма, как программа социально-экономического развития, опирающаяся на соответствующие директивы внешней и внутренней государственной политики.

2. Системная методология превращает технологию создания концепции и программы социально-экономического развития в наукоемкую технологию решения социальных проблем современного общества. Однако процесс создания и реализации таких технологий требует развития дополнительных к существующим способов контакта с населением региона и его районов в плане рационального сочетания мер упреждающего характера, разрабатываемых администрацией, и реальных потребностей населения в их конкретном представлении и увязке с проблемами насущного дня.

3. Социальные программы являются важным разделом программ социально-экономического региона, обеспечивая преемственность государственной политики федерального уровня с конкретными задачами регионального уровня.

4. Реализация социальных программ может рассматриваться как важнейшая компонента в формировании положительного имиджа исполнительной власти, её бренда, определяющего соответствующей окраской деятельность команды исполнительной власти в ее конкретных формах, связанных с районами, в том числе городскими, а также командой губернатора региона. Последнее требует достаточно четкого понимания специфики социальной роли корпоративного поведения и управления, особенностей отношений с общественностью, средствами массовой информации, знаний технологий «паблик рилейшнз».

5. Особенностью реализации программ регионального уровня является, в методологическом плане, их направленность на методы фрактального воспроизводства отдельных целевых установок, «сквозным» образом связывающих несколько уровней иерархической системы управления программой: от федерального до районного уровней.

6. Динамизм изменения социального пространства способствует активному развитию современных направлений социологии, которые связаны с оценкой изменения отношений между социальными группами и внутри таковых, наличием общих целей, задач в различных социальных группах. К числу таких общих проблем можно отнести проблемы получения профессионального образования и подготовки кадров, поддержки частного предпринимательства и малого бизнеса, проблемы социализации личности и ориентации её на достижение

социального успеха как некоторой идеологической основы в системе устойчивой мотивации в выборе жизненной позиции.

7. Разработка социально-экономических программ требует не только привлечения квалифицированных специалистов структур государственной власти, но и внимательного отношения к зарождающимся в социальных группах проблемам, что требует соответствующей подготовки специалистов на местах, а также создания определенных институциональных форм, способных стать организационно-технической основой эффективной реализации социальных программ.

8. Существующие технологии подготовки и реализации программ социально-экономического развития при всем опыте положительных действий, характерных для регионов европейской части страны, в меньшей степени оказались готовыми для тиражирования в условиях Сибири, специфика которых связана с иными масштабами хозяйственной деятельности и условиями жизни населения, что предполагает необходимость развития и расширения методологических основ социального проектирования, повышения эффективности управленческого труда структур государственной власти и более гибких технологий «паблик рилейшнз».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галкина Л.П. Социология управления: от группы к команде / Л.П. Галкина. М.: Финансы и статистика, 2003. 214 с.
2. Галда В.Н. Социологический анализ современных оснований безопасного развития общества: автореф. дис. ... канд. соц. наук / В.Н. Галда. Майкоп, 2004. 22 с.
3. Карпов В.В. Социально-экономические основы региональной политики в условиях трансформации общества: дис. ... канд. соц. наук / В.В. Карпов. Омск, 1998. <http://diss.rsl.ru/diss/03/038/030388028.pdf>.
4. Винокуров М.А. Экономика Иркутской области / М.А. Винокуров, А.П. Суходолов. Иркутск: Изд-во ИГЭА; Изд-во ОАО НПО Облмашинформ, 2006. 894 с.
5. Постановление Областного законодательного собрания Иркутской области от 19.09.2007 № 34/39-3С «Об областной государственной программе по оказанию содействия добровольному переселению в Иркутскую область соотечественников, проживающих за рубежом» на 2007-2012 годы. Иркутск, 2007. 140 с.
6. Резник И.Ю. Методологические аспекты региональных инновационных приоритетов / И.Ю. Резник // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Вып. № 1 (21). Иркутск: ИрГУПС, 2009. С. 166-170.
7. Постановление Областного законодательного собрания Иркутской области от 16.03.2005 № 7/26-3С «Об областной государственной программе «Молодым семьям – доступное жилье» на 2005-2009 годы. Иркутск, 2005. 28 с.
8. Постановление Областного законодательного собрания Иркутской области от 19.09.2007 № 34/16/3-С3 «О проекте областной государственной социальной программы «Патриотическое воспитание граждан Иркутской области» на 2008-2010 годы. Иркутск, 2007. 40 с.

**Резник Илья Юрьевич** –  
соискатель ученой степени кандидата  
социологических наук  
при НИИ современных технологий,  
системного анализа и моделирования  
Иркутского государственного  
университета путей сообщения

**Reznik Ilya Yuryevich** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Social Anthropology and Social Work»  
at Scientific Research Institute  
of Modern Technologies  
of System Analyses and Modeling  
of Irkutsk State Transport University

*Статья поступила в редакцию 10.12.09, принята к опубликованию 27.01.10*

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Статья, представляемая в редакцию журнала «Вестник СГТУ», должна быть тщательно отредактирована и распечатана в одном экземпляре через 1 интервал на белой бумаге форматом А4, поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12. Одновременно текст статьи представляется на диске в формате текстового редактора «MS Word 97» или по электронной почте [vestnik@sstu.ru](mailto:vestnik@sstu.ru).

2. Статья должна обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать четкие выводы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов,
- полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные),
- краткая (5-7 строк) аннотация (курсив),
- ключевые слова.

Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и список литературы, который повторяется на английском языке.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий; объем обзора – 25 страниц, 10 рисунков; объем краткого сообщения – не более 3 страниц, 2 рисунка.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул **Microsoft Equation 3.0**. Каждая формула должна иметь номер.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.1-2003 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

8. Специалисты в технических отраслях к статье прилагают экспертное заключение.

9. Рукопись статьи рецензируется ведущим ученым в данной области, как правило, доктором наук.

10. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

11. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и диски авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

13. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую на отдельном бумажном носителе и в электронном виде.

14. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.



## Регистрационная карта участника

<b><u>РЕГИСТРАЦИОННАЯ КАРТА АВТОРА, ПУБЛИКУЮЩЕГОСЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СГТУ»</u></b>		
Фамилия	Имя	Отчество
Полное название статьи		
Ученая степень	Ученое звание	Должность с указанием кафедры, отдела, лаборатории
Электронная почта	Служебный телефон/факс	Домашний адрес и телефон
Наименование направляющей статью организации		
Отрасль научной статьи		

### **РУБРИКИ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК СГТУ»**

- Проблемы естественных наук
- Машиностроение
- Новые материалы и технологии
- Электроника, радиотехника и приборостроение
- Энергетика и электротехника
- Автоматизация и управление
- Информационные технологии
- Архитектура и строительство
- Экология
- Экономика
- Социальные проблемы современности
- Гуманитарные науки
- Юбилеи