

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

**№ 4 (49)**  
**Выпуск 1**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Октябрь 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. Игнатьев

**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. Игнатьев, 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. Эде 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 Ю.С. Ольховцевой

Адрес редакции:  
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
Телефон: (845 2) 99-86-38  
E-mail: vestnik @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 06.10.10  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 39,5 Уч.-изд. л. 39,0  
Тираж 500 экз. Заказ 418  
Отпечатано в Издательстве СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

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

**Подписной индекс 18378**  
(каталог «Газеты. Журналы» на 1-е полугодие 2011 г.)

ISSN 1999-8341

© Саратовский государственный  
технический университет, 2010

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2010**

**№ 4 (49)  
Edition 1**

Scientific Journal

Since 2003  
Once in a quarter  
October 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 Merser (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. Lyanikov, Pr. A.I. Finaenov, Pr. M.A. Sherbakov.

Editor O.A. Panina  
Computer-based page-proof J.L. Zhupilova  
Rendering Yu.S. Olkhovtseva

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street  
Saratov, 410054  
Russia  
Telephone: +8452/99-86-38  
E-mail: vestnik @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 06.10.10  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 39,5 Acc.-pbl. l. 39,0  
Edition 500 psc. Order 418  
Printed in publishing house of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

<b>Агеев Р.В.</b> Математическое моделирование динамических процессов в гидродинамической опоре с трехслойным статором, установленной на вибрирующем основании.....	7
<b>Горбатенко Б.Б., Рябухо В.П., Гребенюк А.А., Мысина Н.Ю., Максимова Л.А.</b> Контроль микроперемещений методами цифровой голографической и спекл-интерферометрии .....	14
<b>Пулин В.Ф., Эрман М.А.</b> Структурно-динамические модели этилспиназарина и эхинохрома.....	25
<b>Старухин П.Ю., Клинаев Ю.В.</b> Моделирование доплеровского уширения спектра рассеянного лазерного излучения и диагностика кровотока в биологических тканях.....	28
<b>Элькин М.Д., Пулин В.Ф., Осин А.Б.</b> Математические модели в молекулярном моделировании .....	36

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

<b>Грибач А.Е., Шумячер В.М.</b> Повышение эффективности суперфиниширования путем применения брусков с гранулированной структурой .....	40
<b>Денисов А.С., Коркин А.А., Асоян А.Р.</b> Анализ факторов, влияющих на работоспособность подшипникового узла турбокомпрессора.....	44
<b>Денисов А.С., Погораздов В.В., Тугушев Б.Ф., Горшенина Е.Ю.</b> Технологическое обеспечение качества восстановленных коленчатых валов дизельных двигателей.....	49
<b>Карачаровский В.Ю., Рязанов С.А.</b> Применение методов компьютерной 3D графики и твердотельного моделирования при разработке технологических процессов зубонарезания .....	55
<b>Лушников С.Ю.</b> Оценка ресурса несущей системы при сложном напряженном состоянии (на примере рамы полуприцепа).....	60
<b>Славин А.В.</b> Влияние СОТС на стружкообразование при шлифовании металлов.....	64
<b>Шумячер В.М., Крюков С.А., Славин А.В., Мироседи А.И.</b> Инновационно-технологические принципы совершенствования абразивного инструмента .....	70

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Бекренев Н.В., Петровский А.П., Чиндыкова Т.Ю.</b> Оптимизация конструкций трансформаторов скорости ультразвукового оборудования на основе 3D-моделирования (постановка задачи).....	77
<b>Горбачёв Н.В., Горбачёва Е.Ю., Соловьева Н.Д., Краснов В.В., Федоров Ф.С.</b> Влияние предварительной обработки поверхности на электрохимические характеристики свинцового покрытия.....	83
<b>Казинский А.А., Лясников В.Н.</b> Теоретические основы наноструктурных технологий при плавлении металлов в плазменно-дуговых средах.....	89
<b>Кокорин В.Н., Крупенников О.Г., Груздев Д.П., Митюшкин А.А., Сизов Н.А.</b> Интенсификация уплотнения структурно-неоднородных механических смесей на основе железа.....	94
<b>Никитина Т.В., Собгайда Н.А.</b> Утилизация отработанных фильтров в качестве добавки при производстве керамических изделий.....	103
<b>Смирнова О.А., Гороховский А.В., Александрова С.А., Поляков С.Н.</b> Использование полититаната калия в качестве реагента для фотокаталитической очистки сточных вод красильных производств .....	108
<b>Юрков Г.Ю., Кособудский И.Д., Волков А.Н., Овченков Е.А., Кокшаров Ю.А., Попков О.В.</b> Синтез и свойства железосодержащих наночастиц, локализованных на поверхности оксида кремния.....	114

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

<b>Ахмедов М.А., Мустафаев В.А., Джафарова Ш.М.</b> Разработка модели функционирования активных элементов гибкой производственной системы.....	122
<b>Гривенев Д.А.</b> Математическая модель электрогидравлической системы регулирования скорости вращения вала генератора.....	128
<b>Мурин С.В., Бирюков В.П.</b> Робастный регулятор вязкости вискозы.....	133
<b>Садчикова Г.М.</b> Анализ преобразователей расхода по критерию А1 .....	137

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Клеванский Н.Н., Кашин С.С.</b> Формирование расписания занятий университета с использованием методов ранжирования.....	143
<b>Семенова И.И., Мишурич А.О.</b> Система управления моделями в области информационного противоборства .....	150

## **ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

<b>Белов А.С., Сахаджи Г.В., Бабанов Ж.Н., Попов И.А.</b> Катодно-сеточные узлы .....	161
<b>Зоркин А.Я., Семенов С.В., Сахаджи Г.В., Мясников А.С.</b> Особенности взаимосвязи фазовых превращений и эмиссии алюминатных катодов электровакуумных приборов .....	165
<b>Попов И.А., Соколова Т.Н., Сурменко Е.Л., Чеботаревский Ю.В.</b> Лазерная очистка микроструктурированной поверхности микроострийных автоэмиссионных катодов .....	170

## **ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

<b>Козлитин П.А.</b> Обоснование и разработка методов оценки техногенных опасностей тепловых электростанций .....	176
<b>Осипова Н.Н.</b> Выбор оптимальных параметров поселковых систем газоснабжения на базе резервуарных установок с искусственным испарением сжиженного углеводородного газа .....	182
<b>Усачев М.А.</b> Повышение энерго- и ресурсоэффективности подземных вертикальных резервуаров-испарителей сжиженного углеводородного газа с электронагревом на цели регазификации .....	187

## **АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

<b>Ивашенко Ю.Г., Страхов А.В.</b> Свойства силикатнатриевого связующего, полученного на основе силицитовых пород методом гидротермального синтеза .....	193
<b>Тимохин Д.К., Ивашенко Ю.Г., Шошин Е.А.</b> Добавка-модификатор из алкилзамещенных фенолов для цементных бетонов .....	200

## **ЭКОНОМИКА**

<b>Бардина И.В., Землянухина С.Г.</b> Рынок интеллектуального труда в инновационной экономике России .....	207
<b>Денисов Д.С., Кузнецов О.И.</b> Основные направления перестройки системы подготовки кадров в современных условиях .....	217
<b>Еремеев М.А.</b> Конкурентоспособность программ вознаграждения труда персонала: формирование и развитие .....	222
<b>Забазнова Т.А., Попкова Е.Г., Токарева И.В.</b> Особенности применения маркетингового инструментария на рынке «B2B» .....	228
<b>Иванова Т.Б.</b> Применение модели бюджетирования, ориентированного на результат, в стратегическом управлении экономическим развитием территорий .....	235
<b>Плотникова В.В.</b> Законодательное регулирование формирования консолидированной отчетности .....	242
<b>Решетникова Е.Г.</b> Развитие методологии регионального баланса денежных доходов и расходов населения .....	247
<b>Руст А.М., Суязов В.Н.</b> Бизнес-модель инновационного развития предприятия .....	252
<b>Санков В.Г., Таякина Э.Д.</b> Развитие стратегической логистики в рамках совершенствования логистических бизнес-процессов предприятий электросетевого комплекса .....	258
<b>Соснина И.В.</b> Адаптационный потенциал мигрантов и принимающего населения: выбор стратегии .....	262
<b>Суворова В.В., Мезенцев Ю.М.</b> Эффективная занятость молодежи как условие перехода к инновационной экономике: сущность, институциональные предпосылки формирования .....	268
<b>Тулузакова М.В.</b> Женские социально-политические организации: советский опыт и современность .....	279

## **СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

<b>Колонтаев В.А.</b> Качество жизни преподавателей военных вузов: субъективные и объективные показатели .....	287
<b>Чаплыгин А.Э.</b> Средний класс: эволюция понятия .....	291

## **ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

<b>Бабаян И.В.</b> Джазовый музыкант: профессионал или любитель? .....	298
<b>Манакова Т.В.</b> Функциональная значимость Иудаизма и Православия для духовного становления личности на уровне семьи и формирования религиозной толерантности .....	306
<b>Пономарёва Е.В.</b> Особенности мифопоэтики позднего творчества Чайковского на примере цикла романсов Op. 73 .....	310

---



---

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

<b>Ageyev R.V.</b> Mathematical modeling of dynamic processes in hydrodynamic support with three-layer stator installed on the vibrating basis .....	7
<b>Gorbatenko B.B., Ryabukho V.P., Grebenyuk A.A., Mysina N.Yu., Maksimova L.A.</b> Microdisplacement control by digital holographic and speckle-interferometry methods .....	15
<b>Pulin V.F., Erman M.A.</b> Structural-dynamics models for ethylspinasarine and ehinohrome.....	25
<b>Starukhin P.Yu., Klinayev Yu.V.</b> Doppler spectrum modeling of scattering laser light and blood flow diagnostics in biological tissues .....	29
<b>Elkin M.D., Pulin V.F., Osin A.B.</b> Mathematic models in molecular modelling .....	36

**MACHINE-BUILDING**

<b>Gribach A.E., Shumyacher V.M.</b> Super finish grinding efficiency enhancement by graining structure blocks applying .....	40
<b>Denisov A.S., Asoyan A.R., Muchkin V.Yu., Zakharov V.P.</b> Macrogeometrical deviations control of connecting rod in the repair for the increase of internal combustion engine resource .....	44
<b>Denisov A.S., Pogorazdov V.V., Tugushev B.F., Gorshenina E.Yu.</b> Technological quality maintenance of diesel engines restored crankshafts.....	50
<b>Karacharovskiy V.Yu., Ryazanov S.A.</b> 3D computer graphics method application and solid simulation for the development of gear cutting technological processes.....	55
<b>Lushnikov S.Yu.</b> Evaluation of carrying system resource in complex stress state (on the example of semitrailer frame) .....	60
<b>Slavin A.V.</b> Oil-cooling process medium influence on the chip production during metal grinding.....	65
<b>Shumyacher V.M., Kryukov S.A., Slavin A.V., Mirosemi A.I.</b> Innovative technological principles of abrasive tool enhancement .....	70

**NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES**

<b>Bekrenev N.V., Petrovskiy A.P., Chindykova T.Yu.</b> Design optimization of speed transformers of ultrasonic equipment on the basis of 3d-modeling (problem definition) .....	77
<b>Gorbachev N.V., Gorbacheva E.Yu., Solovieva N.D., Krasnov V.V., Fedorov F.S.</b> Surface pretreatment influence on lead coatings electrochemical characteristics .....	84
<b>Kazinskiy A.A., Lyasnikov V.N.</b> Theoretical basis of nanostructure technologies during the metal liquation in plasma-circular spheres .....	89
<b>Kokorin V.N., Krupennikov O.G., Gruzdev D.P., Mityushkin A.A., Sizov N.A.</b> Compaction intensification of structurally – non-homogeneous iron-based mechanical mixtures.....	95
<b>Nikitina T.V., Sobgaida N.A.</b> Recycling of the additive exhausted filters in ceramic products manufacturing .....	103
<b>Smirnova O.A., Gorokhovskiy A.V., Aleksandrova S.A., Polyakov S.N.</b> The use of potassium polytitanate for photocatalytic waste water purification in dyeing manufacture.....	109
<b>Yurkov G.Yu., Kosobudskiy I.D., Volkov A.N., Ovchenkov E.A., Koksharov Yu.A., Popkov O.V.</b> Synthesis and properties of iron-containing nanoparticles on silica dioxide surface.....	114

**AUTOMATION AND MANAGEMENT**

<b>Akhmedov M.A., Mustafayev V.A., Jafarova Sh.M.</b> The development of functioning model of flexible manufacturing system active elements .....	122
<b>Grivenov D.A.</b> Mathematical model of generator electro hydraulic control system .....	129
<b>Murin S.V., Biryukov V.P.</b> Robust regulator of viscose tenacity .....	133
<b>Sadchikova G.M.</b> The analysis of expenditure converters by A1 criterion .....	138

**INFORMATION TECHNOLOGIES**

<b>Klevanskiy N.N., Kashin S.S.</b> Solving the university course timetabling problems by the use of ranking methods .....	143
<b>Semenova I.I., Mishurin A.O.</b> Management system model of information counterforce.....	150

---

---

**ELECTRONICS, RADIOENGINEERING AND INSTRUMENT MARKING**

---

---

<b>Belov A.S., Sakhadzi G.V., Babanov G.N., Popov I.A.</b> Cathode-grid knots.....	161
<b>Zorkin A.Ya., Semenov S.V., Sakhadzi G.V., Myasnikov A.S.</b> Specific features of phase transformations and emissions of aluminate cathodes of electronic vacuum devices .....	166
<b>Popov I.A., Sokolova T.N., Surmenko E.L., Chebotarevskiy Yu.V.</b> Laser cleaning of micropeak autoissued cathodes.....	171

---

---

**POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING**

---

---

<b>Kozlitin P.A.</b> Substantiation and development of method evaluation of thermal power stations technological dangers.....	176
<b>Osipova N.N.</b> Choosing the optimal parameters of village systems supply for based reservoir units with artificial evaporation liquefied petroleum gas.....	183
<b>Usachev M.A.</b> Energy increase and resource efficiency of underground vertical tank-evaporator liquefied petroleum gas with electric heater for regasification purposes .....	187

---

---

**ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

---

---

<b>Ivaschenko Yu.G., Strakhov A.V.</b> The properties of silicates sodium binder derived from the siliceous rocks method of hydrothermal synthesis.....	193
<b>Timokhin D.K., Ivaschenko Y.G., Shoshin E.A.</b> Additive-modifier from alkyl-substituted phenols for concrete cement.....	201

---

---

**ECONOMICS**

---

---

<b>Bardina I.V., Zemlyanukhina S.G.</b> Intellectual labor market in the innovative economy of Russian Federation.....	207
<b>Denisov D.S., Kuznetsov O.I.</b> System reorganization basic directions of vocational training in the modern conditions .....	217
<b>Eremeyev M.A.</b> Programm competitiveness of personnel remuneration: formation and development.....	223
<b>Zabaznova T.A., Popkova E.G., Tokareva I.V.</b> Marketing tools features used in «B2B» market.....	228
<b>Ivanova T.B.</b> Using the model of the budgeting orientated to the result in the strategic management of the economic development of the territories .....	235
<b>Plotnikova V.V.</b> Legislative regulation of consolidated financial statement presenting.....	242
<b>Reshetnikova E.G.</b> The development of population incomes and expenditures of regional balance methodology.....	247
<b>Rust A.M., Suyazov V.N.</b> Business model of Innovative enterprise development.....	252
<b>Sankov V.G., Tayakina E.D.</b> The development of logistic strategy in the boundaries of logistic business process improvement of energy system companies .....	258
<b>Sosnina I.V.</b> Adaptable potential of migrants and the accepting population: strategy choice.....	263
<b>Suvorova V.V., Mezentsev Y.M.</b> Effective youth employment as a condition for the transition to innovative economy: essence, institutional preconditions of formation .....	268
<b>Tuluzakova M.V.</b> Female social-political organizations: during the Soviet union times and nowadays .....	279

---

---

**SOCIAL PROBLEMS OF THE PRESENT**

---

---

<b>Kolontayev V.A.</b> Quality and level of teachers' life in higher military institutions: subjective and objective parameters .....	287
<b>Chaplygin A.E.</b> Middle class: evolution of the concept.....	291

---

---

**HUMANITIES**

---

---

<b>Babayan I.V.</b> Jazz musician: master or amateur?.....	298
<b>Manakova T.V.</b> Functional importance of judaism and orthodoxy for the spiritual personality development.....	306
<b>Ponomareva E.V.</b> The peculiarities of Tchaikovsky's late works mythopoetics on the example of the cycle of songs op. 73 .....	311

---

---

## ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

---

---

УДК 531.381

**Р.В. Агеев**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПОРЕ С ТРЕХСЛОЙНЫМ СТАТОРОМ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ВИБРИРУЮЩЕМ ОСНОВАНИИ**

*Рассмотрена задача математического моделирования динамических процессов в гидродинамической виброопоре с трехслойным статором с несжимаемым заполнителем. Найдено решение динамической задачи гидроупругости гидродинамического демпфера в нулевом приближении по относительной амплитуде колебаний вибратора, а также определены фазовые и амплитудные частотные характеристики упругого статора демпфера.*

Гидродинамическая опора, математическое моделирование.

**R.V. Ageyev**

### **MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC PROCESSES IN HYDRODYNAMIC SUPPORT WITH THREE-LAYER STATOR INSTALLED ON THE VIBRATING BASIS**

*The article describes several ways to solve the problem of mathematical modeling of dynamic processes in hydrodynamic support with three-layer stator with incompressible filler. Hydrodynamic dampers of hydro elasticity dynamic problem is found at zero approach on relative amplitude of vibrator fluctuations, and also phase and peak frequency characteristics of elastic stator dampers are found.*

Hydrodynamic bearing, mathematic simulation.

Разрабатывая математические модели для исследования динамических процессов в гидродинамических опорах различных изделий, необходимо учитывать, что в их конструкции все шире находят применение многослойные, и в частности, трехслойные конструкции. Данные конструкции позволяют существенно снижать массовые и габаритные характеристики изделий при сохранении достаточной прочности и жесткости, а также защищать изделие от воздействия вредных факторов.

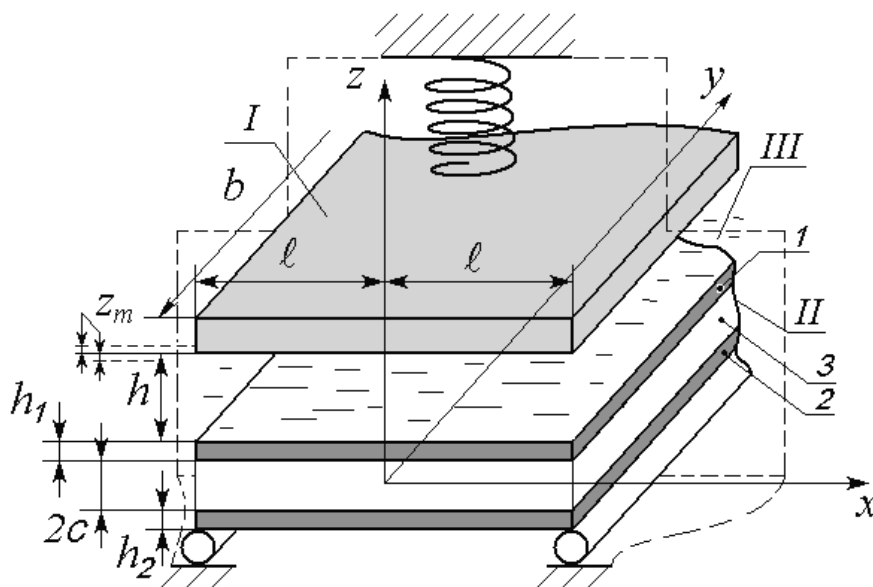
Вопросам математического моделирования статики и динамики трехслойных конструкций посвящено достаточно много работ, например, сошлемся здесь на обзор, представ-

ленный в [1]. В то же время работ, посвященных исследованию математических моделей гидроупругости трехслойных конструкций, установленных на вибрирующем основании и взаимодействующих с пульсирующим слоем жидкости, практически нет. В предлагаемой работе исследуются динамика трехслойной тонкостенной конструкции в составе гидродинамической опоры, установленной на вибрирующем основании, в рабочем слое жидкости которой поддерживается гармонически пульсирующее давление.

Гидродинамическая опора, установленная на вибрирующем основании, условно представлена на рисунке. Имеется абсолютно жесткое тело – вибратор I опоры. Внутренняя поверхность вибратора является плоской и образует одну из стенок щелевого канала. Вибратор имеет ширину  $b$  и длину  $2\ell$  и может совершать колебания в вертикальной плоскости. При этом частота его колебаний  $\omega$ , а амплитуда колебаний вибратора  $z_m$ . Вибратор имеет подвес (например, магнитный или пружинный), который обладает упругой податливостью.

Вторую стенку щелевого канала образует упругий трехслойный стержень – статор II опоры. Его ширина и длина совпадают с шириной и длиной вибратора. Статор представляет собой пакет, набранный из двух несущих слоев 1 и 2, воспринимающих основные динамические и статические нагрузки, и заполнителя 3, обеспечивающего их совместную работу. Материал заполнителя можно считать жестким, кроме того, заполнитель считается легким, то есть можно пренебречь работой заполнителя в тангенциальном направлении.

Для статора справедлива гипотеза ломаной нормали, т.е. в тонких несущих слоях 1, 2 справедливы гипотезы Кирхгофа, а в несжимаемом заполнителе 3 нормаль остается прямой и не меняет своей длины, однако поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\varphi(x)$ . На торцах трехслойного статора предполагается наличие жестких диафрагм, препятствующих относительному сдвигу слоев, но не мешающих деформированию из своей плоскости. Торцы трехслойного статора считаются свободно опертыми. Деформации трехслойного статора можно считать малыми.



Вязкая несжимаемая жидкость III полностью заполняет зазор между вибратором и статором. В жидкости, находящейся в левой торцевой полости, поддерживается давление  $p_0 + p_1^-(\omega t)$ , ( $p_0$  – постоянный уровень давления). В правой полости поддерживается давление  $p_0 + p_1^+(\omega t)$ . Средняя величина щелевого зазора равна  $h_0$ . На торцах сторон  $2\ell$  имеются торцевые уплотнители, и истечение жидкости через эти торцы отсутствует. При этом предполагается, что на торцах сторон  $b$  торцевые уплотнители отсутствуют, и жидкость из щеле-



вых зазоров вдоль сторон  $b$  может свободно истекать в окружающую жидкость, находящуюся в технологических полостях корпуса опоры.

Введем в рассмотрение декартову систему координат  $Oxyz$ , связанную с абсолютно твердым корпусом опоры и совпадающую со срединной поверхностью заполнителя упругого трехслойного стержня (статора) в невозмущенном состоянии.

Закон движения основания имеет вид

$$z_0 = E f_0(\omega t), \quad f_0(\omega t) = \sin(\omega t), \quad (1)$$

тогда виброускорение основания

$$\ddot{z}_0 = E \omega^2 f_0(\omega t). \quad (2)$$

Закон движения вибратора будем представлять как  $z = z_m f_z(\omega t)$ , а законы изменения давления на торцах  $(p_1^+ + p_1^-)/2 = p_m f_p(\tau)$ ,  $(p_1^+ - p_1^-)/2 = q_m f_p(\tau) = q_m \sin(\tau + \varphi_p)$ .

Далее будем полагать, что амплитуда виброускорения задается в единицах  $g$ , т.е. считаем, что  $E \omega^2 = kg$ , где  $k$  – коэффициент виброперегрузки.

Динамика рабочей жидкости в двумерном случае описывается системой уравнений Навье-Стокса и неразрывности [2-4]:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \left[ \frac{\partial U_\xi}{\partial \tau} + \lambda \left( U_\xi \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\xi}{\partial \zeta} \right) \right] &= -\frac{\partial P}{\partial \xi} + \psi^2 \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \zeta^2}, \\ \psi^2 \operatorname{Re} \left[ \frac{\partial U_\zeta}{\partial \tau} + \lambda \left( U_\xi \frac{\partial U_\zeta}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} \right) \right] &= -\frac{\partial P}{\partial \zeta} + \psi^2 \left[ \psi^2 \frac{\partial^2 U_\zeta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 U_\zeta}{\partial \zeta^2} \right], \quad \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

в введенных для рассматриваемой задачи безразмерных переменных

$$\psi = \frac{h_0}{\ell} \ll 1, \quad \lambda = \frac{z_m}{h_0}, \quad \tau = \omega t, \quad \xi = \frac{x}{\ell}, \quad \zeta = \frac{z - c - h_1}{h_0}, \quad u_x = z_m \omega \frac{\ell}{h_0} U_\xi, \quad u_z = z_m \omega U_\zeta, \quad (4)$$

$$\operatorname{Re} = \frac{h_0^2 \omega}{\nu} = 2\varepsilon^2, \quad p = p_0 + \frac{\rho \nu z_m \omega}{h_0 \psi^2} P(\xi, \tau) - \rho \ddot{z}_0 (z - h_0 - h_1 - c - z_m) \zeta,$$

где  $x, z$  – декартовы координаты;  $u_x, u_z$  – проекции вектора скорости жидкости на оси координат;  $p$  – давление;  $\rho, \nu$  – плотность и коэффициент кинематической вязкости жидкости;  $\psi, \lambda, \operatorname{Re}$  – параметры, характеризующие задачу.

В крайних условиях системы (3) учитываем, что скорость жидкости на вибраторе и статоре совпадает с их скоростями [3-5]

$$U_\xi = 0, \quad U_\zeta = \frac{df}{d\tau} \quad \text{при} \quad \zeta = 1 + \lambda f(\tau); \quad (5)$$

$$U_\xi = \psi \frac{u_{m1}}{z_m} \frac{\partial U}{\partial \tau}, \quad U_\zeta = \frac{w_m}{z_m} \frac{\partial W}{\partial \tau} \quad \text{при} \quad \zeta = \lambda \frac{w_{m1}}{z_m} W,$$

где  $u = u_m U(\xi, \tau), w = w_m W(\xi, \tau)$  – перемещения статора в направлении оси  $Ox$  и  $Oz$  соответственно.

Условия свободного истечения жидкости в направлении оси  $Ox$  и в противоположном направлении принимают вид для давления

$$P = P_1^+ \quad \text{при} \quad \xi = 1; \quad P = P_1^- \quad \text{при} \quad \xi = -1, \quad (6)$$

где  $p_1^+ = \frac{\rho \nu z_m \omega}{h_0 \psi^2} P_1^+(\tau), \quad p_1^- = \frac{\rho \nu z_m \omega}{h_0 \psi^2} P_1^-(\tau)$  – заданные давления на торцах.

Уравнение движения вибратора опоры, согласно второму закону Ньютона, имеет вид

$$m_1(\ddot{z} + \ddot{z}_0) + n_1 z = N_3, \quad (7)$$

где  $m_1$  – масса вибратора;  $n_1$  – коэффициент упругой жесткости подвеса вибратора;  $N_3$  – сила, действующая на вибратор со стороны слоя жидкости в зазоре опоры.

Уравнения динамики упругого трехслойного статора (уравнения динамики трехслойного стержня с несжимаемым легким заполнителем см. [1]) имеют вид

$$a_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_6 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - a_7 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = -q_{zx}, \quad a_6 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - a_3 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = 0, \quad (8)$$

$$a_7 \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + a_3 \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} - a_4 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - m_0 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \ddot{z}_0 \right) = -q_{zz}.$$

Здесь  $m_0 = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + 2\rho_3 c$ ,  $\rho_k$  – плотность материала  $k$ -го слоя,  $k = 1, 2, 3$  – номер слоя;  $q_{zx}$ ,  $q_{zz}$  – напряжения, действующие на внутреннюю поверхность статора со стороны слоя жидкости;  $a_1, \dots, a_7$  – жесткостные коэффициенты, определенные в [1].

Выражения для напряжений  $q_{zx}$ ,  $q_{zz}$ , действующих на статор со стороны жидкости в безразмерных переменных (4), запишутся как

$$q_{zx} = \frac{\rho v z_m \omega}{h_0 \psi} \left( \psi^2 \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} \right) \quad \text{при} \quad \zeta = \lambda \frac{w_m}{z_m} W; \quad (9)$$

$$q_{zz} = -p_0 - \frac{\rho v z_m \omega}{h_0 \psi^2} \left( P - 2\psi^2 \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} \right) + \rho h_0 \ddot{z}_0 (\zeta - 1 - \lambda f_z(\tau)) \quad \text{при} \quad \zeta = \lambda \frac{w_m}{z_m} W. \quad (10)$$

Уравнения динамики трехслойного статора дополняются условиями его свободного опирания на торцах

$$w = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при} \quad x = \ell; \quad w = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при} \quad x = -\ell. \quad (11)$$

В нулевом приближении по  $\psi$  и  $\lambda$  получаем линеаризованные уравнения динамики тонкого слоя вязкой несжимаемой жидкости

$$\text{Re} \frac{\partial U_\xi}{\partial \tau} = -\frac{\partial P}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \zeta^2}, \quad \frac{\partial P}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} = 0 \quad (12)$$

и соответствующие им граничные условия для скоростей на непроницаемых поверхностях абсолютно жесткого вибратора и упругого геометрически нерегулярного статора

$$U_\xi = 0, \quad U_\zeta = \frac{df_z(\tau)}{d\tau} \quad \text{при} \quad \zeta = 1, \quad U_\xi = 0, \quad U_\zeta = \frac{w_m}{z_m} \frac{\partial W}{\partial \tau} \quad \text{при} \quad \zeta = 0, \quad (13)$$

а также условия для гидродинамического давления на торцах (6).

Принимая во внимание, что, согласно (9), (10), выполняется условие  $q_{zz} \gg q_{zx}$ , сила, действующая на вибратор со стороны слоя жидкости, в нулевом приближении по  $\lambda$  и  $\psi$ , определяется только нормальным напряжением и имеет вид

$$N_3 = \int_0^b \int_{-1}^1 \left( p_0 + \frac{\rho v z_m \omega}{h_0 \psi^2} P - \rho h_0 \ddot{z}_0 (\zeta - 1) \right) \ell d\xi dy, \quad \text{при} \quad \zeta = 1. \quad (14)$$

Подставляя (14) в уравнение движения вибратора (7), получим

$$m_1 \ddot{z}_0 + m_1 \ddot{z} + n_1 z = 2\ell b p_0 + \frac{\ell b \rho v z_m \omega}{h_0 \psi^2} \int_{-1}^1 P d\xi. \quad (15)$$

Учитывая в уравнениях движения статора опоры (8), что  $q_{zz} \gg q_{zx}$  (т.е. полагая в них  $q_{zx}=0$ ), а затем используя первое и второе уравнения, находим связь  $u$ ,  $\varphi$  с  $\frac{\partial w}{\partial x}$ :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = b_1 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3}, \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = b_2 \frac{\partial^3 w}{\partial x^3}, \quad \text{где } b_1 = \frac{a_2 a_7 - a_3 a_6}{a_1 a_2 - a_6^2}, \quad b_2 = \frac{a_1 a_3 - a_7 a_6}{a_1 a_2 - a_6^2},$$

и переходя к безразмерным переменным (4), получим в нулевом приближении по  $\psi$  и  $\lambda$  уравнение для определения прогиба трехслойного статора:

$$-w_m \left\{ \frac{1}{\ell^4} (a_4 - a_7 b_1 - a_3 b_2) \frac{\partial^4 W}{\partial \xi^4} + m_0 \omega^2 \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + \frac{\ddot{z}_0}{w_m \omega^2} \right) \right\} = p_0 + \frac{\rho v z_m \omega}{h_0 \psi^2} P + \rho h_0 \ddot{z}_0, \quad (16)$$

граничные условия которого – условия свободного опирания

$$W = 0, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial \xi^2} = 0 \quad \text{при } \xi = 1; \quad W = 0, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial \xi^2} = 0 \quad \text{при } \xi = -1. \quad (17)$$

Проводя решение задачи динамики жидкости (12) с граничными условиями (13), (6) при гармоническом законе движения вибратора, найдено давление в жидкости:

$$P = \frac{1}{2} (\xi^2 - 1) \left[ 2\varepsilon^2 \alpha \frac{d^2 f_z}{d\tau^2} + 12\gamma \frac{df_z}{d\tau} \right] + \frac{w_m}{z_m} \int_0^\xi \int_0^\xi \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + 12\gamma \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) d\xi d\xi + \quad (18)$$

$$+ \frac{1}{2} (\xi - 1) \frac{w_m}{z_m} \int_{-10}^\xi \int_0^\xi \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + 12\gamma \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) d\xi d\xi + \frac{1}{2} (P_1^+ + P_1^-) + \frac{1}{2} \xi (P_1^+ - P_1^-),$$

где  $\alpha, \gamma$  – частотозависимые коэффициенты, определенные в [4].

Учитывая (18), из (16) получим интегродифференциальное уравнение динамики статора:

$$w_m \frac{\partial^4 W}{\partial \xi^4} + \ell^4 D m_0 \left( \omega^2 w_m \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + \ddot{z}_0 \left( 1 + \frac{\rho h_0}{m_0} \right) \right) =$$

$$= - \frac{\ell^4 D m_0 \omega^2}{\psi^2} \frac{\rho h_0}{m_0 \text{Re}} \left\{ \left[ p_0 + \frac{1}{2} \xi (p_1 - p_2) + \frac{1}{2} (p_1 + p_2) \right] \frac{\Psi^2 z_m}{\rho v \lambda \omega} + \right.$$

$$+ \frac{z_m}{2} (\xi^2 - 1) \left[ 2\varepsilon^2 \alpha \frac{d^2 f_z}{d\tau^2} + 12\gamma \frac{df_z}{d\tau} \right] + w_m \int_0^\xi \int_0^\xi \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + 12\gamma \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) d\xi d\xi +$$

$$\left. + \frac{1}{2} (\xi - 1) w_m \int_{-10}^\xi \int_0^\xi \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + 12\gamma \frac{\partial W}{\partial \tau} \right) d\xi d\xi \right\}, \quad (19)$$

где  $D = 1/(a_4 - a_7 b_1 - a_3 b_2)$ .

Прогибы трехслойного статора, с учетом граничных условий (19), представим в виде

$$w = w_m W = w_m \sum_{k=1}^{\infty} \left( (R_k^0 + R_k(\tau)) \cos \frac{2k-1}{2} \pi \xi + Q_k \sin k \pi \xi \right). \quad (20)$$

Коэффициенты в выражении для прогиба статора (20) с верхним индексом 0 являются постоянными и соответствуют постоянному уровню давления  $p_0$ .

Подставляя (20) в (18) и раскладывая все функции от  $\xi$ , входящие в правую часть (18) в ряды по  $\cos \frac{2k-1}{2} \pi \xi$  и в ряды по  $\sin k \pi \xi$ , а затем решая полученное обыкновенное дифференциальное уравнение для режима установившихся гармонических колебаний, с учетом того,

что  $f_z(\tau) = \sin(\tau + \varphi_z)$ ,  $(p_1^+ + p_1^-)/2 = p_m f_p(\tau) = p_m \sin(\tau + \varphi_p)$ ,  $(p_1^+ - p_1^-)/2 = q_m f_p(\tau) = q_m \sin(\tau + \varphi_p)$ , находим выражение для  $R_k^0$ ,  $R_k(\tau)$  и  $Q_k(\tau)$

$$R_k^0 = \left( \frac{2\ell}{(2k-1)\pi} \right)^4 \frac{Dp_0}{w_m} \frac{4(-1)^k}{(2k-1)\pi}, \quad R_k = \frac{4(-1)^k}{(2k-1)\pi} \left\{ \frac{z_m}{w_m} \left[ A_{ck} \frac{df_z}{d\tau} + B_{ck} \frac{d^2 f_z}{d\tau^2} \right] + \right. \quad (21)$$

$$\left. + \frac{Dp_m}{w_m} \left[ A_{pck} \frac{df_p}{d\tau} + B_{pck} f_p \right] + Dm_0 \omega^2 \frac{E_z}{w_m} \left[ A_{pck} \frac{df_0}{d\tau} - B_{pck} \frac{d^2 f_0}{d\tau^2} \right] \right\},$$

$$Q_k = \frac{2(-1)^k}{k\pi} \frac{Dq_m}{w_m} \left[ A_{psk} \frac{df_p}{d\tau} + B_{psk} f_p \right],$$

где  $A_{ck} = \frac{a_{1ck}c_{2ck} - a_{2ck}c_{1ck}}{a_{1ck}^2 + a_{2ck}^2}$ ,  $B_{ck} = -\frac{a_{1ck}c_{1ck} + a_{2ck}c_{2ck}}{a_{1ck}^2 + a_{2ck}^2}$ ,  $A_{pck} = \frac{a_{2ck}}{a_{1ck}^2 + a_{2ck}^2}$ ,  $B_{pck} = -\frac{a_{1ck}}{a_{1ck}^2 + a_{2ck}^2}$ ,

$$A_{psk} = \frac{a_{2sk}}{a_{1sk}^2 + a_{2sk}^2}, \quad B_{psk} = -\frac{a_{1sk}}{a_{1sk}^2 + a_{2sk}^2}, \quad a_{1ck} = \left( \frac{2k-1}{2\ell} \pi \right)^4 - D[m_0 + M_{ck}] \omega^2, \quad a_{2ck} = D2K_{ck} \omega,$$

$$c_{1ck} = DM_{ck} \omega^2, \quad c_{2ck} = -D2K_{ck} \omega, \quad a_{1sk} = \left( \frac{k\pi}{\ell} \right)^4 - D[m_0 + M_{sk}] \omega^2, \quad a_{2sk} = D2K_{sk} \omega.$$

$$M_{ck} = \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} \left[ \frac{2}{(2k-1)\pi} \right]^2 \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{\omega^2}; \quad 2K_{ck} = \frac{12\gamma \omega}{2\varepsilon^2 \alpha} M_{ck}, \quad M_{sk} = \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} \left[ \frac{1}{k\pi} \right]^2 \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{\omega^2} \quad 2K_{sk} = \frac{12\gamma \omega}{2\varepsilon^2 \alpha} M_{sk}.$$

Таким образом, прогиб статора с учетом (21) имеет вид

$$w = w_m \sum_{k=1}^{\infty} \left\langle \frac{4(-1)^k}{(2k-1)\pi} \left\{ \left( \frac{2\ell}{(2k-1)\pi} \right)^4 \frac{Dp_0}{w_m} + \frac{z_m}{w_m} \left[ A_{ck} \frac{df_z}{d\tau} + B_{ck} \frac{d^2 f_z}{d\tau^2} \right] + \right. \right.$$

$$\left. + \frac{Dp_m}{w_m} \left[ A_{pck} \frac{df_p}{d\tau} + B_{pck} f_p \right] + Dm_0 \omega^2 \frac{E_z}{w_m} \left[ A_{pck} \frac{df_0}{d\tau} - B_{pck} \frac{d^2 f_0}{d\tau^2} \right] \right\} \cos \frac{2k-1}{2} \pi \xi + \quad (22)$$

$$\left. + \frac{2(-1)^k}{k\pi} \frac{Dq_m}{w_m} \left[ A_{psk} \frac{df_p}{d\tau} + B_{psk} f_p \right] \sin k\pi \xi \right\rangle.$$

Осуществляя подстановку выражения для давления (19), с учетом выражения (22), в уравнение динамики вибратора (15), получим

$$(m_1 + M_z) \ddot{z} + 2K_z \dot{z} + n_1 z = 2\ell b \left( p_0 + \frac{1}{2} (1 + M_p) (p_1^+ + p_1^-) + \frac{1}{2} T_p (\dot{p}_1^+ + \dot{p}_1^-) \right) - M_{z0} \ddot{z}_0 - 2K_{z0} \dot{z}_0 \quad (23)$$

Здесь  $M_z \omega^2 = 2b\ell \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} \left[ \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{3} + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{2}{(2k-1)\pi} \right)^4 (12\gamma A_{ck} - 2\varepsilon^2 \alpha B_{ck}) \right],$

$$2K_z \omega = 2b\ell \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} \left[ 4\gamma - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{2}{(2k-1)\pi} \right)^4 (12\gamma B_{ck} + A_{ck} 2\varepsilon^2 \alpha) \right],$$

$$M_p = D \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{2}{(2k-1)\pi} \right)^4 [2\varepsilon^2 \alpha B_{pck} + 12\gamma A_{pck}],$$

$$T_p \omega = D \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{2}{(2k-1)\pi} \right)^4 [2\varepsilon^2 \alpha A_{pck} - 12\gamma B_{pck}],$$

$$M_{z_0}\omega^2 = Dm_0 2bl \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} \left[ 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{2}{(2k-1)\pi} \right)^4 (2\varepsilon^2 \alpha B_{pck} - 12\gamma A_{pck}) \right],$$

$$2K_{z_0}\omega = Dm_0 2bl \frac{\rho v \omega}{h_0 \Psi^2} \left[ 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{2}{(2k-1)\pi} \right)^4 (A_{psc} 2\varepsilon^2 \alpha - 12\gamma B_{psc}) \right].$$

Решение уравнения (23), соответствующее заданному гармоническому закону пульсации давления в жидкости и гармоническому закону виброускорения основания, имеет вид

$$z = h_0 + z_m f_z(\tau) = \frac{2lb}{n_1} p_0 + p_m \Pi_{zp}(\omega) \sin(\tau + \varphi_p + \Psi_p) + E_z \omega^2 \Pi_{z_0}(\omega) \sin(\tau + \varphi_0 + \Psi_0). \quad (24)$$

Здесь  $\Pi_{zp}(\omega) = \frac{2bl \sqrt{Q_{cp}^2 + Q_{sp}^2}}{n_1}$ ,  $\Psi_p = \arctg \frac{Q_{cp}}{Q_{sp}}$ ,  $\Pi_{z_0}(\omega) = \frac{\sqrt{Q_{c0}^2 + Q_{s0}^2}}{n_1 \omega^2}$ ,  $\Psi_{p0} = -\arctg \frac{Q_{s0}}{Q_{c0}}$ ,

$$Q_{cp} = \frac{\bar{a}_1 \bar{c}_2 - \bar{a}_2 \bar{c}_1}{\bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2}, \quad Q_{sp} = \frac{\bar{a}_2 \bar{c}_2 + \bar{a}_1 \bar{c}_1}{\bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2}, \quad \bar{a}_1 = \frac{n_1 - [m_1 + M_z] \omega^2}{n_1}, \quad Q_{c0} = \frac{\bar{a}_1 \bar{c}_{20} - \bar{a}_2 \bar{c}_{10}}{\bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2}, \quad Q_{s0} = \frac{\bar{a}_2 \bar{c}_{20} + \bar{a}_1 \bar{c}_{10}}{\bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2},$$

$$\bar{c}_{10} = -M_{z_0} \omega^2, \quad \bar{c}_{20} = -2K_{z_0} \omega, \quad \bar{a}_2 = \frac{2K_z \omega}{n_1}, \quad \bar{c}_1 = (1 + M_p), \quad \bar{c}_2 = T_p \omega.$$

Таким образом, определены амплитудные частотные характеристики  $\Pi_{zp}(\omega)$ ,  $\Pi_{z_0}(\omega)$  и фазовые частотные характеристики  $\Psi_p$ ,  $\Psi_{p0}$  вибратора опоры на пульсации давления на торцах и виброускорение основания.

Учитывая закон движения вибратора (24) в прогибе статора (22), закон движения упругого трехслойного статора можно представить в следующем виде

$$w = \sum_{k=1}^{\infty} \left\langle \frac{4(-1)^k}{(2k-1)\pi} \left\{ \left( \frac{2l}{(2k-1)\pi} \right)^4 Dp_0 + \right. \right. \quad (25)$$

$$\left. \left. + p_m \Pi_{wpc}(\omega) \sin(\tau + \varphi_p + \Psi_{wpc}) + E_z \omega^2 \Pi_{w0c}(\omega) \sin(\tau + \varphi_0 + \Psi_{w0c}) \right\} \cos\left(\frac{2k-1}{2} \frac{\pi x}{l}\right) + \right. \\ \left. + \frac{2(-1)^k}{k\pi} q_m \Pi_{wps}(\omega) \sin(\tau + \varphi_p + \Psi_{wps}) \sin k\pi \xi \right\rangle,$$

где  $\Pi_{wpc}(\omega) = D \sqrt{\left( A_{pck} + \frac{2lb}{n_1 D} [A_{ck} Q_{sp} - B_{ck} Q_{cp}] \right)^2 + \left( B_{pck} - \frac{2lb}{n_1 D} [A_{ck} Q_{cp} + B_{ck} Q_{sp}] \right)^2}$ ;

$$\Pi_{w0c}(\omega) = m_0 D \sqrt{\left( A_{pck} - \frac{1}{n_1 D m_0 \omega^2} (A_{ck} Q_{so} - B_{ck} Q_{co}) \right)^2 + \left( B_{pck} - \frac{1}{n_1 D m_0 \omega^2} [A_{ck} Q_{co} - B_{ck} Q_{so}] \right)^2}$$
;

$\Pi_{wps}(\omega) = D \sqrt{A_{psk}^2 + B_{psk}^2}$  – амплитудные частотные характеристики упругого статора демпфера;

$$\Psi_{wpc} = \arctg \frac{A_{pck} + \frac{2lb}{n_1 D} [A_{ck} Q_{sp} - B_{ck} Q_{cp}]}{B_{pck} - \frac{2lb}{n_1 D} [A_{ck} Q_{cp} + B_{ck} Q_{sp}]}, \quad \Psi_{w0c} = \arctg \frac{A_{pck} - \frac{1}{n_1 D m_0 \omega^2} (A_{ck} Q_{so} - B_{ck} Q_{co})}{B_{pck} - \frac{1}{n_1 D m_0 \omega^2} [A_{ck} Q_{co} - B_{ck} Q_{so}]},$$

$\Psi_{wps} = \arctg \frac{A_{psk}}{B_{psk}}$  – фазовые частотные характеристики упругого статора демпфера.

Таким образом, найденное решение динамической задачи гидроупругости гидродинамического демпфера в нулевом приближении по относительной амплитуде колебаний вибратора позволяет исследовать динамику опоры и находить резонансные частоты колебаний ее вибратора и статора.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-01-00177-а.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков А.Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая. М.: Физматлит, 2005. 576 с.
2. Аэрогидроупругость конструкций / А.Г. Горшков, В.И. Морозов, А.Т. Пономарев, Ф.Н. Шклярчук. М.: Физматлит, 2000. 591 с.
3. Кочин Н.Е. Теоретическая гидромеханика: в 2 т. / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. М.: Физматгиз, 1963. Т. 1. 727 с.
4. Могилевич Л.И. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении / Л.И. Могилевич, В.С. Попов. Саратов: Изд-во Саратов. гос. агр. ун-та им. Н.И. Вавилова, 2003. 156 с.
5. Попов В.С. Динамическая задача гидроупругости виброопоры с пластиной, подкрепленной ребрами жесткости / В.С. Попов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. № 3. Вып. 1. С. 7-13.

**Агеев Ростислав Васильевич** – аспирант кафедры «Гидравлика, гидравлические машины и водоснабжение» Саратовского государственного технического университета

**Ageyev Rostislav Vasiliyevich** – Post-graduate Student of the Department of «Hydraulics, Hydraulic Machines and Water Supply» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 21.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 535.4:681.7.064.45

**Б.Б. Горбатенко, В.П. Рябухо, А.А. Гребенюк,  
Н.Ю. Мысина, Л.А. Максимова**

#### **КОНТРОЛЬ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ И СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

*Рассматриваются методы двухэкспозиционной спекл-фотографии и голографической интерферометрии для измерения микросмещений отражающих рассеивающих объектов. Показано, что численная нормировка распределения интенсивности в дифракционном гало позволяет увеличить точность измерений. Проводится сравнительный анализ метрологических возможностей рассматриваемых методов. Выполнены натурные эксперименты с использованием цифровых методов спекл-*

*фотографии и голографической интерферометрии с записью дифракционного поля в фурье-плоскости.*

Спекл-структура, дифракционное гало, фурье-спеклограмма, пространственный спектр, цифровая фурье-голография.

**B.B. Gorbatenko, V.P. Ryabukho, A.A. Grebenyuk,  
N.Yu. Mysina, L.A. Maksimova**

## **MICRODISPLACEMENT CONTROL BY DIGITAL HOLOGRAPHIC AND SPECKLE-INTERFEROMETRY METHODS**

*Methods of two-exposition speckle-photography and holographic interferometry for measurement of scattering object micro displacement are considered. It is shown that numerical normalization of intensity distribution in diffraction halo allows increasing the measurement accuracy. The comparative analysis of metrological potential of considered methods is carried out. Natural experiments using digital methods of speckle-photography and holographic interferometry with diffraction field recording in Fourier-plane are under review.*

Speckle pattern, diffraction halo, Fourier-specklegram, spatial spectrum, digital Fourier-holography.

### **Введение**

Развитие нанотехнологий выдвигает на передний план необходимость создания новых методов и устройств контроля субмикронных перемещений объектов и параметров их микро- и наноструктуры. К этим устройствам, в частности, можно отнести оптические интерферометры [1-3], включая голографические и спекл-интерферометры [1, 4-6], а также дифракционные оптические элементы, позволяющие как осуществлять предварительную фильтрацию и обработку информации, так и обеспечивать ее преобразование в формат, удобный для ввода в компьютерные системы обработки информации [7, 8].

Высокоразрешающие цифровые средства записи когерентных оптических изображений позволяют реализовать в численной форме голографические процессы и методы интерференционных измерений [9-12]. С использованием компьютерных средств возможны не только восстановление и визуализация изображений, но и формирование изображений, модулированных интерференционными полосами. Иными словами, возможна реализация процессов, аналогичных интерференционным процессам в аналоговых оптических системах. К таким интерференционным методам относятся в первую очередь цифровая корреляционная спекл-интерферометрия, двухэкспозиционная спекл-фотография и голографическая интерферометрия [13-15].

В настоящей работе рассматриваются методы цифровой спекл-фотографии в фурье-плоскости для определения малых смещений рассеивающего объекта – наклонов и поворотов на малый угол. Проводится сравнительный анализ с методом цифровой голографической интерферометрии с регистрацией голограмм в фурье-плоскости и сопоставляются измерительные возможности этих двух цифровых когерентных методов измерений. Рассматриваются возможности увеличения точности и диапазона измерения путем апостериорной обработки цифровых спеклограмм и голограмм.

## 1. Спекл-фотография в фурье-плоскости

Метод двухэкспозиционной спекл-фотографии [5, 6, 15], предназначенный для измерения малых смещений и деформаций объектов с рассеивающей поверхностью, основан на определении величины смещения спеклов или в плоскости изображения поверхности объекта, или в дифракционном поле. В аналоговом варианте этого метода на фотопластинку или на какую-либо другую высокоразрешающую фоточувствительную среду записываются последовательно спекл-модулированные картины в исходном и смещенном состояниях рассеивающего объекта. Смещения спеклов определяются по параметрам картины интерференционных полос, наблюдаемых в дифракционном гало, образующемся при освещении фрагмента спеклограммы лазерным пучком с малой апертурой (рис. 1 а). В другом варианте интерференционные полосы наблюдаются в плоскости изображения двухэкспозиционной спеклограммы, формируемого путем пространственно-частотной фильтрации спеклограммы в когерентно-оптическом процессоре (рис. 1 б) [5, 15].

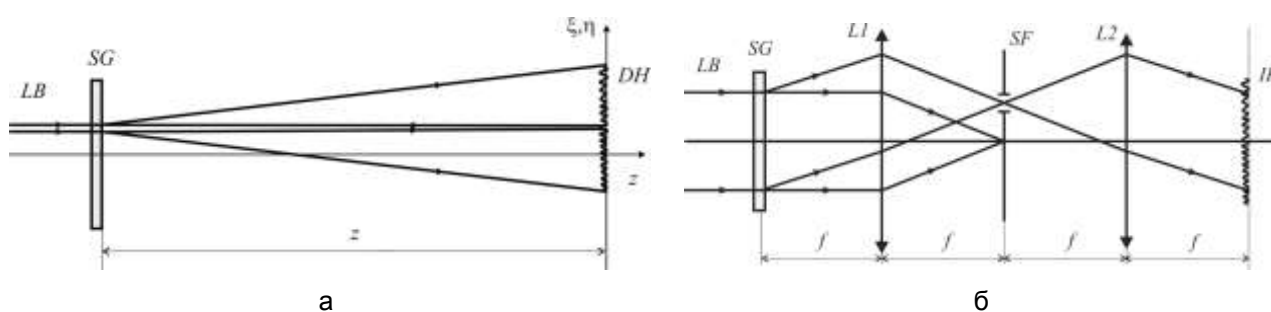


Рис. 1. Схемы формирования интерференционной картины в дальнем поле дифракции лазерного пучка на двухэкспозиционной спеклограмме (а) и путем пространственно-частотной фильтрации поля, рассеянного спеклограммой (б): LB – лазерный пучок; SG – спеклограмма; DH – дифракционное гало с интерференционными полосами в дальней области дифракции; L1 и L2 – собирающие линзы; SF – пространственный фильтр; IP – интерференционная картина в плоскости изображения спеклограммы

В каждом цифровом кадре выбираются одинаковые по расположению и размеру фрагменты изображения, в которых взаимное смещение спеклов можно считать в определенном приближении однородным. Далее вычисляется пространственный спектр алгебраической суммы этих фрагментов и формируется соответствующий кадр изображения этого спектра, в котором наблюдается пространственная модуляция, аналогичная интерференционной модуляции дифракционного гало в аналоговом методе спекл-фотографии. Параметры полос модуляции – период и пространственная ориентация полос, определяются, соответственно, величиной и направлением взаимного смещения спеклов в выбранных фрагментах кадров изображений.

Данная численная процедура применима для цифровой записи спеклограмм как в плоскости сфокусированного изображения объекта, так и в расфокусированной зоне, и в области дифракции дальнего поля, когда реализуется запись фурье-спеклограммы [16-18].

## 2. Натурный эксперимент

В эксперименте использовалась двухэкспозиционная запись цифровых фурье-спеклограмм и фурье-голограмм по схеме, представленной на рис. 2. Для сравнения измерительных возможностей методов цифровой спекл-фотографии и цифровой голографической интерферометрии с записью в фурье-плоскости в схеме предусмотрена возможность формирования опорного пучка с помощью сферического зеркала, так, чтобы точечный опорный источник  $S_R$  находился примерно в одной плоскости с поверхностью объекта.



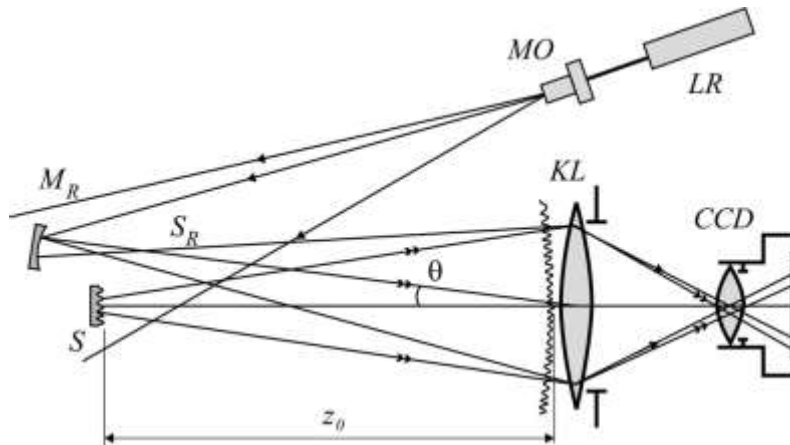


Рис. 2. Оптическая схема записи двухэкспозиционных фурье-спеклограмм и фурье-голограмм с использованием цифровой фотокамеры с несъемным штатным объективом: LR – лазер; MO – микрообъектив; S – объект;  $M_R$  – опорное сферическое зеркало;  $S_R$  – опорный источник; KL – коллективная линза; CCD – цифровая фотокамера с несъемным штатным объективом

В плоскости ПЗС-матрицы фотокамеры формировалось изображение апертуры коллективной линзы KL, заполненной дифракционным объектным спекл-модулированным полем (и опорным пучком в варианте записи фурье-голограммы). Поперечные размеры объекта  $D$ , расстояние  $z_0$  между объектом и линзой KL, угол падения опорного пучка  $\theta$  должны быть такими, чтобы ПЗС-матрица разрешала спеклы объектного поля и несущие интерференционные полосы голограммной структуры. Поперечные размеры спеклов можно оценить по формуле [19]

$$\varepsilon_{\perp} \approx \lambda z_0 / D, \quad (1)$$

а период  $d$  несущих полос – по формуле

$$d \approx \lambda / \sin \theta. \quad (2)$$

Вместе с этим для записи спеклограмм и голограмм в дальнем поле дифракции расстояние  $z_0$  должно быть достаточно большим по сравнению с размерами объекта. Для определения этого расстояния мы не придерживались в эксперименте излишне строго критерия дальнего поля [20]

$$z_0 > D^2 / 4\lambda. \quad (3)$$

Экспериментальная запись и реконструкция с помощью фурье-преобразования цифровых фурье-спеклограмм и фурье-голограмм реализовывались в наших экспериментах на существенно меньших расстояниях  $z_0$  от поверхности объекта заданного размера  $D$ . Например, для  $D = 10$  мм, согласно (3), должно быть  $z_0 > 40$  м. В наших экспериментах вполне удовлетворительные результаты получались для  $z_0 \approx 1$  м.

## 2.1. Спекл-фотография

В методе спекл-фотографии опорный пучок не использовался – записывались цифровые спеклограммы объекта в исходном и смещенном состояниях. Численная обработка полученных кадров изображений заключалась в фурье-преобразовании алгебраической суммы кадров и формировании графического файла, отображающего пространственный спектр (дифракционное гало) суммарной спеклограммы. Преобразования полных кадров спеклограмм выполнялись только при однородном смещении спекл-структуры объектного поля, а именно, при наклоне объекта на малый угол  $\alpha$  вокруг оси, лежащей в его плоскости. В этом случае спекл-структура объектного поля испытывает однородное поперечное смещение

$$\Delta x_s \approx \alpha(1 + \cos \gamma) z_0. \quad (4)$$

На рис. 3 приведены изображения пространственных спектров экспериментальных двухэкспозиционных цифровых фурье-спеклограмм наклона объекта (поворота вокруг вертикальной оси) на малый угол  $\alpha$ .

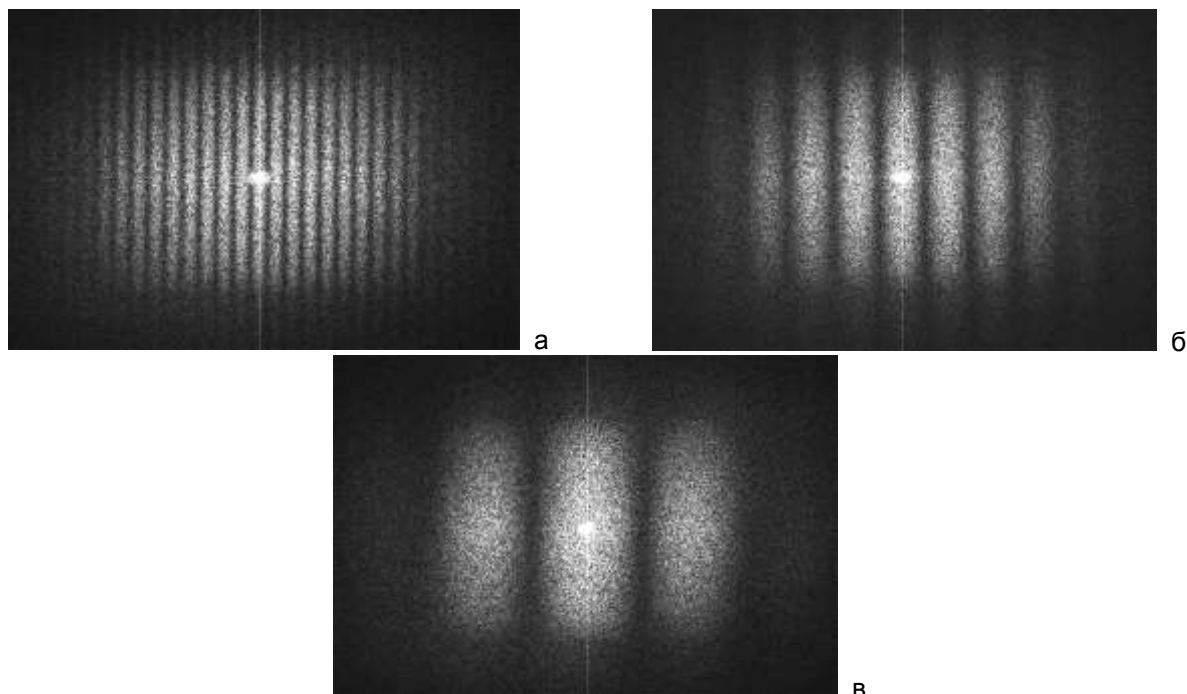


Рис. 3. Дифракционные гало – пространственные спектры двухэкспозиционных фурье-спеклограмм наклона объекта на малый угол  $\alpha$ : а –  $\alpha \approx 2,9 \cdot 10^{-4}$  рад  $\approx 60''$ ; б –  $\alpha \approx 1,13 \cdot 10^{-4}$  рад  $\approx 23''$ ; в –  $\alpha \approx 4,9 \cdot 10^{-5}$  рад  $\approx 10''$ ; получено для  $M \approx 0,8$ ;  $z_0 \approx 1$  м

Период полос модуляции дифракционного гало обратно пропорционален углу наклона  $\alpha$ . В соответствии со свойствами численного фурье-преобразования период полос  $\Lambda_p$ , определяемый в количестве элементов цифрового изображения, связан с величиной взаимного смещения спеклов на спеклограммах  $\Delta n_p$ , также определенной в количестве элементов изображения, соотношением

$$N/\Lambda_p = \Delta n_p, \quad (5)$$

где  $N$  – размер изображения дифракционного гало в направлении, перпендикулярном полосам. В линейном выражении величина смещения спеклов  $\Delta x'_s$  в плоскости ПЗС-матрицы определяется произведением

$$\Delta x'_s = \Delta n_p \Delta l_p, \quad (6)$$

где  $\Delta l_p$  – межпиксельное расстояние на ПЗС-матрице. Величина  $\Delta x'_s$  связана с величиной смещения спеклов  $\Delta x_s$  в плоскости коллективной линзы КЛ, используемой при цифровой записи спеклограмм (рис. 3), соотношением

$$\Delta x'_s = \Delta x_s M, \quad (7)$$

где  $M$  – коэффициент поперечного увеличения оптической системы ПЗС-камеры. На практике этот коэффициент удобнее определять экспериментально с использованием точной штриховой меры, помещаемой в плоскость апертуры коллективной линзы КЛ.

Таким образом, из (4)-(7) для определения угла наклона  $\alpha$  получаем соотношение

$$\alpha = \frac{N\Delta l_p}{M\Lambda_p(1 + \cos \gamma)z_0}. \quad (8)$$

Нелинейная обработка экспериментальных спеклограмм и нормировка дифракционного гало с интерференционными полосами позволяет повысить точность определения периода полос и, как следствие, точность определения параметров смещения поверхности объекта. На рис. 4 приведены изображения дифракционных гало двухэкспозиционных спеклограмм, записанных в линейном режиме и подвергнутых нелинейной обработке с использованием функции  $x^8$ , без использования и с использованием процедуры нормировки пространственного спектра суммарных спеклограмм.

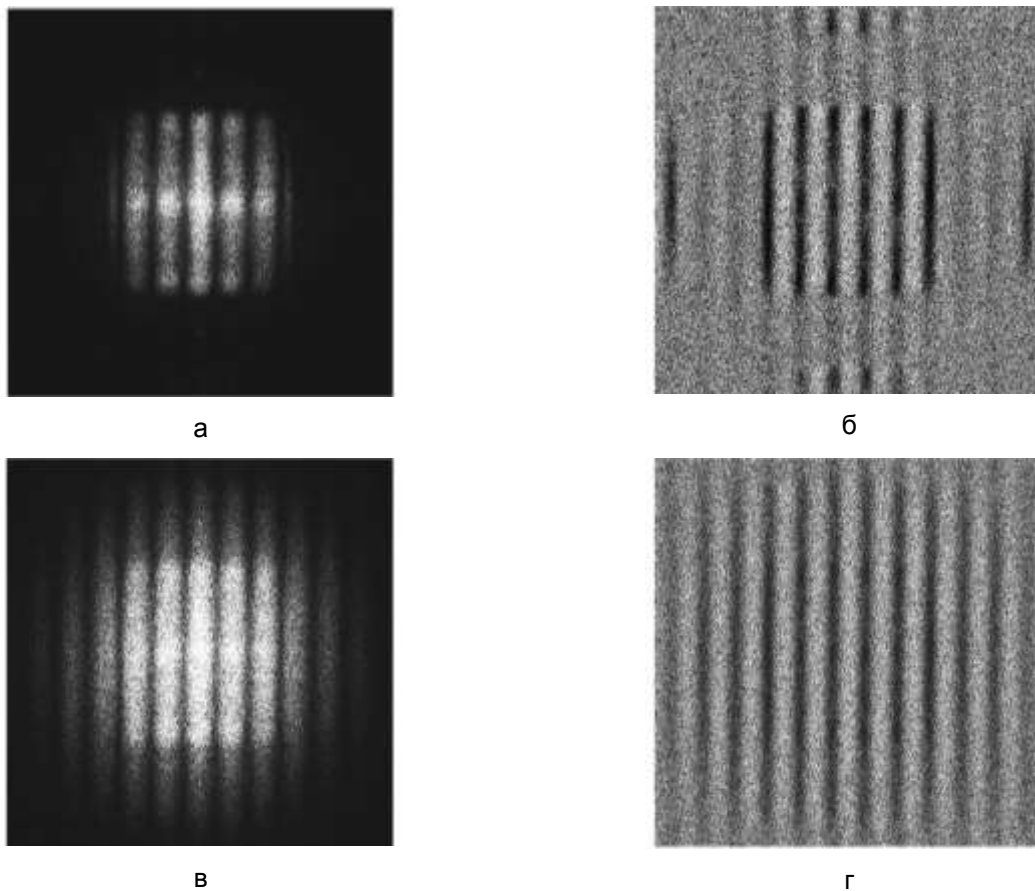


Рис. 4. Экспериментальные интерферограммы, полученные в линейном режиме записи спеклограмм (а, б) и при нелинейной обработке спеклограмм (в, г), без использования нормировки дифракционного гало (а, в) и с использованием нормировки (б, г)

Линейная апертура поверхности объекта имела форму квадратного кольца с внешней и внутренней длинами сторон 10 и 6 мм, соответственно. Дифракционное гало спеклограмм объекта с такой апертурной функцией  $P(\vec{r})$ , согласно (3), имеет сравнительно резко очерченную форму. Этот эффект становится очень заметным при нормировке дифракционного гало с интерференционными полосами (рис. 4 б). Нелинейная обработка спеклограмм, соответствующих исходному и смещенному положениям объекта, существенно расширяет дифракционное гало с интерференционными полосами и, как следствие, повышает точность измерений методом цифровой спекл-фотографии.

## 2.2. Голографическая интерферометрия

В экспериментальной реализации метода голографической интерферометрии записывались цифровые фурье-спеклограммы с использованием опорного пучка по схеме, представленной на рис. 2. Угол падения  $\theta$  опорного пучка на апертуру коллективной линзы KL устанавливался из соображения удовлетворения двум противоположным требованиям. Угол  $\theta$  должен быть достаточно малым, чтобы интерференционные полосы голограммной структуры разрешались и записывались ПЗС-матрицей цифровой камеры. С другой стороны, этот угол должен быть достаточно большим, чтобы дифракционное гало не накладывалось на восстановленные голографические изображения. При использовании линейной цифровой записи угловой размер гало – максимальный угол дифракции  $\beta_{\max}$  – равен угловому размеру объекта  $D/z_0$  [20]. Следовательно, угол  $\theta$  (рис. 2) должен быть больше  $D/z_0$ ,  $D/z_0 < \theta$ . Если для предельного разрешения интерференционных полос голограммной структуры достаточно, чтобы на периоде полос голограммной структуры  $d$  укладывалось не менее 3 пикселей ПЗС-матрицы, то для угла падения опорного пучка получаем неравенство

$$D/z_0 < \theta < \lambda_0/3\Delta l_p, \quad (9)$$

где  $\Delta l_p$  – как и выше, период расположения пикселей ПЗС-матрицы.

На рис. 5 представлены голографические изображения с интерференционными полосами рассеивающего объекта прямоугольной формы, полученные (восстановленные) в результате численной обработки цифровых фурье-голограмм, соответствующих двум пространственным положениям объекта, отличающихся взаимным наклоном на угол  $\alpha$  вокруг вертикальной оси. Записывались фурье-голограммы объекта в исходном состоянии (1-я экспозиция) и в смещенном положении после наклона на малый угол  $\alpha$  (2-я экспозиция). Сумма числовых матриц, соответствующих этим цифровым изображениям, подвергалась двумерному фурье-преобразованию. Квадрат модуля такого преобразования представлялся в формате графического файла-изображения.

Голографическая интерферометрия наклона объекта имеет более высокий порог чувствительности по сравнению с методом спекл-фотографии. Действительно, интерференционные полосы в спекл-фотографии формируются в дифракционном гало спеклограммы, протяженность которого вдвое больше протяженности голографического изображения [18]. Следовательно, в пределах дифракционного гало можно наблюдать полосы с большим периодом, вызванные меньшим углом наклона объекта, чем в пределах голографического изображения.

Запись двухэкспозиционных фурье-голограмм в отличие от записи спеклограмм позволяет определять параметры нормальных к поверхности объекта деформационных смещений, например, изгибных деформаций поверхности. Такие смещения приводят к достаточно сложным изменениям спекл-структуры дифракционного поля, так что между спекл-структурами, соответствующими различным состояниям объекта, возникают декорреляционные изменения и невозможно наблюдать полосы модуляции в их суммарном пространственном спектре – дифракционном гало, даже при выделении малых участков спеклограмм.

На рис. 6 приведены восстановленные с цифровых фурье-голограмм изображения объекта с интерференционными полосами – голографические интерферограммы. Между экспозициями объект – металлическая мембрана, жестко закрепленная по контуру, претерпевала деформацию изгиба под действием сосредоточенной силы, приложенной в центральной части мембраны.

На рис. 7 представлены профили прогиба мембраны, рассчитанные по интерферограммам, приведенным на рис. 6.

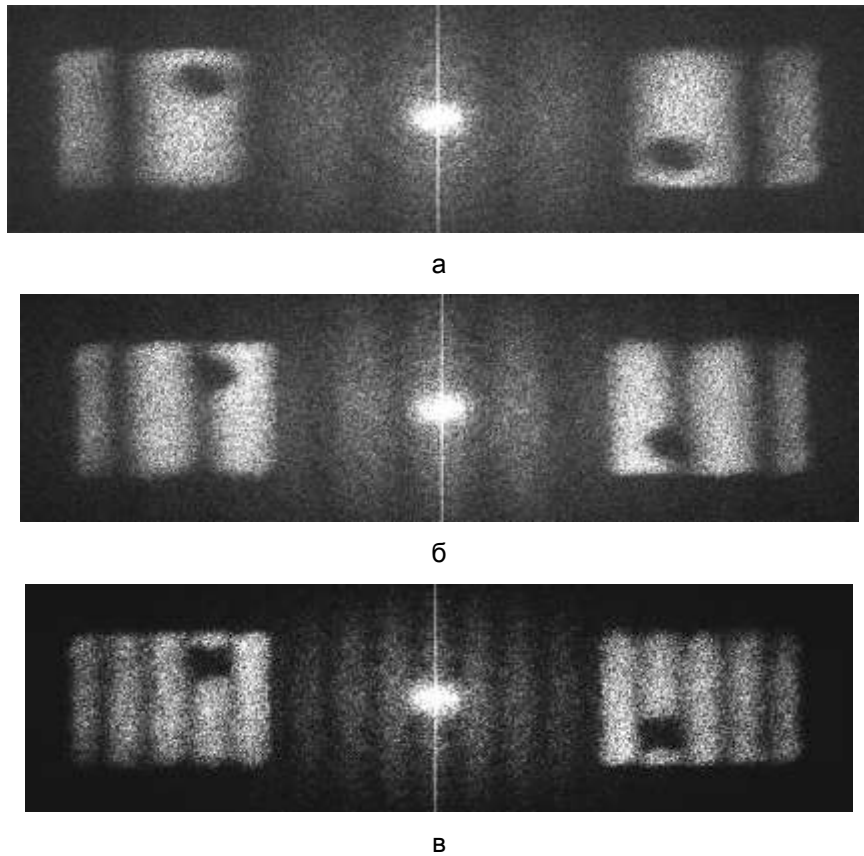


Рис. 5. Голографические интерферограммы наклона объекта, полученные при записи цифровых фурье-голограмм и численной процедуре обработки двухэкспозиционных цифровых голограмм:  
 а – угол наклона  $\alpha \approx 13''$ ; б –  $\alpha \approx 17''$ ; в –  $\alpha \approx 35''$

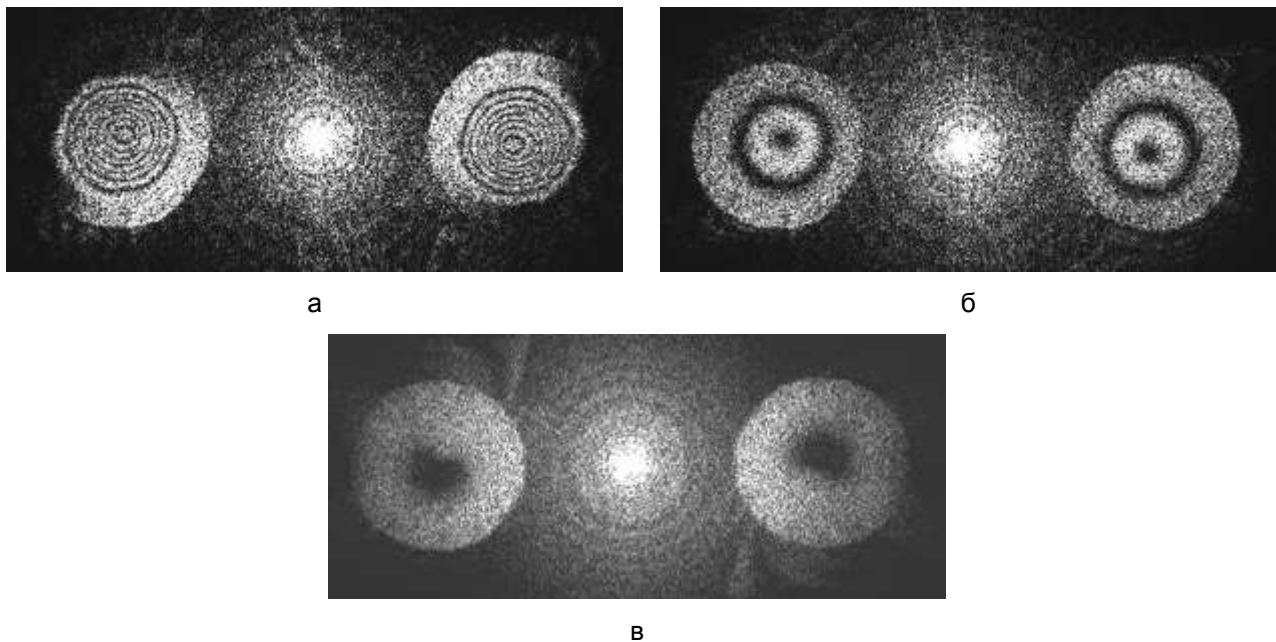


Рис. 6. Голографические интерферограммы деформации изгиба мембраны, жестко закрепленной по контуру, под действием сосредоточенной силы:  
 а – смещение поверхности  $g_z(x)$  в точке приложения нагрузки (в центре кольцевых полос);  
 $g_z \approx 2,5$  мкм; б –  $g_z \approx 0,5$  мкм; в –  $g_z \approx 0,2$  мкм

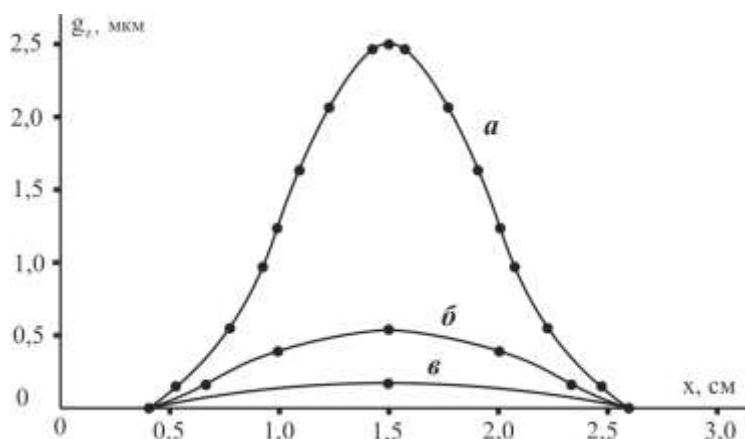


Рис. 7. Профили прогиба мембраны, рассчитанные по цифровым голографическим интерферограммам, полученным при различных нагрузках под действием сосредоточенной силы и представленным на рис. 5 а, б, в

Наблюдаемая система кольцевых интерференционных полос позволяет определить профиль прогиба мембраны  $g_z(x)$  с точностью, по нашим оценкам, до «половины полосы», что соответствует  $\Delta g_z \approx 0,2$  мкм для He-Ne лазера с  $\lambda = 0,63$  мкм при угле падения на объект лазерного пучка  $\gamma \approx 45^\circ$ . В предположении о нормальном смещении точек поверхности мембраны  $g_z$  для центров светлых интерференционных полос можно использовать уравнение [20]

$$g_z(1 + \cos \gamma) = m\lambda, \quad (10)$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Использование когерентного опорного пучка при записи цифровой голограммы существенно усложняет экспериментальную систему по сравнению с методом спекл-фотографии. Однако разработанная в [16-18] процедура синтеза голограммной структуры путем апостериорной компьютерной обработки цифровой фурье-спеклограммы позволяет, в принципе, отказаться от опорного пучка в реализации метода цифровой голографической интерферометрии при записи дифракционного поля в фурье-плоскости. На рис. 8 приведены голографические изображения с интерференционными полосами, восстановленные с синтезированной двухэкспозиционной фурье-голограммы объекта, претерпевшего наклон на угол  $\alpha \approx 21''$  между экспозициями. Приведенные интерферограммы показывают принципиальную возможность исключения опорного пучка в методе цифровой голографической интерферометрии.

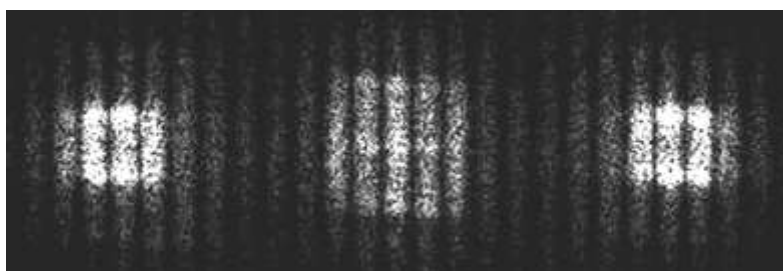


Рис. 8. Интерферограммы наклона объекта, восстановленные по синтезированным голограммным структурам в результате компьютерной обработки цифровых фурье-спеклограмм

### Заключение

Использование цифровой записи пространственных лазерных спекл-модулированных дифракционных картин и голограммных структур расширяет функциональные и метрологи-

ческие возможности методов двухэкспозиционной спекл-фотографии и голографической интерферометрии по сравнению с аналоговым вариантом реализации этих методов. Численная обработка цифровых спеклограмм и их дифракционных спектров позволяет заметно повысить точность измерений, снизив порог чувствительности спекл-фотографии.

Голографическая интерферометрия позволяет определять неоднородные смещения, нормальные к поверхности объекта, вызванные, например, изгибающей деформацией объекта. Это основное преимущество голографической интерферометрии по сравнению с методом спекл-фотографии. Однако использование опорного пучка в голографической интерферометрии существенно усложняет экспериментальную систему, повышает требования к помехозащищенности системы и к разрешающей способности цифровой камеры. Возможность преодоления этих проблем связана с разработанной процедурой синтеза голограммной структуры путем апостериорной компьютерной обработки цифровых спеклограмм, заключающейся в создании системы несущих полос в спеклах дифракционного поля.

В настоящей работе исследованы возможности цифровых методов с записью в дальней области дифракции объектного поля. Неточность выполнения экспериментальных условий формирования дальнего поля, как установлено, не влияет существенным образом на возможность формирования интерференционных картин, несущих информацию о параметрах смещения объекта. В голографической интерферометрии эта неточность снижает качество (разрешение) восстановленного изображения, что в большинстве практических задач не является фактором, определяющим эффективность метода измерения. Поэтому использование цифровой записи спеклограмм в общем случае в ближней области дифракции, включая область расфокусированного изображения объекта при использовании переотображающей оптической системы, позволяет существенно расширить функциональные возможности метода цифровой спекл-фотографии по отношению к разным типам контролируемых смещений поверхности рассеивающего объекта. В этом отношении, как показывают предварительные результаты наших исследований, возможен контроль изгибных деформаций поверхности методом цифровой спекл-фотографии с записью спекл-структур в расфокусированной зоне.

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы), проекты № 2.1.1/4973 и № 2.1.1/2950.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оптический производственный контроль / пер. с англ.; под ред. Д. Малакары. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
2. Коронкевич В.П. Современные лазерные интерферометры / В.П. Коронкевич, В.А. Ханов. Новосибирск: Наука, Сибир. отд., 1985. 182 с.
3. Коломийцов Ю.В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение / Ю.В. Коломийцов. Л.: Машиностроение, 1976. 296 с.
4. Островский Ю.И. Голографические интерференционные методы измерения деформаций / Ю.И. Островский, В.П. Щепинов, В.В. Яковлев. М.: Наука, 1988. 248 с.
5. Джоунс Р. Голографическая и спекл-интерферометрия / Р. Джоунс, К. Уайкс. М.: Мир, 1986. 328 с.
6. Вест Ч. Голографическая интерферометрия / Ч. Вест. М.: Мир, 1982. 504 с.
7. Васильев В.Н. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам / В.Н. Васильев, И.П. Гуров. СПб.: БХВ Санкт-Петербург, 1998. 332 с.
8. Дифракционная компьютерная оптика / под ред. В.А. Сойфера. М.: Физматлит, 2007. 736 с.
9. Schnars U. Digital holography / U. Schnars, W. Jueptner. Berlin: Springer Verlag, 2004. 164 p.

10. Современные методы цифровой голографии / С.А. Балтийский, И.П. Гуров, С. Де Никола и др. // Проблемы когерентной и нелинейной оптики; под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 91-117.
11. Characterization of microelectromechanical systems by the digital holography method / S. Baltiysky, I. Gurov, S. De Nicola et al. // The Imaging Science Journal. 2006. Vol. 54. № 2. P. 103-110.
12. Разумовский И.А. Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела / И.А. Разумовский. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 240 с.
13. Островский Ю.И. Голографическая интерферометрия / Ю.И. Островский, М.М. Бутусов, Г.В. Островская. М.: Наука, 1977. 336 с.
14. Клименко И.С. Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия / И.С. Клименко. М.: Наука, 1985. 224 с.
15. Rastogi P.K. Holographic interferometry. Principles and methods. Springer Series in Optical Sciences / P.K. Rastogi. Vol. 68. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 328 p.
16. Реконструкция изображения по пространственному распределению интенсивности дифракционного спекл-модулированного поля / Б.Б. Горбатенко, Л.А. Максимова, В.П. Рябухо, Ю.В. Норев // Компьютерная оптика. 2007. В. 31. № 2. С. 26-33.
17. Горбатенко Б.Б. Восстановление голограммной структуры по цифровой записи фурье-спеклограммы / Б.Б. Горбатенко, Л.А. Максимова, В.П. Рябухо // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 106. № 2. С. 321-328.
18. Пространственный спектр (дифракционное гало) фурье-спеклограммы рассеивающего объекта / Б.Б. Горбатенко, А.А. Гребенюк, Л.А. Максимова, В.П. Рябухо // Компьютерная оптика. 2009. Т. 33. № 1. С. 43-51.
19. Goodman J.W. Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications / J.W. Goodman. Englewood: Roberts & Company Publishers, 2006. 387 p.
20. Кольер Р. Оптическая голография / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лиин. М.: Мир, 1973. 688 с.

**Горбатенко Борис Борисович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная физика» Саратовского государственного технического университета

**Рябухо Владимир Петрович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Оптика и биофотоника» Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Гребенюк Антон Александрович** – студент Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Мысина Наталья Юрьевна** – студентка Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Максимова Людмила Александровна** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

**Gorbatenko Boris Borisovich** – Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of «Applied Physics» of Saratov State Technical University

**Ryabukho Vladimir Petrovich** – Doctor of Physical-Mathematical Sciences, Professor of the Department of «Optics and Biophotonics» of Saratov State University named after N.G. Chernyshevskiy

**Grebenyuk Anton Aleksandrovich** – Student of Saratov State University named after N.G. Chernyshevskiy

**Mysina Nataliya Yuriyevna** – Student of Saratov State University named after N.G. Chernyshevskiy

**Maksimova Lyudmila Aleksandrovna** – Candidate of Physical-Technical Sciences, Senior Researcher of the Institute of Precision Mechanics and Control of RAS

*Статья поступила в редакцию 06.07.10, принята к опубликованию 23.09.10*



УДК 539.193/.194;535/33.34

В.Ф. Пулин, М.А. Эрман

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ  
ЭТИЛСПИНАЗАРИНА И ЭХИНОХРОМА

*Дан анализ адиабатического потенциала этилспиназарина и эхинохрома, выявлен механизм внутримолекулярного взаимодействия.*

Колебательные спектры, этилспиназарин, эхинохром, водородная связь.

V.F. Pulin, M.A. Erman

STRUTURAL-DINAMICS MODELS  
FOR ETHYLSPINASARINE AND EHINOHROME

*The analysis of ethylspinasarine and ehinohrome vibrational spectra is carried out. The existence of internal hydrogen bonding is estimated.*

Vibrational spectra, ethylspinasarine, ehinohrome, internal hydrogen bonding.

**Введение.** Достоверность результатов решения задач идентификации соединений, имеющих нафтазариновый, гидроксильный и этиловый молекулярные фрагменты [1], продемонстрирована нами в работах [2, 3] на примере нафталина, 1,4-нафтохинона, нафтазарина, спиназарина. Доказательством является хорошее совпадение квантово-химических расчетов колебательных состояний и экспериментальных данных по колебательным спектрам. Для таких расчетов лучшими предсказательными свойствами обладает метод функционала плотности DFT/b3Lyp/6-311+G(d,p) [4].

Цель данной статьи – построение структурно-динамических моделей этилспиназарина и эхинохрома (молекулярные диаграммы соединений даны в работе [1]).

**Модельные расчеты структуры и спектра соединений.** Результаты модельных расчетов для углеродного остова соединений показывают, что замещение приводит к изменению геометрии шестичленных сопряженных циклов, не выходящему за рамки точности расчетных методов функционала плотности при любом атомном базисе. Спиназарин обладает симметрией  $C_{2v}$ , этилспиназарин –  $C_s$ , эхинохром принадлежит группе симметрии  $C_1$ . Модельные расчеты эхинохрома для конфигурации симметрии  $C_{2v}$  не воспроизводят частоты крутильных колебаний. Три мнимые частоты по абсолютной величине выходят за пределы ошибок численных методов компьютерной технологии «Gaussian» [4] для низкочастотных колебаний. Однако относительная некопланарность фрагментов колец углеродного остова не превышает  $2^\circ$ . Для гидроксильных групп значения геометрических параметров меняются в диапазонах:  $R_{CO} = 1.34-1.35 \text{ \AA}$ ;  $R_{OH} = 0.97-1.0 \text{ \AA}$ ;  $A_{COH} = 104.8-106.9^\circ$ , для этилового фрагмента:  $R_{CO} = 1.44-1.45 \text{ \AA}$ ,  $R_{CC} = 1.51-1.52 \text{ \AA}$ ,  $R_{CH} = 1.09-1.1 \text{ \AA}$ ,  $A_{COC} = 119.4-120^\circ$ . Валентные углы этого фрагмента отличаются от тетраэдрических не более чем на  $3^\circ$ . Такие изменения дают основание предполагать, что в колебательных спектрах будет проявляться характеристичность колебаний этого фрагмента по частоте. Длины связей  $CC$  циклических фрагментов лежат в диапазоне  $1.38-1.48 \text{ \AA}$ , значения валентных углов в этих фрагментах изменяются в диапазоне  $118.9-120.5^\circ$ .

Результаты численного эксперимента и интерпретация колебательных состояний наиболее сильных по интенсивности полос этилспиназарина и эхинохрома приведены в табл. 1, 2. Достоверность предложенной интерпретации колебательного спектра аргументировалась тем, что неэмпирические квантовые расчеты адиабатического потенциала в рамках метода *DFT/b3LYP* хорошо согласуются с экспериментальными данными по колебательным спектрам родственного по электронной структуре соединения, каковым является нафтазарин [5-8]. Характер поведения частот фундаментальных колебаний углеродного остова соответствует теории молекулярных колебаний в циклических соединениях [9], а для этанолового фрагмента сопоставление с экспериментом подтверждает выводы диссертации [9]. Согласно приведенным расчетным данным, идентифицирующим признаком является перераспределение интенсивностей полос колебаний гидроксильных групп (дублет в диапазоне 3400-3330  $\text{cm}^{-1}$ ). Налицо и смещение полос  $\sim 50 \text{ cm}^{-1}$ .

Таблица 1

Интерпретация колебательных состояний этилспиназарина

Форма	$\nu_r$	$\nu_m$	ИК	КР	Форма	$\nu_r$	$\nu_m$	ИК	КР
<b>Плоские колебания</b>									
qoh	3662	3482	108	136	$\beta$ oh, $\beta$ e	1429	1386	44.6	43.2
qoh	3638	3460	148	140	$\beta$ e, $\beta$ oh	1424	1380	60.8	44.0
qoh	3347	3190	87.2	64.3	$\beta$ oh	1395	1352	426	32.8
qoh	3332	3177	128	163	$\beta$ oh, $\beta$	1356	1315	128	154
Q, Qc=O	1724	1667	122	202	$\beta$ oh, $\beta$	1337	1297	373	12.4
Q, Qco, $\beta$	1663	1609	69.9	128	$\beta$ oh, $\beta$ co	1325	1286	215	9.18
Qc=O, $\beta$	1623	1571	288	60.8	Qco, $\beta$ oh	1322	1283	830	18.0
Q, Qc=O	1618	1566	413	16.5	$\beta$ oh	1261	1224	765	124
Q, $\beta$ oh	1608	1556	93.6	187	$\beta$ , $\beta$ oh	1217	1181	54.3	13.1
$\beta$ , $\beta$ oh	1479	1433	125	265	$\beta$ oh	1070	1040	34.9	19.2
$\beta$ , $\beta$ oh	1448	1404	106	55.1	Q, $\gamma$ , qco	998	971	64.9	7.64
$\beta$ e, $\beta$ oh	1444	1400	122	120					
<b>Неплоские колебания</b>									
roh	782	762	228	0.13	roh	780	761	61.8	1.17
roh	591	577	160	1.92	roh	602	587	56.2	0.86
rho	564	550	53.4	0.02	roh, rho	585	571	101	0.91
roh	796	776	150	0.53	roh, rho	556	543	31.1	2.17

**Примечание.** Частоты колебаний в  $\text{cm}^{-1}$ , интенсивности – в спектрах ИК в  $\text{km/mol}$ , в спектрах КР  $\text{\AA}^4/\text{a.e.m.}$

В диапазоне 1700-1200  $\text{cm}^{-1}$ , куда попадают валентные колебания углеродного остова, валентные колебания связей C=O, деформационные колебания связей гидроксильных фрагментов и связей СН, такая идентификация затруднена, поскольку энергетическая щель между полосами сравнима с критерием точности расчетов в задачах идентификации соединений [10]. Кроме того, имеет место делокализация колебаний циклического остова и гидроксильных фрагментов, а также валентных колебаний связей C=O. Отметим также, что частоты валентных колебаний связи C=O заметно снижены по сравнению с таковыми в циклических соединениях [11].

Основной идентификационный признак эхинохрома связан с наличием дополнительной гидроксильной группы, которая заместила атом водорода в этилспиназарине. Частота валентного колебания этого фрагмента существенно ( $\sim 100 \text{ cm}^{-1}$ ) выше аналогичных колебаний гидроксильных групп этилспиназарина и эхинохрома, не участвующих во внутримолекулярном взаи-

модействии. Полоса интенсивна в обоих спектрах. Использование остальных полос в задачах идентификации соединений затруднено по причинам, указанным выше для этилспиназарина.

Таблица 2

## Интерпретация колебательных состояний эхинохрома

Форма	$\nu_r$	$\nu_m$	ИК	КР	Форма	$\nu_r$	$\nu_m$	ИК	КР
<b>Плоские колебания</b>									
q <sub>OH</sub>	3750	3562	141	90.2	β <sub>OH</sub>	1387	1345	496	3.82
q <sub>OH</sub>	3670	3489	106	145	β <sub>OH</sub>	1378	1337	209	20.5
q <sub>OH</sub>	3641	3462	139	129	β <sub>OH</sub>	1347	1307	345	63.5
q <sub>OH</sub>	3371	3214	108	125	q <sub>CO, γ</sub>	1331	1291	410	24.7
q <sub>OH</sub>	3314	3160	145	141	β <sub>OH</sub>	1325	1285	620	21.6
Q, β <sub>OH</sub>	1724	1667	127	173	β <sub>e</sub>	1302	1263	46.2	23.3
Q <sub>c=O</sub> , Q	1663	1609	55.1	117	β <sub>OH</sub>	1292	1254	718	38.7
Q, β <sub>OH</sub>	1630	1578	226	120	β <sub>OH</sub> , Q	1260	1223	426	107
Q <sub>c=O</sub>	1622	1569	143	97.2	Q <sub>CO</sub>	1192	1157	44.6	18.7
Q	1609	1557	204	187	Q <sub>CO</sub>	1092	1061	8.58	39.5
β <sub>e</sub>	1507	1460	231	56.8	γ, β <sub>OH</sub>	1056	1027	34.1	16.8
β <sub>e</sub>	1488	1441	169	400	Q <sub>CC</sub> , Q <sub>CO</sub>	1026	998	104	8.84
β <sub>e</sub> , γ, β <sub>OH</sub>	1466	1421	305	28.0	q <sub>CO</sub>	1005	977	143	0.16
β <sub>e</sub> , β <sub>OH</sub>	1432	1388	73.4	66.5	Q <sub>CO</sub>	891	868	58.6	13.6
β <sub>e</sub>	1426	1382	9.28	54.9	β <sub>c=O</sub>	434	424	36.1	3.45
β <sub>e</sub> , β <sub>OH</sub>	1421	1377	24.6	57.4	β <sub>c=O</sub> , β <sub>CO</sub>	845	824	46.2	0.06
<b>Неплоские колебания</b>									
ρ <sub>OH</sub>	785	765	190	0.02	ρ <sub>OH</sub>	542	529	1.27	39.4
ρ <sub>OH</sub>	555	542	68.1	1.90	ρ <sub>OH</sub>	484	473	114	1.51

Сопоставление отнесений колебаний этанольного фрагмента в этилспиназарине и эхинохроме указывает на характеричность колебаний по частоте для деформационных колебаний связей СН. Судить о характеричности интенсивностей не представляется возможным ввиду делокализации форм колебаний состояний в частотном диапазоне 1500-1380 см<sup>-1</sup>.

**Заключение.** На основании проведенных модельных расчетов выделены спектральные идентификационные признаки, по которым можно осуществлять стандартизацию лекарственных препаратов, содержащих этилспиназарин и эхинохром.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Спиназарин и этилспиназарин – пигменты морского ежа *Scaphechinus mirabilis* / А.Я. Якубовская, Н.Д. Похилло, Н.П. Мищенко, В.Ф. Ануфриев // Известия АН РФ. Сер. хим. 2007. № 4. С. 788-791.
2. Элькин М.Д. Компьютерное моделирование геометрической структуры и колебательных состояний спиназарина / М.Д. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, И.И. Гордеев // Прикаспийский журнал: высокие технологии и управление. 2009. № 3(7). С. 48-54.
3. Элькин М.Д. Компьютерное моделирование геометрической структуры и колебательных состояний полифенилов / М.Д. Элькин, Е.Ю. Степанович, Е.А. Джалмухамбетова // Прикаспийский журнал: высокие технологии и управление. 2009. № 4(8). С. 36-43.
4. GAUSSIAN 03. Revision A.7 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel et al. Gaussian. Inc., Pittsburgh (PA). 2003.
5. Stenman F. On vibrational spectrum 1,4-naphthoquinone / F. Stenman, J. Rasannen // Spectrochemical Acta. 1972. Vol. 29A. P. 405-410.

6. Girlando A. Normal coordinate analysis of fused-ring p-quinones: in plane vibrations of 1,4-naphthoquinone and 9,10-anthraquinone / A. Girlando, D. Ragazzon, C. Pecule // Spectrochemical Acta. 1980. Vol. 36A. P. 1053-1058.

7. Paul S.O. The Fourier Transform Raman and infrared spectra naphthazarine / S.O. Paul, C.J.H. Schutte, P.J. Hendra // Spectrochim. Acta. 1990. Vol. 46. P. 323-329.

8. Nonella M. Structures and harmonic force field of 1,4-naphthoquinone and naphthalene: a density functional study / M. Nonella / Journal Molecular structure. 1996. Vol. 132. P. 7-21.

9. 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.

10. Мясоедов Б.Ф. Фрагментарные методы расчета ИК спектров фосфорорганических соединений / Б.Ф. Мясоедов, Л.А. Грибов, А.И. Павлючко // Журнал структурной химии. 2006. Т. 47. № 1. С. 449-456.

11. Элькин П.М. Анализ колебательных спектров метилзамещенных урацила в ангармоническом приближении / П.М. Элькин, М.А. Эрман, О.В. Пулин // Журнал прикладной спектроскопии. 2006. Т. 73. № 4. С. 431-436.

12. Mikawa Y. Polarized infrared spectra of crystals of ethyl alcohol / Y. Mikawa, J.W. Brasch, R.J. Jakobsen // Spectrochimica Acta. 1971. Vol. 27A. P. 529-539.

**Пулин Виктор Федотович** –  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Общая физика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Pulin Viktor Fedorovich** –  
Candidate of Physical-Mathematical Sciences,  
associate professor of the Department  
of «General physics»  
of Saratov State Technical University

**Эрман Михаил Александрович** –  
аспирант кафедры «Общая физика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Erman Mikhail Aleksandrovich** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «General physics»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 28.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 535.361.22 : 535.338.334

**П.Ю. Старухин, Ю.В. Клинаев**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОПЛЕРОВСКОГО УШИРЕНИЯ СПЕКТРА РАССЕЯННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ДИАГНОСТИКА КРОВОТОКА В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ**

*Построена математическая модель многослойной рассеивающей и поглощающей среды, содержащей движущиеся рассеиватели. Исследовано влияние оптических параметров среды на характеристики обратнорассеянного излучения. Рассмотрены возможности диагностики параметров микроциркуляции крови в коже человека *in vivo*.*

Рассеяние, поглощение света, доплеровский сдвиг, микроциркуляция крови, биоткань, методы Монте-Карло.

P.Yu. Starukhin, Yu.V. Klinayev

## DOPPLER SPECTRUM MODELING OF SCATTERING LASER LIGHT AND BLOOD FLOW DIAGNOSTICS IN BIOLOGICAL TISSUES

*The mathematical model of multilayer scattering and absorbing media containing moving scatterers is constructed in the article. The influence of biological tissue optical parameters on the characteristics of back scattering light is under research. Possibilities of blood parameters diagnostics of microcirculation inside human skin in vivo are considered.*

Scattering, absorption, Doppler shift, blood microcirculation, biological tissue, Monte-Carlo methods.

### Введение

В настоящее время активно развиваются лазерные низкоинтенсивные методы диагностики биологических объектов [1, 2].

Одним из наиболее перспективных методов диагностики кровотока *in vivo* является метод лазерного доплеровского измерения скорости потока (Laser Doppler Flowmetry (LDF)). Данный метод впервые был использован в 1970-х годах [3, 4]. Разновидности метода активно используются в настоящее время для визуализации потоков жидкости [5, 6].

Однако актуальной остается задача томографии биологических объектов, в частности характеристик кровотока в коже человека.

Целью данной работы является изучение возможностей использования метода лазерного доплеровского измерения скорости для томографии микроциркуляторного русла кожи человека и построение метода диагностики характеристик микроциркуляции.

Учитывая сильнорассеивающие свойства биологической ткани в видимом диапазоне частот [2], для решения задачи переноса излучения, нами был выбран метод Монте-Карло, оправдавший свое использование в биомедицине [7, 8].

### Моделирование распространения лазерного излучения в биологической ткани

Кожа человека представляет собой сложный, оптически-неоднородный объект [9, 10]. Для решения нашей задачи будем представлять кожный покров набором однородных слоев с определенными оптическими характеристиками (коэффициенты поглощения и рассеяния  $\mu_a$  и  $\mu_s$  [1/см], соответственно, фактор анизотропии  $g$ , показатель преломления  $n$ , толщина слоя,  $d$  [см]). Тогда задача переноса лазерного излучения может быть решена с помощью моделирования методом Монте-Карло. Метод ранее хорошо описан в ряде публикаций [7, 11].

Существенным отличием нашего метода является учет возможности рассеяния излучения движущимися частицами среды (форменными частицами крови – эритроцитами и пр.). Считалось, что каждый слой кожного покрова характеризуется, в дополнение к основным оптическим параметрам, относительной концентрацией движущихся рассеивателей  $C_{\text{слоя}}$  = (объем движущихся частиц/объем среды), определяющей вероятность рассеяния фотона движущейся частицей и модулем скорости рассеивателей  $V_{\text{слоя}}$ . Пространственное распределение вектора скорости рассеивателей принималось анизотропным. Тогда, если случайная величина  $\xi$ , равномерно распределенная в интервале [0, 1],

$$\xi < C_{\text{слоя}}, \quad (1)$$

фотон считается рассеянным движущейся частицей и приобретает доплеровский сдвиг частоты

$$\delta f = \frac{1}{2\pi} (\vec{K}_s - \vec{K}_i) \vec{V}_{\text{слоя}}, \quad (2)$$

где  $K_i$ ,  $K_s$  – единичные векторы скорости фотона до и после рассеяния соответственно;  $V$  – вектор скорости движущейся частицы.

Если в процессе распространения фотон испытывает  $n$  рассеяний движущимися частицами, его суммарный сдвиг частоты вычисляется как:

$$\delta f = \sum_{j=1}^n \delta f_j. \quad (3)$$

Для эффективного учета поглощающих свойств среды, при моделировании инициируется запуск в среду пакета фотонов. Вес пакета фотонов уменьшается при каждом акте взаимодействия со средой на долю поглощенного излучения, пропорциональную альбедо однократного рассеяния:

$$W_{n+1} = W_n \left( \frac{\mu_s}{\mu_a + \mu_s} \right), \quad (4)$$

где  $W_n$  – вес пакета фотонов до рассеяния;  $W_{n+1}$  – после рассеяния.

В результате расчета распространения в среде заданного числа пакетов фотонов ( $10^8$ - $10^9$ ), детектора заданной геометрии достигнут  $m$  пакетов фотонов с общим весом:

$$W_{\text{полное}} = \sum_i^m w_i, \quad (5)$$

из них  $k \leq m$  испытавших доплеровский сдвиг частоты.

Тогда средний доплеровский сдвиг частоты компоненты излучения, рассеянного движущимися частицами

$$\partial F = \frac{\sum_i^k \delta f_i w_i}{\sum_i^k w_i}. \quad (6)$$

### Модель среды, использованная при моделировании

Модель биологической среды строилась как набор плоскопараллельных слоев, с различными оптическими характеристиками. Значения оптических параметров среды выбирались близкими к известным экспериментальным данным. Источник монохроматического излучения размещался нормально относительно поверхности среды. Приемник размещался на заданном расстоянии от источника. Радиус источника и приемника принимался 0,01 см. Для источника лазерного излучения выбрана длина волны 633 нм, которая укладывается в окно прозрачности биоткани (600-1500 нм), в котором коэффициент поглощения много меньше коэффициента рассеяния.

### Исследование влияния концентрации движущихся частиц на характеристики обратнорассеянного излучения и диагностика объемного кровенаполнения микроциркуляторного русла

#### Двухслойная модельная среда

В качестве простой модели выбрана двухслойная модель, параметры которой представлены в табл. 1.

Результаты моделирования представлены на рис. 1-2.

Таблица 1

Характеристики двухслойной модельной среды

Слой	Объемное содержание крови, %	$\mu_a$ , 1/см	$\mu_s$ , 1/см	$g$	$n$	Толщина $d$ , см
Верхний (статический) слой	0	0,8	300	0,8	1,4	0,02
Нижний слой с движущимися рассеивателями	0,05-0,20	1,0	200	0,9	1,3	1,0

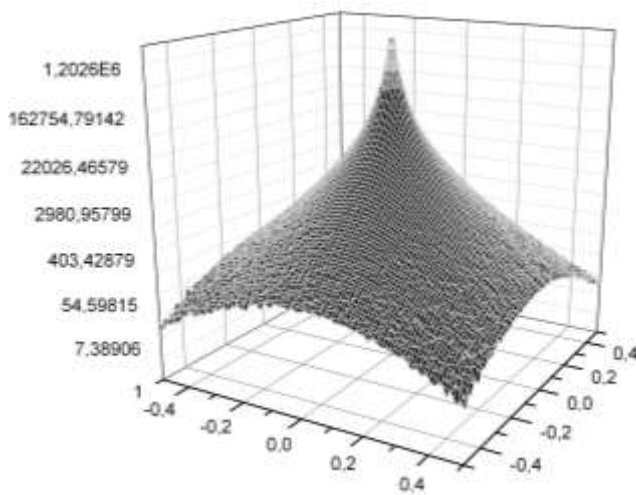


Рис. 1. Относительная интенсивность (в логарифмическом масштабе) как функция расстояния между источником и детектором

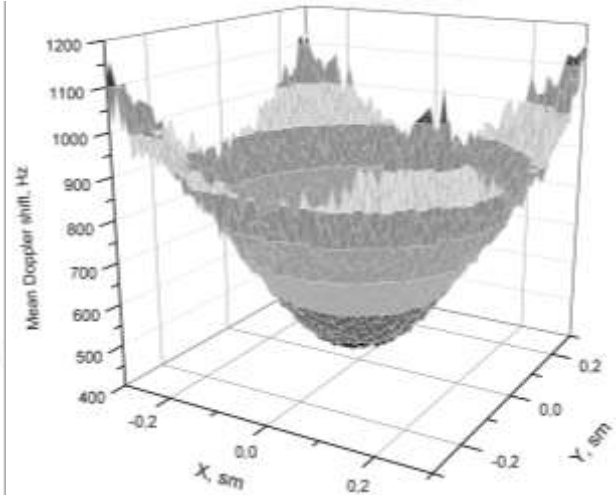


Рис. 2. Средний доплеровский сдвиг как функция расстояния между источником и детектором

Видно, что задача имеет осевую симметрию, что позволяет значительно сократить объем вычислений.

Зависимость относительной интенсивности от расстояния между источником и детектором близка к экспоненциальной, что соответствует исходным положениям (закон Бугера – Ламберта-Бера).

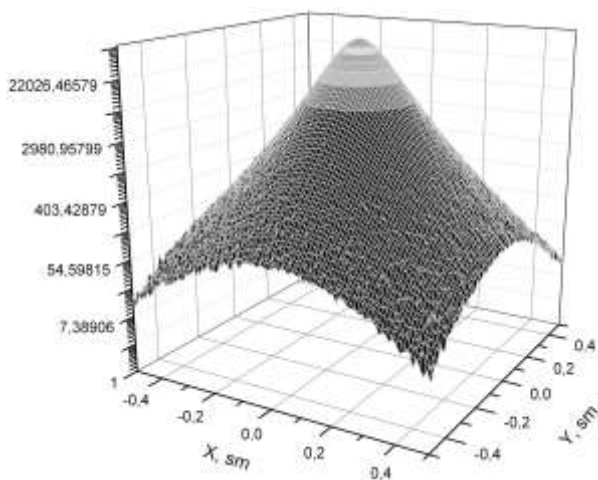


Рис. 3. Доплеровская компонента интенсивности диффузно отраженного излучения

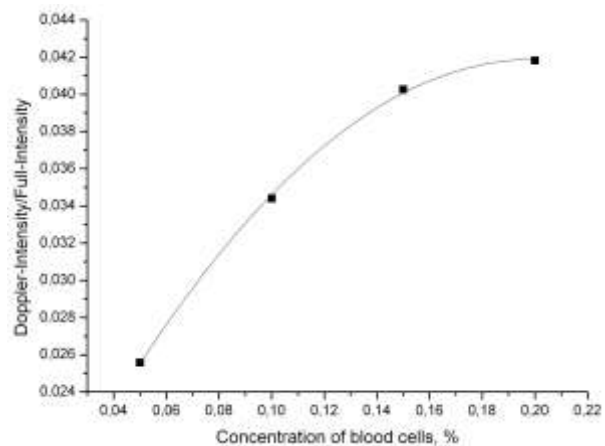


Рис. 4. Зависимость отношения доплеровской компоненты интенсивности к полной интенсивности на приемнике излучения

Распределение интенсивности обратнорассеянного излучения несет информацию об оптических свойствах рассеивающей среды, средний доплеровский сдвиг частоты (уширение спектра рассеянного излучения) характеризует скорость рассеивающих частиц (эритроцитов).

Рассмотрим доплеровскую компоненту интенсивности диффузно-рассеянного излучения.

Доплеровская компонента интенсивности диффузно отраженного излучения будет нести информацию о содержании в среде движущихся рассеивателей. Тогда отношение доплеровской компоненты к полной интенсивности даст характеристический параметр для определения объемной концентрации движущихся рассеивателей, в медицинских терминах – объемное кровенаполнение микроциркуляторного русла.

### ***Многослойная модель кожи человека***

Как правило, в кожном покрове выделяют 7 слоев, представленных в табл. 2.

Таблица 2

Оптические характеристики кожи человека

Слой	Объемное содержание крови, %	$\mu_a$ , 1/см	$\mu_s$ , 1/см	$g$	$n$	Толщина d, см
Роговой слой	0,0	1,0	1000	0,9	1,5	0,002
Эпидермис	0,0	1,5	600	0,85	1,34	0,008
Дерма с капиллярными петлями	0,04	0,68	300	0,9	1,39	0,015
Дерма с поверхностным сплетением сосудов	0,08	0,95	350	0,95	1,4	0,008
Дерма	0,05	0,73	250	0,76	1,39	0,15
Дерма с глубинным сплетением сосудов	0,14	1,18	350	0,95	1,4	0,01
Подкожный жир	0,06	0,68	150	0,8	1,44	0,5

Приведенные значения оптических параметров соответствуют длине волны 633 нм и являются типичными для нормальной кожи человека [12].

Наибольшее значение объемной концентрации крови наблюдается в нижнем слое дермы с глубинным содержанием сосудов кровеносной системы. Нормальное значение концентрации составляет 14%. Взяв это значение за основу, мы рассчитывали в рамках численного эксперимента соотношение интенсивности доплеровской компоненты интенсивности диффузно-рассеянного излучения к полной интенсивности на детекторе.

Результаты моделирования приведены на рис. 5-6.

В результате численного эксперимента, для заданной длины волны и оптических характеристик кожного покрова получена зависимость объемного кровенаполнения микроциркуляторного русла от измеряемого экспериментально отношения доплеровской компоненты интенсивности к полной интенсивности диффузно отраженного излучения:

$$V_{кр} = 104,618(I_D / I)^2 - 21,3(I_D / I) + 1,513. \quad (7)$$

При известных оптических параметрах биологического объекта данная зависимость может быть использована для клинического измерения объемного кровенаполнения микроциркуляторного русла кожи человека.



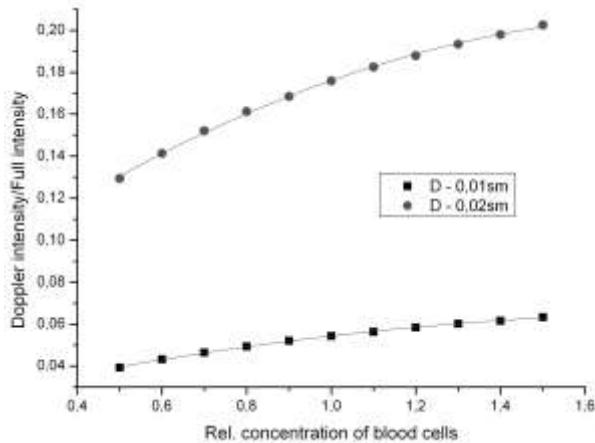


Рис. 5. Полученная при моделировании зависимость отношения доплеровской компоненты интенсивности к полной интенсивности на детекторе от относительной концентрации подвижных рассеивателей для двух значений расстояния между источником и детектором излучения

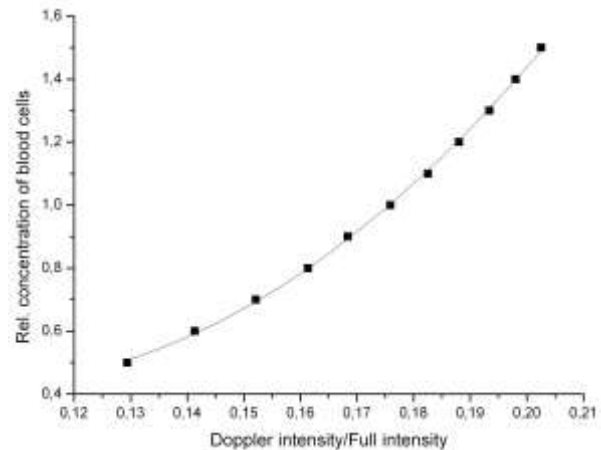


Рис. 6. Полученная при моделировании зависимость относительной концентрации подвижных рассеивателей от отношения доплеровской компоненты интенсивности к полной интенсивности на детекторе. Расстояние между источником и детектором излучения 2 мм

### Исследование возможности применения лазерной доплеровской спектроскопии для задач томографии крупных кровеносных сосудов с использованием метода Монте-Карло

В число задач медицинской томографии входит определение как физиологических параметров биологической системы, так и геометрии объектов, в частности крупных кровеносных сосудов.

Особенностью кровеносных сосудов является наличие потока форменных частиц крови, движущихся в определенном направлении. Причем, в отличие от капиллярной сети, где диаметр сосуда сравним с размером эритроцита (7-7,5 мкм), в достаточно крупных сосудах, таких как артериолы, венулы (0,02-0,2 см), поток частиц будет подчиняться традиционным законам гидродинамики.

Мы использовали метод Монте-Карло для изучения возможностей томографии кровеносных сосудов по интенсивности обратнорассеянного излучения. Был проведен ряд численных экспериментов, в которых моделировался сигнал низкоинтенсивного лазерного излучения, обратнорассеянного средой, содержащей одиночный сосуд. Сосуд цилиндрической формы и заданного диаметра располагался параллельно поверхности среды, на оси пучка падающего излучения. Все частицы внутри сосуда считались движущимися в направлении оси сосуда с постоянной скоростью. Для модели потока крови, протекающей внутри сосуда, использован плоский профиль скорости. Оптические параметры представлены в табл. 1.

В эксперименте исследовалось  $10^8$ - $10^9$  траекторий движения фотонов. В результате вычислений определено, что для коэффициента поглощения крови  $\mu_a$  в диапазоне от 2,0 до 5,0 1/см наличие сосуда в среде не влияет на форму распределения обратнорассеянного излучения, хотя отражается на численном распределении поглощенной в среде энергии.

Затем был проведен анализ распределения интенсивности части обратнорассеянного излучения, которая пересекала границы кровеносного сосуда и приобрела доплеровский сдвиг частоты.

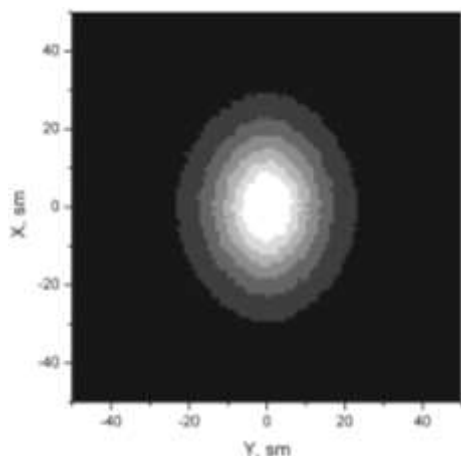


Рис. 7. Контур распределения интенсивности обратнорассеянного излучения, прошедшего через сосуд с движущимися рассеивателями и имеющего доплеровский сдвиг частоты. Ось сосуда параллельна оси X. Более светлые области соответствуют большему значению интенсивности

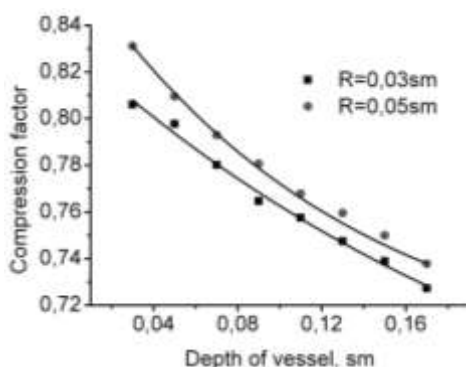


Рис. 8. Зависимость эллиптичности распределения интенсивности доплеровской фракции обратнорассеянного излучения от глубины залегания сосуда, для двух значений радиуса сосуда 0,03 и 0,05 см

Как видно из рис. 7, форма пятна обратнорассеянного излучения, имеющего доплеровский сдвиг частоты, имеет вид правильного эллипса, параметры которого описываются значениями полуосей ( $a$  – большая полуось,  $b$  – малая полуось).

Тогда коэффициент сжатия эллипса (или эллиптичность):

$$K = \frac{b}{a}. \quad (8)$$

Подобная форма распределения интенсивности объясняется «бананообразным» распределением траекторий движения фотонов, достигающих оптический детектор на определенном расстоянии от источника излучения [13]. Траектории фотонов, движущихся, преимущественно, в направлении, перпендикулярном оси сосуда, могут не пересекать стенку сосуда. Такие фотоны не будут иметь доплеровского сдвига частоты, тогда как фотоны, движущиеся в направлении, параллельном оси сосуда, с большей вероятностью пересекнут сосуд с подвижными рассеивателями.

В таком случае коэффициент сжатия эллипса распределения интенсивности несет информацию о рассеивающей среде, в том числе о глубине залегания кровеносного сосуда.

Результаты исследования зависимости эллиптичности распределения интенсивности от глубины залегания сосуда представлены на рис. 8.

Как видно из рис. 8, в диапазоне глубин от 0,03 до 0,17 см зависимость эллиптичности сохраняет монотонный характер. Следовательно, зная оптические параметры биоткани и измеряя эллиптичность распределения интенсивности доплеровской фракции обратнорассеянного излучения, возможно определять глубину залегания кровеносных сосудов в биологической среде *in vivo*.

### Выводы

В работе исследованы возможности использования доплеровских методов измерения скорости для задач диагностики биологических объектов. Показано, что измерение соотношения интенсивности доплеровской фракции к общей интенсивности обратнорассеянного излучения связано с объемной концентрацией подвижных рассеивателей в среде, что может быть положено в основу методики измерения объемной концентрации крови в биологической ткани *in vivo*.

Исследовано распределение интенсивности обратнорассеянного излучения средой, содержащей одиночный кровеносный сосуд. Показано, что путем измерения параметров доплеровской фракции рассеянного излучения можно осуществлять томографию кровеносных сосудов, в частности определять глубину залегания сосуда в среде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Приезжев А.В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / А.В. Приезжев, В.В. Тучин, Л.П. Шубочкин. М.: Наука, 1989. 240 с.
2. Tuchin V.V. Tissue Optics: Light scattering methods and instruments for medical diagnosis / V.V. Tuchin // SPIE Tutorial Texts in Optical Engineering. Bellingham: SPIE Press, 2000. Vol. 38. P. 352-360.
3. Riva C. Laser Doppler measurements of blood flow in capillary tubes and retinal arteries / C. Riva, B. Ross, G.B. Benedek // Investigations of Ophthalmology. 1972. Vol. 11. P. 936-944.
4. Stern M.D. In vivo evaluation of microcirculation by coherent light scattering / M.D. Stern // Nature. 1975. Vol. 254. P. 56-58.
5. Serov A. Laser Doppler perfusion imaging with a complimentary metal oxide semiconductor image sensor / A. Serov, W. Steenbergen, F. de Mul // Optics Letters. 2002. Vol. 27. P. 300-302.
6. Laser Doppler Perfusion Monitoring and Imaging / G.E. Nilsson, E.G. Sallerud, N.O.T. Strömberg, K. Wårdell // Biomedical photonics handbook. Boca Raton. Florida: CRC Press, 2003. P. 5-24.
7. Light distributions in artery tissue: Monte Carlo simulations for finite-diameter laser beams / M. Keijzer, S.L. Jacques, S.A. Prahl, A.J. Welch // Lasers Surgerring in Medicyne. 1989. Vol. 9. P. 148-154.
8. Меглинский И.В. Моделирование спектров отражения оптического излучения от случайно-неоднородных многослойных сильно рассеивающих и поглощающих свет сред методом Монте-Карло / И.В. Меглинский // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 12. С. 1101-1107.
9. Stenn K.S. Cell and tissue biology / K.S. Stenn // Baltimore: Urban & Shwarzenberg. 1988. P. 541-572.
10. Odland G.F. Structure of the skin / G.F. Odland, L.A. Goldsmith // Physiology, Biochemistry and Molecular Biology of the Skin. Oxford: Oxford University, 1991. P. 3-62.
11. A Monte-Carlo model of light propagation in tissue / S.A. Prahl, M. Keijzer, S.L. Jacques, A.J. Welch // Proceedings of SPIE. 1989. IS 5. P. 102-111.
12. Меглинский И.В. Оптика и спектроскопия / И.В. Меглинский, С.Д. Матчер // Оптика и спектроскопия. 2001. Т. 91. № 4. С. 692.
13. Feng Sh. Photon migration in the presence of a single defect: a perturbation analysis / Sh. Feng, F-A. Zeng, B. Chance // Applied Optics. 1995. Vol. 34. № 19. P. 3826-3837.

**Старухин Павел Юрьевич** –  
соискатель и ассистент кафедры «Техническая физика и информационные технологии»  
Энгельсского технологического института  
(филиала) Саратовского государственного  
технического университета

**Starukhin Pavel Yuriyevich** –  
Competitor and Assistant  
of the Department of «Technical physics  
and information technologies»  
of Engels Institute of Technology (branch)  
of Saratov State Technical University

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

**Klinayev Yuriy Vasiliyevich** –  
Doctor of Physico-Mathematical Sciences,  
Professor of the Department  
of «Technical physics  
and information technologies»  
of Engels Institute of Technology (branch)  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 07.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

М.Д. Элькин, В.Ф. Пулин, А.Б. Осин

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В МОЛЕКУЛЯРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

*Предложены расчетные формулы для вычисления ангармонического смещения колебательных состояний молекулярных систем.*

Колебательные состояния, структурно-динамические модели, адиабатический потенциал, ангармоническое смещение.

M.D. Elkin, V.F. Pulin, A.B. Osin

## MATHEMATIC MODELS IN MOLECULAR MODELLING

*Angarmonic shift of vibrational lines valuation formulas in molecular spectra are suggested below.*

Vibrational spectra, structural dynamic models, adiabatic potential, anharmonic shift.

**Введение.** Молекулярная система – квантовый объект. Его физико-химические свойства определяет адиабатический потенциал, отражающий строение электронной оболочки (электронной подсистемы) молекулы в рассматриваемом электронном состоянии и проявляющийся в колебательных спектрах молекулярных соединений.

Квантовая теория молекул при анализе адиабатического потенциала исходит из модельного уравнения Шредингера для ансамбля электронов при выбранной конфигурации ядер  $q$  (геометрии ядерной подсистемы молекулы) [1].

$$(T_e + U(x, q) - E) \psi(x, q) = 0, \quad (1)$$

где  $T_e$  – оператор кинетической энергии электронов;  $U(x, q)$  – потенциальная часть уравнения – кулоновское взаимодействие электронов и ядер молекулярной системы.

Анализ параметров разложения адиабатического потенциала (квадратичных, кубических и квартичных силовых постоянных)

$$E_n = E_o + K_{ab} q^a q^b + K_{abc} q^a q^b q^c + K_{abcd} q^a q^b q^c q^d \quad (2)$$

является одной из основных задач молекулярного моделирования. Решение такой задачи позволяет дать интерпретацию экспериментальных данных в спектрах ИК и КР, осуществить предсказательные расчеты колебательных спектров многоатомной молекулы, выявить признаки спектральной идентификации соединений в технологиях их создания или ликвидации.

Современные информационные технологии, используемые в физике молекул, позволяют получить численные оценки коэффициентов ряда (2) с точностью, необходимой для их использования в качестве входных параметров при решении задачи о молекулярных колебаниях. Таковой, к примеру, является компьютерная технология «Gaussin-03» [2].

В данной работе рассматривается ангармоническая колебательная модель многоатомной молекулы, предлагается методика, позволяющая осуществлять интерпретацию колебательных состояний при наличии внутри- и межмолекулярных взаимодействий.

**Гамильтониан для колебательной модели молекулы.** Для описания динамики ядерного движения в многоатомной молекуле принято использовать следующее модельное квантовое уравнение [3]

$$(1/2 P_a T^{ab} P_b + K_{ab} q^a q^b + K_{abc} q^a q^b q^c + K_{abcd} q^a q^b q^c q^d) X(q) = 0, \quad (3)$$

где  $q^a$  – система криволинейных колебательных координат;  $T^{ab} = B(a, N\alpha) B(b, N\alpha)/m_N$  – матрица кинематических коэффициентов (контрвариантный метрический тензор),  $B(a, N\alpha)$  – вектор Вильсона – Ельяшевича [4] (метрика), связывающая декартовы ( $X^{N\alpha}$ ,  $\alpha = x, y, z$ ) координаты атома  $N$  с криволинейными координатами.

При использовании естественных колебательных координат – изменения значений геометрических параметров молекулы относительно ее равновесной конфигурации, рассчитываемые оптические и структурные параметры различных молекулярных фрагментов приобретают ясный физический смысл.

Однако, при решении квантовой задачи для электронной подсистемы молекулы и нахождении параметров адиабатического потенциала принято использовать декартовы координаты атомов, а для описания формы адиабатического потенциала – нормальные колебательные координаты, линейно связанные с декартовыми координатами атомов [5].

В таком случае модельное квантовое уравнение для колебательной подсистемы молекулы во втором порядке теории возмущения примет вид

$$2H^{(v)} = v_s(P_s^2 + (Q^s)^2) + 1/3 F_{srt} Q^s Q^r Q^t + 1/12 F_{srtu} Q^s Q^r Q^t Q^u, \quad (4)$$

где  $v_s$  – частоты гармонических колебаний,  $\text{см}^{-1}$ ;  $Q^s$  – безразмерные нормальные колебательные координаты, линейно связанные с декартовыми смещениями атомов;  $F_{srt}$  и  $F_{srtu}$  – кубические и квартичные силовые постоянные. Именно их численно позволяет оценить информационная технология «Gaussian-03».

Решение уравнения (4) методами теории возмущения приводит к известному выражению для энергий колебательных состояний [5]

$$E^V = v_s(V_s + 1/2) + \chi_{sr}(V_s + 1/2)(V_r + 1/2). \quad (5)$$

Второе слагаемое выражения (5) позволяет оценить ангармоническое смещение фундаментальных частот колебаний при отсутствии ангармонических резонансов. Таковыми являются ангармонические поправки  $X_{ss} = 2\chi_{ss}$  и  $X_s = 1/2 \chi_{sr}$ .

Для получения явных выражений ангармонических постоянных  $\chi_{sr}$  воспользуемся обычной схемой теории возмущения [6]

$$\Delta E_V = \langle V | \Delta E | V \rangle + \langle V | \Delta E | V' \rangle \langle V' | \Delta E | V \rangle / (E_V - E_{V'}), \quad (6)$$

где  $\Delta E$  – второе и третье слагаемые правой части уравнения (4), а также известным рекуррентным соотношением для волновых функций (функций Эрмита – Гаусса [5]) гармонической части уравнения (1)

$$Q^s | V_s \rangle = ((V_s + 1)/2)^{1/2} | V_s + 1 \rangle + (V_s/2)^{1/2} | V_s - 1 \rangle. \quad (7)$$

Несложные алгебраические преобразования приводят к следующим соотношениям для ангармонических постоянных  $\chi_{sr}$  в выражении (5)

$$\chi_{ss} = 1/16 F_{ssss} - 5/48 (F_{sss})^2 / v_s + 1/32 (F_{ssr})^2 (1/(2v_s - v_r) - 1/(2v_s + v_r) - 4/v_r) (1 - \delta_{sr}); \quad (8)$$

$$\chi_{sr} = 1/16 F_{ssrr} - 1/8 (F_{ssr})^2 (1/(2v_s - v_r) + 1/(2v_s + v_r)) (1 - \delta_{sr}) + 3/8 (F_{srt})^2 (1/(v_s + v_r + v_t) + 1/(v_t - v_r - v_s) + 1/(v_s + v_t - v_r) + 1/(v_t + v_r - v_s)) (1 - \delta_{sr}) (1 - \delta_{st}) (1 - \delta_{rt}). \quad (9)$$

Расхождение резонирующих фундаментального и обертоновых колебательных состояний (Ферми-резонанс) можно оценить с помощью соотношения [7]

$$2E = (v_s + v_r + v_t) \pm ((F_{srt})^2 (2 - \delta_{rt}) / 8 + (v_s - v_r - v_t)^2)^{1/2}. \quad (10)$$

Резонансное взаимодействие между фундаментальными состояниями (резонанс Дарлинг – Деннисона) снимает квартичная силовая постоянная  $F_{ssrr}$

$$2E = (v_s + v_r) \pm ((F_{ssrr}/8)^2 + (v_s - v_r)^2)^{1/2}. \quad (11)$$

Неэмпирические квантовые расчеты параметров адиабатического потенциала позволяют оценить величину кубических и квартичных силовых постоянных в различных базисах. Для сопоставления полученных результатов следует установить связь между различными

наборами нормальных координат, связанных с используемым базисом. Воспользуемся подходом, предложенным в монографии [8].

Если использовать естественные колебательные координаты, то

$$q^{a'} = \Delta_{a'a} + B_{a'a} q^a + \dots \quad (12)$$

Переход к нормальным координатам  $q^a = B_{s'}^a \tilde{O}^s$ , диагонализующим матрицу кинетической и потенциальной энергии ядерной подсистемы в гармоническом приближении позволяет получить соотношение

$$\tilde{O}^s = B_{s'a'} (B_{a'a} B_{as} \tilde{O}^s + \Delta_{a'a}), \quad (13)$$

где  $B_{as}$  – матрица форм нормальных колебаний ( $L_q$  – матрица [4]).

В модельных квантовых расчетах принято использовать безразмерные нормальные колебательные координаты  $\tilde{O}^s = (h/2\pi\nu_s)^{-1/2} Q^s$  и выражение (13) принимает вид

$$Q^{s'} = \nu_s'^{1/2} B_{s'a'} B_{a'a} B_{as} \nu_s'^{-1/2} Q^s + (h/2\pi\nu_s')^{1/2} B_{s'a'} \Delta_{a'a}. \quad (14)$$

Если система естественных колебательных координат не привязана к базису расчета, то  $B_{a'a} = \delta_{aa'}$ , а оптимизация геометрии от базиса практически не зависит, то для оценки матрицы поворота нормальных координат можно ограничиться соотношением

$$Q^{s'} = \nu_s'^{1/2} B_{s'a'} B_{as} \nu_s'^{-1/2} Q^s. \quad (15)$$

Связи квадратичных, кубических и квартичных силовых постоянных в различных системах координат определяются соотношениями

$$F_{ij} = B_{i'j} B_{j'j} F_{i'j'},$$

$$F_{ijk} = F_{i'j'k'} B_{i'j} B_{j'j} B_{k'k} + F_{a'b'} (B_{a'k} B_{b'ij} + \dots), \quad (16)$$

$$F_{ijkl} = F_{i'j'k'l'} B_{i'j} B_{j'j} B_{k'k} B_{l'l} + F_{a'b'c'} (B_{a'i} B_{b'j} B_{c'kt} + \dots) + F_{a'b'} \{ (B_{a'i} B_{b'jkt} +) + (B_{a'ij} B_{b'it} B_{b'kt} +) \}.$$

Входящие в выражения (16) коэффициенты  $B_{a'i}$ ,  $B_{a'ij}$  получили название коэффициентов связи между различными системами колебательных координат, принятыми в молекулярной динамике. Алгоритмы их вычисления представлены, к примеру, в публикациях [9-11].

В задачах молекулярного моделирования принято использовать следующие четыре типа естественных колебательных координат: изменение длины валентной связи между атомами ( $q = \Delta S_{ij}$ ), изменение значения валентного угла ( $\beta = \arccos(\mathbf{e}_{ji} \mathbf{e}_{jk})$ ), изменение угла между связью и нормальным вектором плоского фрагмента молекулы ( $\rho = \arccos(\mathbf{e}_{ij} \mathbf{H})$ ), изменение угла между плоскими фрагментами молекулы, определяемые нормальными векторами  $\mathbf{H}_1$  и  $\mathbf{H}_2$  ( $\chi = \arccos(\mathbf{H}_1 \mathbf{H}_2)$ ). Видно, что вывод метрических соотношений между естественными колебательными и декартовыми координатами атомов, получение параметров кинематической ангармоничности [12] связаны с дифференцированием выражений, представляющих собой обычное скалярное произведение векторов. Такой подход свободен от дополнительных ограничений, прост в алгоритмизации. За подробностями отсылаем к публикации [11].

**Заключение.** Предложенные расчетные формулы позволяют осуществить компьютерную реализацию задачи «Структура-спектр» в ангармоническом приближении и сделать предсказательные расчеты колебательных состояний сложных молекулярных систем в различных фазовых состояниях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Слейтер Дж. Электронная структура молекул / Дж. Слейтер. М.: Мир, 1965. 587 с.
2. Gaussian 03 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel et al. Revision A.7. Gaussian, Inc., Pittsburgh (PA), 2003.
3. Элькин М.Д. Ангармонический анализ колебательных спектров многоатомных молекул / М.Д. Элькин // Оптика и спектроскопия. 1983. Т. 54. № 5. С. 895-898.
4. Колебания молекул / М.В. Волькенштейн, Л.А. Грибов, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. М.: Наука, 1972. 672 с.

5. Nielsen H.H. The vibration-rotation energies of molecules and their spectra in the infra-red / H.H. Nielsen // Handbook der Physik. 1957. Vol. 37. № 1. P. 173-313.
6. Ферми Э. Квантовая механика / Э. Ферми. М.: Мир, 1968. 367 с.
7. Герцберг Г. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул / Г. Герцберг. М.: ИЛ, 1949. 647 с.
8. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 556 с.
9. Элькин М.Д. О методе вычисления коэффициентов связи между точными и приближенными естественными колебательными координатами / М.Д. Элькин, А.Ф. Попов, Л.М. Свердлов // Оптика и спектроскопия. 1981. Т. 51. № 2. С. 358-361.
10. Элькин П.М. Метрические соотношения для естественных колебательных координат в задачах оберточной спектроскопии / П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, В.И. Березин // Журнал прикладной спектроскопии. 2005. Т. 72. № 5. С. 694-696.
11. Элькин М.Д. Естественные координаты в молекулярной динамике / М.Д. Элькин, А.Б. Осин, О.В. Колесникова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 3(26). Вып. 1. С. 46-51.
12. Элькин М.Д. Кинематическая и электрооптическая ангармоничность в теории интенсивностей ИК, КР спектров многоатомных молекул / М.Д. Элькин, В.И. Березин // Журнал прикладной спектроскопии. 1995. Т. 62. С. 49-57.

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

**Пулин Виктор Федотович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Общая физика» Саратовского государственного технического университета

**Осин Андрей Борисович** – аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Elkin Mikhail Davydovich** – Doctor of Physical-Mathematical Sciences, Professor of the Department of «Technical Physics and Information Technologies» of Engels Institute of Technology (branch) of Saratov State Technical University

**Pulin Viktor Fedotovitch** – Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of «General Physics» of Saratov State Technical University

**Osin Andrey Borisovich** – Post-Graduate Student of the Department of «Technical Physics and Information Technologies» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 17.03.10, принята к опубликованию 23.09.10*

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

УДК 621.922

**А.Е. Грибач, В.М. Шумячер**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ БРУСКОВ С ГРАНУЛИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ**

*Увеличение производительности суперфиниширования и получение деталей с минимальной шероховатостью требуют увеличения режущей способности самого бруска за счет минимизации засаливаемости его рабочей поверхности. Показана актуальность создания гранулированного инструмента.*

Суперфиниширование, гранулированный инструмент.

**A.E. Gribach, V.M. Shumyacher**

### **SUPER FINISH GRINDING EFFICIENCY ENHANCEMENT BY GRAINING STRUCTURE BLOCKS APPLYING**

*The increase of super finish grinding productivity and detail manufacturing with minimum roughness demand the increase of the most abrasive tool cutting ability at the expense of a tool surface pollution minimization of its working surface. The urgency of granulated tool creation is shown.*

Super finish grinding, grain tool.

Повышение качества и точности деталей машин обеспечивается процессом суперфиниширования, позволяющим достигать высокой точности и чистоты поверхности с минимальной волнистостью, удалять дефектный слой от предыдущей операции, упрочнять поверхностный слой без структурных изменений при изготовлении различных деталей. Увеличение производительности суперфиниширования и получение с минимальной шероховатостью поверхностей деталей требует увеличения режущей способности самого бруска за счет минимизации засаливаемости его рабочей поверхности. Нами поставлена задача разработки суперфинишного бруска с высокой режущей способностью. Предлагается способ формирования структуры суперфинишного бруска путем применения гранулированной шихты.

Предлагаемая технология заключается в следующем. Порошок электрокорунда белого зернистостью М7 смешивался со связующим в нужной пропорции до однородной массы. Затем полученная смесь протиралась через сито (размер ячейки определялся размером гранул, в нашем случае 630 мкм). В результате получались гранулы (рис. 1).



На рис. 2 при увеличении 40× (микроскоп МБС-9) мы видим, что поверхность гранул имеет пористую структуру, гранулы изометричной формы.

На основании вышеизложенного был изготовлен суперфинишный брусок из электрокорунда белого марки 25А зернистости М7 с гранулированной структурой (рис. 3).

Обжиг проектируемого бруска производился по диаграмме термообработки (рис. 4).

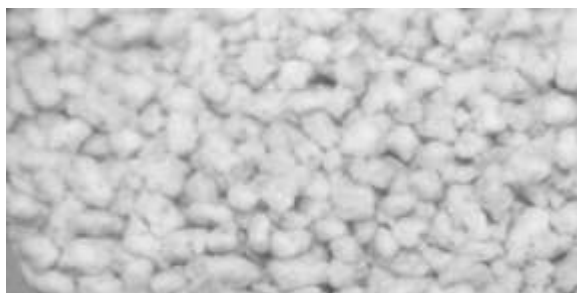


Рис. 1. Гранулы из электрокорундового материала марки 25А М7



Рис. 2. Вид гранул (микроскоп МБС-9 (увеличение – 40×))



Рис. 3. Суперфинишный проектируемый брусок из электрокорунда белого марки 25А зернистости М7 с гранулированной структурой

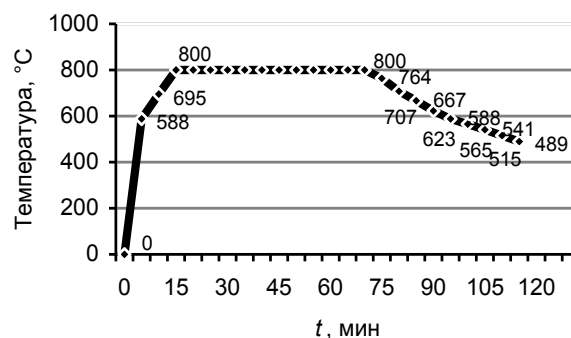


Рис. 4. Диаграмма термообработки бруска

На рис. 5 представлена структура поверхности бруска. Наблюдаем высокопористую структуру поверхности, состоящую из гранул.

Готовый брусок пропитывался раствором серы.

Испытания бруска на режущую способность проведены на установке «ШЛИФ» Волжского института строительства и технологий (рис. 6).



Рис. 5. Структура поверхности гранулированного высокопористого образца



Рис. 6. Установка для определения абразивной и режущей способности шлифматериалов «Шлиф»

Режущая способность суперфинишного бруска определялась по формуле:

$$Q = \frac{m - m_0}{t}, \quad (1)$$

где  $m_0$  – масса заготовки до обработки, г;  $m$  – масса заготовки после обработки, г;  $t$  – время обработки, с.

Распределенная нагрузка, прилагаемая на испытываемый брусок, вычисляется по формуле:

$$P_{РАСПР.} = P/S, \quad (2)$$

где  $P$  – осевая нагрузка, прилагаемая на суперфинишный брусок, Н;  $S$  – площадь контакта рабочей поверхности суперфинишного бруска,  $\text{см}^2$ .

Суперфинишный брусок 25АМ7 с гранулированной структурой сравнивался с суперфинишным бруском, изготовленным по классической технологии из того же материала 25АМ7. Бруски имеют равную площадь контактной поверхности. В обоих случаях обрабатывалась заготовка из стали 45 в течение  $t = 500$  с. Количество оборотов вращения заготовки  $n = 1$  об/с. Во время обработки использован 3%-й водный раствор синтетической смазочно-охлаждающей жидкости. Осевая нагрузка, прижимающая опытный брусок к поверхности заготовки, для проектируемого и стандартного бруска  $P_n = 50$  Н. Эта нагрузка на брусок оказывалась посредством навески груза массой 5 кг. Так как ширина бруска  $b = 2,5$  см, а высота  $h = 1,5$  см, то площадь контакта рабочей поверхности суперфинишного бруска  $S_n = 3,75 \text{ см}^2$ . Тогда распределенная нагрузка для брусков будет:

$$P_{РАСПР.} = 13,3 \text{ Н/см}^2.$$

Масса заготовки до обработки  $m_0 = 192,86$  г. После обработки опытным гранулированным бруском масса заготовки  $m = 192,74$  г.

Масса детали до обработки стандартным бруском  $m_0^1 = 192,74$  г. Масса детали после обработки  $m^1 = 192,66$  г. Подставляя значения в формулу (1), получим:

для стандартного бруска  $Q^1 = 0,00016$  г/с;

для проектируемого  $Q = 0,00024$  г/с.

Таким образом, режущая способность опытного гранулированного суперфинишного бруска выше в 1,5 раза. Для удобства результаты измерений сведены в таблицу.

Результаты измерений

Суперфинишные бруски	Структура брусков	Масса заготовки $m_0$ до обработки, г	Масса заготовки $m$ после обработки, г	Распределенная нагрузка $P_{РАСПР.}$ , Н	Площадь контакта рабочей поверхности бруска $S_n$ , $\text{см}^2$	Время обработки $t$ , с	$Q$ , г/с
Стандартный 25АМ7	9	192,74	192,66	13,3	3,75	500	0,00016
Опытный 25АМ7	Гранулированная	192,86	192,74	13,3	3,75	500	0,00024

Кроме всего вышеизложенного, особый интерес вызывает поверхность заготовки до обработки опытным бруском и после, а также поверхности опытного бруска после обработки с СОЖ, без СОЖ и толщина слоя засаливания в продольном разрезе.

На рис. 7 показана поверхность заготовки до обработки.

На рис. 7 поверхность имеет высокую шероховатость (кл. 9,  $Ra \approx 0,32$ ). На рис. 8 представлена поверхность заготовки после обработки опытным бруском.

Из рис. 8 видно, что поверхность заготовки стала более гладкая, шероховатость уменьшилась (кл. 12,  $Ra \approx 0,04$ ), точность поверхности возросла.

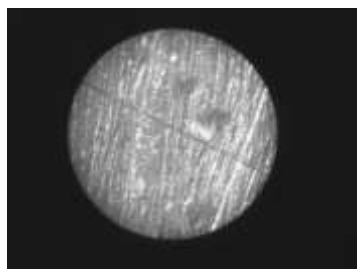


Рис. 7. Поверхность заготовки из стали 45 до обработки (микроскоп МБС-9 (увеличение 40×))

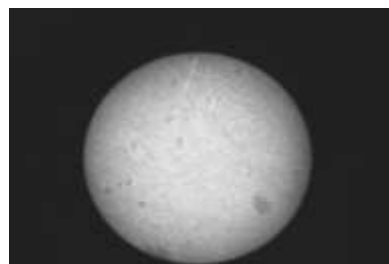


Рис. 8. Поверхность заготовки из стали 45 после обработки (микроскоп МБС-9 (увеличение 40×))

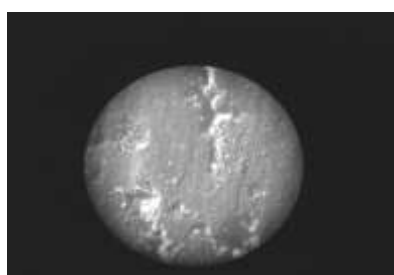


Рис. 9. Поверхность опытного гранулированного суперфинишного бруска из электрокорунда белого марки 25А зернистостью М7 (микроскоп МБС-9 (увеличение 40×))



Рис. 10. Поверхность опытного гранулированного бруска после обработки с СОЖ, микроскоп МБС-9 (увеличение 40×)

Поверхность опытного бруска после обработки без СОЖ представлена на рис. 9.

Во время обработки без СОЖ опытный брусок засалился в течение 3 мин обработки. Стандартный брусок засалился в течение 1 мин 50 с. Обработка с СОЖ не дала опытному бруску засаливаться, в зоне контакта образовывалась своего рода паста, состоящая из СОЖ, зерен абразива, а также частиц диспергирования. Толщина слоя такой пасты небольшая (рис. 11). Поверхность опытного гранулированного бруска после обработки с СОЖ имеет вид, представленный на рис. 10.



Рис. 11. Торцевой срез гранулированного бруска, микроскоп МБС-9 (увеличение 24×)

Испытания показали, что изготовленный нами опытный образец суперфинишного гранулированного инструмента имеет режущую способность, превышающую в 1,5 раза стандартный суперфинишный инструмент. Засаливаемость поверхности снижена в 2 раза. К тому же данный опытный брусок изготавливается по энергосберегающей технологии (температура обжига 800°C) с понижением давления прессования. Консолидация структуры производится при малых давлениях ( $P = 0,26$  МПа). Предложенная технология производства суперфинишного бруска с гранулированной структурой определяет возможность снижения се-

бестоимости изготовления инструмента с одновременным повышением качества обрабатываемой поверхности.

**Грибач Алексей Евгеньевич** – аспирант, ассистент кафедры «Технология обработки и производства материалов» Волжского института строительства и технологий (филиала) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Gribach Aleksey Evgeniyevich** – Post-Graduate Student of the Department of «Processing technology and production materials» of Volga Institute of Building and Technologies (branch) of Volgograd State Architecturally-Building University

**Шумячер Вячеслав Михайлович** – доктор технических наук, профессор, директор Волжского института строительства и технологий (филиала) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Shumyacher Vyacheslav Mikhailovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Volga Institute of Building and Technologies (branch) of Volgograd State Architecturally-Building University

*Статья поступила в редакцию 10.02.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 629.113.004.67

**А.С. Денисов, А.А. Коркин, А.Р. Асоян**

#### **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ТУРБОКОМПРЕССОРА**

*Проведено аналитическое исследование зависимости коэффициента надежности подшипникового узла турбокомпрессора от температуры узла и диаметрального зазора в сопряжении вал ротора – втулка подшипника. Определены условия обеспечения надежной работы подшипникового узла. Теоретически обоснованы пути повышения надежности турбокомпрессора применением гидроаккумулятора.*

Турбокомпрессор, подшипниковый узел, работоспособность.

**A.S. Denisov, A.A. Korkin, A.R. Asoyan**

#### **INFLUENCING FACTORS ANALYSIS OF THE WORKING CAPACITY OF TURBOCHARGER BEARING UNIT**

*Analytical research of reliability coefficient influence of turbocharger bearing unit upon the temperature unit and diametrical clearance in rotor shaft – sleeve bearing conjugation is given. The conditions for ensuring the reliable operation of bearing unit are determined. The ways of improving the reliability of turbocharger using accumulator are suggested in the article.*

Turbocharger, bearing unit, working capacity.

В целях обеспечения безотказной работы подшипников скольжения, они должны работать в условиях жидкостной смазки во всех диапазонах и режимах работы турбокомпрессора. В этом случае поверхности вала и подшипника разделены сплошным масляным слоем, непосредственное трение между металлическими поверхностями вала и подшипника отсутствует. Износа металлических поверхностей при этом не происходит, потери на трение невелики [1].

Наиболее значимой характеристикой, влияющей на надежность работы подшипника, является величина, называемая коэффициентом надежности подшипника  $\chi$  [2]. Коэффициент надежности подшипника – отношение рабочей характеристики  $\lambda$  к критической  $\lambda_{кр}$ :

$$\chi = \frac{\lambda}{\lambda_{кр}}, \quad (1)$$

Величина  $\chi$  должна быть больше 1. Чем больше  $\chi$ , тем меньше вероятность перехода работы подшипника в область полужидкостной смазки, а, следовательно, риск контакта поверхностей вала и подшипника.

В литературе чаще всего оперируют не величиной рабочей характеристики  $\lambda$ , а безразмерным числом Зоммерфельда  $So$  [2]. Число Зоммерфельда является функцией от относительного эксцентриситета  $\varepsilon$  и относительной минимальной толщины масляного слоя  $\xi$  и определяется из выражения:

$$So = \frac{\eta \cdot \omega}{k \cdot \psi^2}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость масла, Па·с;  $\omega$  – угловая скорость, рад/с;  $k$  – удельная нагрузка на единицу несущей поверхности подшипника, Па;  $\psi$  – относительный зазор.

С учетом (2) перепишем (1):

$$\chi = \frac{So}{So_{кр}}. \quad (3)$$

Удельная нагрузка на подшипник  $k$  зависит от радиальной нагрузки  $P$ , действующей в сопряжении, и геометрических размеров подшипника:  $l$  – длина подшипника и  $d$  – его диаметр:

$$k = \frac{P}{l \cdot d}. \quad (4)$$

Анализируя выражения (1)-(4), а также учитывая опыт эксплуатации [3] и статистику отказов турбокомпрессоров [6], можно сделать вывод о том, что основными факторами, влияющими на коэффициент надежности подшипника, являются следующие:

- снижение вязкости масла при повышении его температуры;
- рост относительного зазора при износе опорных поверхностей вала либо подшипника.

Рассмотрим влияние вышеуказанных факторов на коэффициент надежности подшипника турбокомпрессора. Для этого, с использованием справочной литературы [3], зададимся необходимыми для расчетов параметрами, а также интервалами изменения интересующих нас факторов на примере турбокомпрессора ТКР 7С-6:

- радиальная нагрузка на вал ротора турбокомпрессора:  $P = 200$  Н;
- длина подшипника:  $l = 0,01$  м;
- диаметр подшипника:  $d = 0,01$  м;
- угловая скорость:  $\omega = 10467$  рад/с;
- критическая толщина масляного слоя (исходя из шероховатости и жесткости поверхностей вала и подшипника)  $h_{\min} = 5$  мкм.

В соответствии с конструкторской документацией, диаметральный зазор в сопряжении вал ротора – втулка подшипника составляет  $\Delta = 0,05$  мм и достигает предельного в экс-

плуатации значения  $\Delta_{IP} = 0,3$  мм. Принимаем, что расчет будем производить в интервале  $\Delta = 0,05-0,3$  мм с шагом 0,03 мм.

Турбокомпрессор работает в широком диапазоне температур, при этом значительно изменяется вязкость масла. В результате проведенных исследований было установлено, что температура масла достигает величины  $t_M = 180^\circ\text{C}$  и более. Динамическая вязкость масла при этом изменяется от  $\mu = 0,070$  Па·с при  $40^\circ\text{C}$  до  $\mu = 0,003$  Па·с при  $180^\circ\text{C}$ . Расчет ведем для характерных точек:

- $40^\circ\text{C}$ , что соответствует непрогретому двигателю;
- $100^\circ\text{C}$  – рабочая температура масла для прогретого двигателя, работающего при умеренной нагрузке;
- $150^\circ\text{C}$  – максимально допустимая температура по условиям отсутствия коксообразования;
- $180^\circ\text{C}$  – критическая температура на наиболее напряженном режиме.

Проанализируем зависимость изменения коэффициента надежности подшипника при увеличении диаметрального зазора в сопряжении. Расчет ведем на основании формул (1)-(4). Температуру масла принимаем  $100^\circ\text{C}$ . Графически полученные результаты представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что с ростом относительного зазора, т.е. в процессе износа подшипника, коэффициент его надежности значительно снижается, достигая при значении предельно допустимого износа 0,3 мм величины, немногим более единицы, что позволяет говорить о том, что при таком износе подшипники уже не обладают каким-либо запасом надежности и, соответственно, подвержены внезапному выходу из строя. Даже при незначительном превышении допустимых пределов износа коэффициент  $\chi$  становится меньше единицы, т.е. не выполняется условие  $So > So_{кр}$ , следовательно, отсутствуют предпосылки к созданию гидродинамических условий смазки. Полученные результаты хорошо подтверждаются опытом и результатами анализа статистики отказов.

Рассмотрим влияние температуры масла на коэффициент  $\chi$  при номинальном диаметральном зазоре в подшипнике. Расчет ведем по вышеописанной методике, графически результаты представлены на рис. 2.

Из анализа графика можно сделать вывод о значительном влиянии температуры масла на условия работы подшипника турбокомпрессора. Участок кривой в диапазоне от  $40$  до  $100^\circ\text{C}$  не представляет интереса, так как описывает работу турбокомпрессора при прогреве двигателя, т.е. режим, на котором отсутствует влияние неблагоприятных факторов на ресурс турбокомпрессора, так как рабочая температура масла составляет  $90-98^\circ\text{C}$ . Дальнейший же рост температуры значительно снижает коэффициент надежности, который уже при температуре  $150^\circ\text{C}$  уменьшается в два раза.

Таким образом, при совместном влиянии факторов температуры и износа втулок подшипника может сложиться ситуация, приводящая к отказу турбокомпрессора, который по диагностическим параметрам (зазор в сопряжении вал ротора – втулка подшипника) ещё не достиг предельного в эксплуатации состояния. Следовательно, изношенный, но находящийся ещё в удовлетворительном состоянии турбокомпрессор гораздо более чувствителен к повышению температуры масла, т.е. можно сделать вывод о том, что подшипники турбокомпрессора, не достигшего предельного износа в эксплуатации, обладают достаточным коэффициентом надежности только при нормальной рабочей температуре масла. С повышением же температуры подшипники изношенной турбины не могут обеспечить работоспособного состояния ввиду малого запаса коэффициента надежности. Для численного и графического отображения вышесказанного повторим расчеты при различных комбинациях факторов (рис. 3).

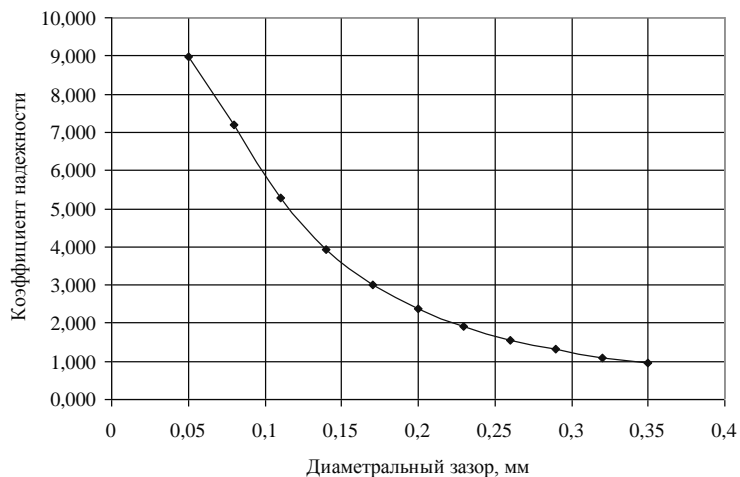


Рис. 1. Зависимость коэффициента надежности подшипника от роста диаметрального зазора в сопряжении вал ротора – втулка подшипника

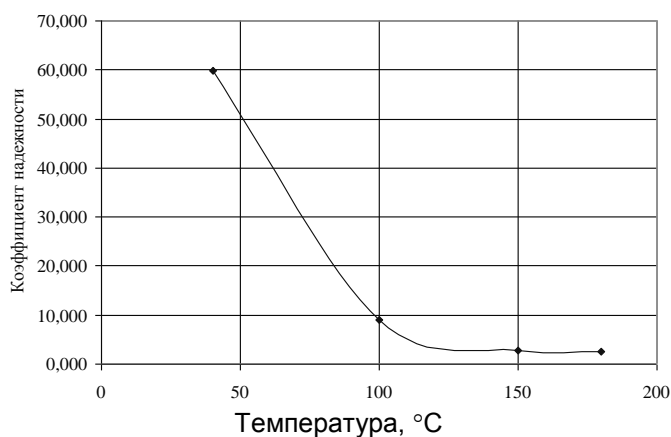


Рис. 2. Зависимость коэффициента надежности подшипника от температуры масла при диаметральном зазоре  $\Delta = 0,05$  мм

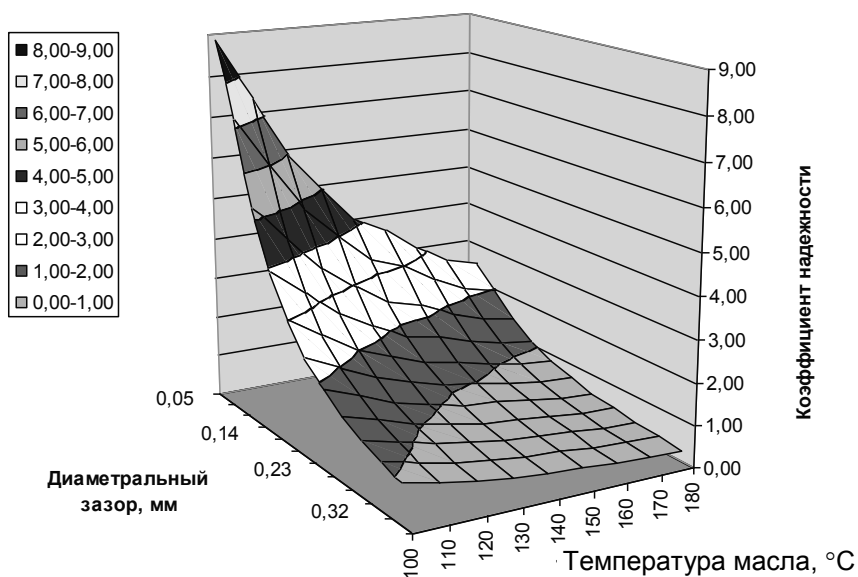


Рис. 3. Поверхность зависимости коэффициента надежности подшипника от совокупного влияния диаметрального зазора и температуры масла

Для более наглядного представления полученной информации о нежелательных режимах работы турбокомпрессора по условиям надежности подшипников приведем проекцию поверхности на плоскость ХОУ.

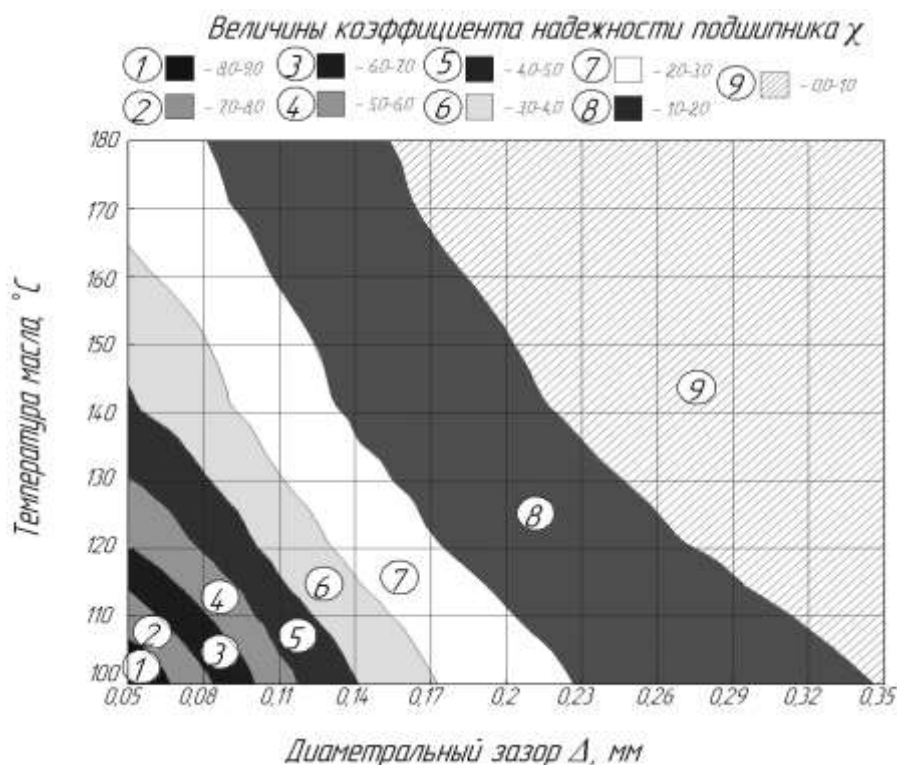


Рис. 4. Горизонтальная проекция поверхности зависимости коэффициента надежности подшипника от влияния температуры и зазора

Из рис. 4 видно, что при работе турбокомпрессора в правой, заштрихованной, области графика не обеспечивается надежная работа подшипников турбокомпрессора, причем большая часть этой области лежит левее отметки  $\Delta = 0,3$  мм, означающей предельное в эксплуатации состояние, лимитируемое внешними диагностическими признаками (люфт вала ротора). Следовательно, можно сделать выводы о том, что внезапные отказы турбокомпрессоров в эксплуатации обусловлены работой турбокомпрессоров на режимах, соответствующих заштрихованной области графика.

Теоретические предпосылки увеличения надежности турбокомпрессора применением гидроаккумулятора [4, 5] масла заключаются в снижении вероятности работы турбокомпрессора в заштрихованной области графика рис. 4, когда не обеспечивается условие  $\chi > 1$ . Это достигается путем снижения температуры подшипникового узла на наиболее теплонапряженном режиме работы турбокомпрессора – при останове двигателя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н.С. Ханин, Б.Ф. Лямцев, Э.В. Аболтин и др. М.: Машиностроение, 1991. 262 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования: справ.-метод. пособие: в 2 кн. Кн. 2 / под ред. П.Н. Учаева; 3-е изд. М.: Машиностроение, 1988. 544 с.
3. Автомобили КамАЗ с колесной формулой 6х4 и 6х6. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту / А.С. Кузнецов. М.: Издат. дом «Третий Рим», 2009. 268 с.



4. Денисов А.С. Целесообразность использования гидроаккумулятора для смазки турбокомпрессоров / А.С. Денисов, А.А. Коркин // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 7-10.

5. Патент РФ на полезную модель № 69159. Система смазки турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / А.С. Денисов, А.А. Коркин. Зарег. в госреестре 10.12.2007.

6. Сведения по двигателям EURO-2 производства ОАО «КамАЗ-Дизель» с рекламациями по разрушению турбокомпрессоров ТКР7С-6 за 2006 год / ОАО «КамАЗ-Дизель». Набережные Челны, 2007. 19 с.

**Денисов Александр Сергеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета

**Denisov Aleksandr Sergeyeovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Automobiles and Automotive Enterprise» of Saratov State Technical University

**Коркин Алексей Александрович** – аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета

**Korkin Aleksey Aleksandrovich** – Post-graduate Student of the Department of «Automobiles and Automotive Enterprise» of Saratov State Technical University

**Асоян Артур Рафикович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета

**Asoyan Artur Rafikovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Automobiles and Automotive Enterprise» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 08.06.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 629.113.004.67

**А.С. Денисов, В.В. Погораздов, Б.Ф. Тугушев, Е.Ю. Горшенина**

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Проведена оценка внутренних напряжений 2-го рода различных металлопокрытий, обоснованы режимы обработки лезвийным инструментом. Обоснованы математические зависимости и сделаны соответствующие выводы.*

Коленчатый вал, нагрев, наплавка, обработка резанием, внутренние напряжения 2-го рода.

A.S. Denisov, V.V. Pogorazdov, B.F. Tugushev, E.Yu. Gorshenina

## TECHNOLOGICAL QUALITY MAINTENANCE OF DIESEL ENGINES RESTORED CRANKSHAFTS

*In the article below the internal stress of second sort of various metal coatings was estimated, modes of tool processing were proved and certain mathematical formulas and recommendations had been worked out.*

Crankshaft, heating, surfacing, cutting, internal stress of second sort.

Применительно к автомобильным деталям коленчатый вал является самой дорогой, либо второй по величине стоимости деталью, особенно для крупногабаритного дизельного двигателя. До 70% затрат на ремонт автомобильной и сельхозтехники приходится на приобретение новых запасных частей взамен предельно изношенных. Предельные износы 85% деталей не превышают 0,3 мм, причем многие из них имеют остаточные ресурсы 60% и более и только 20% деталей автомобилей и тракторов, поступающих в ремонт, подлежат окончательной выбраковке. Остальные можно восстановить, причем себестоимость восстановления составит 15...70% от себестоимости изготовления.

Малогабаритные коленчатые валы, как показывает практика, дешевле заменить на новые, а крупногабаритные экономичней восстанавливать, так как восстановление позволяет получить существенную экономию металла, материальных, производственных и трудовых ресурсов. Но здесь возникают сложности – технологические проблемы базирования и механической обработки. В связи с этим, повышение технологического обеспечения качества восстановления коленчатого вала на основе комплексного изучения базовой операции металлопокрытия, служащей для формирования вторичной заготовки восстанавливаемой детали, и дальнейшей механической обработки, явилось актуальной задачей исследования. Под качеством в данном случае понимается приближение характеристик восстановленного вала к новому посредством минимизации или отсутствия дефектов, оптимального по эксплуатационным характеристикам наплавочного материала или совокупности материалов, оптимального режима обработки металлопокрытия коленчатого вала, износостойкости на рабочих поверхностях и вязкости в галтелях, как главных концентраторах напряжений.

Изучение причин поломок коленчатых валов показывает, что в большинстве случаев они являются следствиями усталости материала детали или наличия в ней внутренних напряжений. Внутренние напряжения могут возникнуть из-за контраста температур при наплавочной операции технологического процесса восстановления крупногабаритного коленчатого вала дизельного двигателя или из-за высоких температур, воздействующих на металлопокрытие коленчатого вала при его черновой обработке шлифованием.

Экспериментально установлено, что при наплавке коренных шеек коленчатого вала без предварительного подогрева детали можно выявить следующие закономерности: повышение температуры каждой последующей коренной шейки от наплавки предыдущей происходит на левых щеках в среднем на 12°C, а на правых щеках в среднем на 7°C [1], что, в конечном итоге, не удовлетворяет рекомендациям по предварительному подогреву восстанавливаемого вала, так как температуры коренных шеек непосредственно перед наплавкой находятся в интервале от 21 до 83°C при необходимом диапазоне в 100...250°C.

Остаточные напряжения второго рода (относительные микродеформации) – это внутренние напряжения, возникающие в кристаллитах металла. Графики их изменения частично представлены на рис. 1 и 2.

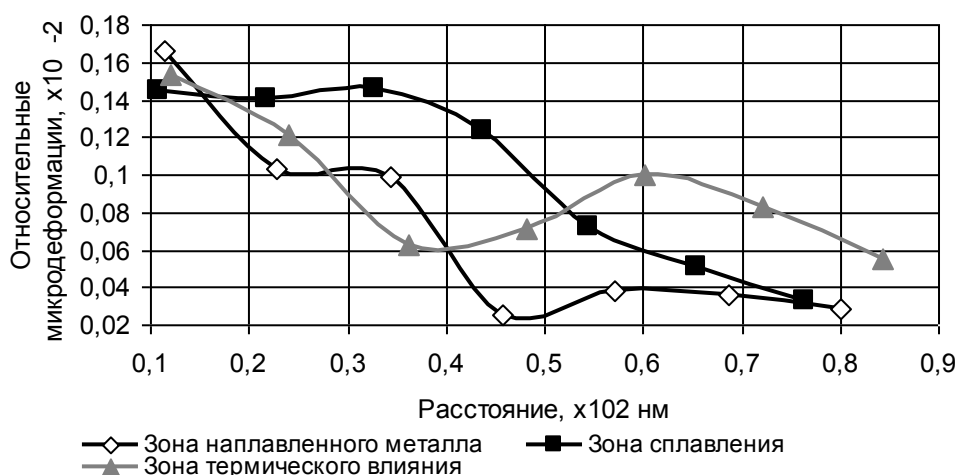


Рис. 1. Остаточные напряжения второго рода в образцах, наплавленных проволокой Нп-30ХГСА

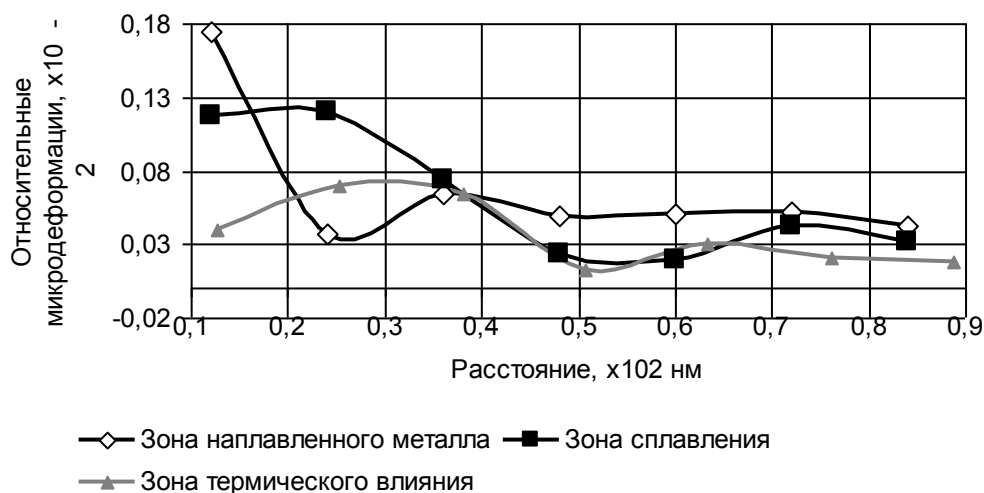


Рис. 2. Остаточные напряжения второго рода в образцах, наплавленных проволокой Св-15ГСТЮЦА

Исследование напряжений второго рода позволило сделать следующие выводы: при наплавке Нп-30ХГСА изменение относительных микродеформаций носит плавный характер, присущий как зоне наплавки, так и другим характерным зонам металла, а при наплавке Св-15ГСТЮЦА в зоне сплавления наблюдается высокий градиент изменения относительных микродеформаций, что говорит о наличии дефектов кристаллической структуры металла. Следовательно, наиболее благоприятными свойствами, с точки зрения сопротивления развитию трещин, обладает металлопокрытие, наплавленное Нп-30ХГСА.

Так как формирование внутренних напряжений зависят не только от структуры самого металла, но и от механических воздействий на него, то справедливо рассмотреть влияние обработки лезвийным инструментом на качество обрабатываемой детали [2].

Цвет стружки, в основном, зависит от скорости резания и изменяется от светло-желтого, при низких скоростях, до ярко-синего, при высоких скоростях резания. После обработки экспериментальных данных были получены зависимости тангенциальной силы резания  $P_z$  и температуры в зоне резания  $\theta^\circ$  от величины глубины резания  $t$  (мм), подачи резца  $S_0$  (мм/об) и скорости резания  $V$  (м/мин), представленные в табл. 1.

На рис. 3 показаны зависимость шероховатости обработанной поверхности по  $Ra$ , от подачи  $S_o$ , получение для рассматриваемых металлопокрытий при обработке их инструментом на режимах: глубина резания  $t = 0,3$  мм; скорость резания  $V = 80$  м/мин без охлаждения.

Таблица 1

Экспериментально-аналитические зависимости для тангенциальной силы резания  $P_z$  и температуры в зоне резания  $\theta^\circ$

Характеристики	Металлопокрытия			
	08Г2С	30ХГСА	08Х20Н9Г7Т	15ГСТЮЦА
$P_z$ , Н	$7187 \cdot t^1 \cdot S^{0.75} \cdot V^{-0.15}$	$7468 \cdot t^1 \cdot S^{0.75} \cdot V^{-0.15}$	$8687 \cdot t^1 \cdot S^{0.75} \cdot V^{-0.16}$	$10303 \cdot t^1 \cdot S^{0.78} \cdot V^{-0.16}$
$\theta^\circ$ , °С	$503 \cdot t^{0.11} \cdot S^{0.22} \cdot V^{0.25}$	$510 \cdot t^{0.11} \cdot S^{0.22} \cdot V^{0.25}$	$532 \cdot t^{0.1} \cdot S^{0.23} \cdot V^{0.25}$	$520 \cdot t^{0.1} \cdot S^{0.24} \cdot V^{0.26}$

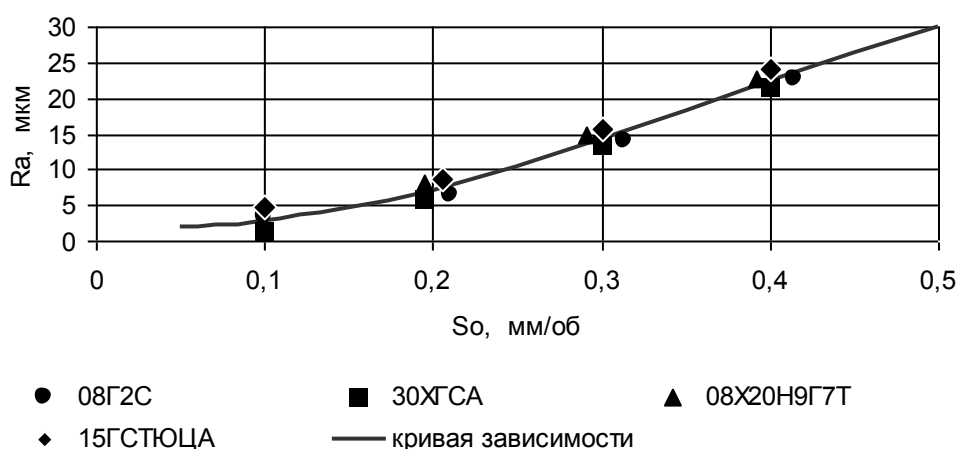


Рис. 3. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи ( $t = 0,3$  мм;  $V = 80$  м/мин)

Таблица 2

Коэффициенты и показатели степени для металлопокрытий

Характеристики	08Г2С		30ХГСА		08Х20Н9Г7Т		15ГСТЮЦА	
	$C_x$	$Y_x$	$C_x$	$Y_x$	$C_x$	$Y_x$	$C_x$	$Y_x$
Температура резания, °С	257	0,25	261	0,25	266	0,25	260	0,25
Сила резания, Н	231	-0,15	239	-0,15	268	-0,15	340	-0,17
Стойкость, мин	737	-0,7	860	-0,75	980	-0,8	623	-0,75
Шероховатость, мкм	4,54	-0,3	4,26	-0,3	4,67	-0,3	5,63	-0,4

Влияние скорости резания на характеристики процесса резания исследовалось в диапазоне изменения скорости резания от 30 м/мин до 120 м/мин при фиксированных значениях подачи  $S_o = 0,1$  мм/об и глубины резания  $t = 0,2$  мм.

Если влияние скорости резания  $V$  (м/мин) на основные характеристики процесса течения исследуемых металлопокрытий формально описать общей зависимостью  $X = C_x \cdot V^{Y_x}$ , где  $X$  – обозначение характеристики;  $C_x$  – коэффициент, учитывающий постоянные условия процесса;  $Y_x$  – показатель степени при скорости резания, то в табл. 2 приведены значения коэффициентов и показателей степеней для рассмотренных металлопокрытий.

Таким образом, подытоживая все вышесказанное, можно сформулировать основные рекомендации для обеспечения оптимального резания при черновой операции обработки металлопокрытия (после технологической операции наплавки под слоем флюса АН-348А двумя разными проволоками [3]: шейки валов наплавлялись ПП-Нп-35В9ХЗСФ-Т-Ф-3,6 с последующим отпуском при 500°С в течение 1 часа, а галтели наплавлялись на предварительно подогретую до 200...230°С поверхность проволокой 1,6 Нп-30ХГСА):

1. Для снятия корки с наплавленных на тело слоев всех рассмотренных в работе металлопокрытий целесообразно использовать резец с пластижкой из твердого сплава Т5К10. Корку снимать за один проход с глубиной резания с учетом неровностей припуска на подаче  $S_o$  не более 0,25 мм/об и скорости  $V \approx 70...80$  м/мин.

2. Для предварительной обработки наплавленных слоев, когда выполняется основная работа резания, при устойчивом точении без ударов, рекомендуется резец с пластижкой из твердого сплава Т15К6 с геометрическими параметрами и режимом резания, соответствующими положению об «оптимальной» температуре резания.

При этом, если точение производится на параметрах  $t \neq 0,2$  мм и  $S_o \neq 0,1$  мм/об для определения оптимальных скоростей резания  $V_{opt}$ , обеспечивающих минимум относительно износа, следует воспользоваться следующими зависимостями:

– для металлопокрытия 30ХГСА:

$$V_{opt} = (1,62 / t^{0,11} \cdot S_o^{0,22})^{1/0,25}, \text{ м/мин}; \quad (1)$$

– для металлопокрытия 08Х20Н9Г7Т:

$$V_{opt} = (1,59 / t^{0,1} \cdot S_o^{0,23})^{1/0,25}, \text{ м/мин}; \quad (2)$$

– для металлопокрытия 15ГСТЮЦА:

$$V_{opt} = (1,09 / t^{0,1} \cdot S_o^{0,24})^{1/0,26}, \text{ м/мин}. \quad (3)$$

Эти зависимости получены соответственно из формул табл. 1 после подстановки в них значений оптимальных температур 830°С, 850°С и 870°С.

Для металлопокрытия 08Г2С скорость резания для предварительной обработки может быть рекомендована такой:

$$V_{opt} = (1,59 / t^{0,11} \cdot S_o^{0,22})^{1/0,25}, \text{ м/мин}. \quad (4)$$

3. Для окончательной обработки с соблюдением точности и шероховатости и для обеспечения максимальной размерной стойкости инструмента обработка указанных материалов должна вестись на параметрах  $t = 0,2$  мм;  $S_o = 0,1$  мм/об.

### Выводы

1. Для минимизации формирования хрупких структур за счет контраста температур самого коленчатого вала и наносимого металлопокрытия необходим предварительный подогрев в диапазоне 100...250°С.

2. Оптимальным сочетанием металлопокрытий, наносимых на крупногабаритный коленчатый вал будет: для рабочей поверхности – ПП-Нп-35В9ХЗСФ с последующем отпуском при 500°С в течение 1 ч и Нп-30ХГСА – на поверхность галтели, предварительно подогретую до 200...230°С.

3. Рассмотренные металлопокрытия, нанесенные на коленчатый вал, могут быть обработаны точением твердосплавным инструментом на станках нормальной точности с соблюдением требований чертежа по точности формы обрабатываемой поверхности и ее шероховатости.

4. Проведенные комплексные исследования процесса стружкообразования, термодинамики резания, шероховатости обработанной поверхности, износа и стойкости инструмента позволили выявить важные в практическом отношении зависимости указанных характеристик процесса резания от элементов режима, в том числе определить их оптимальные значения по критерию минимума относительного износа.

4. Теоретические выводы и практические рекомендации, позволяют обоснованно назначать режим обработки наплавленных материалов в ремонтном производстве, а также сократить расход режущего инструмента и обеспечить качество восстанавливаемой детали.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горшенина Е.Ю. Исследование распределения температур в реальном технологическом процессе наплавки коленчатого вала / Е.Ю. Горшенина, Б.Ф. Тугушев // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2008. С. 39-46.

2. Обеспечение эксплуатационных свойств коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 при ремонте и восстановлении / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, В.В. Погораздов и др. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 3 (41). Вып. 2. С. 74-78.

3. Горшенина Е.Ю. Двухпроволочная наплавка коленчатых валов / Е.Ю. Горшенина // Молодые ученые – науке и производству: материалы конф. молодых ученых. Саратов: СГТУ, 2007. С. 34-38.

**Денисов Александр Сергеевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
«Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Denisov Aleksandr Sergeyeovich** –  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department  
of «Automobiles and automotive enterprise»  
of Saratov State Technical University

**Погораздов Валерий Васильевич** –  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Конструирование и компьютерное  
моделирование технологического оборудования  
в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Pogorazdov Valeriy Vasiliyevich** –  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department  
of «Designing and Computer Modeling  
of Technological Equipment in Machine  
and Instrument Building»  
of Saratov State Technical University

**Тугушев Борис Федорович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Tugushev Boris Fedorovich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of «Automobiles and automotive enterprise»  
of Saratov State Technical University

**Горшенина Екатерина Юрьевна** –  
аспирант кафедры  
«Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Gorshenina Ekaterina Yuriyevna** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Automobiles and automotive enterprise»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 27.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 621.9.04:004.94

**В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов****ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ 3D ГРАФИКИ  
И ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ**

*Предложен метод твердотельного геометрического моделирования технологических процессов формообразования пространственных зубчатых передач в 3D пространстве. Рабочие и переходные поверхности зубьев образуются как огибающие производящей поверхности инструмента. В результате образуются конечные формы поверхностей зубьев в виде точных компьютерных твердотельных моделей. Приведены блок-схема и пример «компьютерного нарезания» гипоидной передачи.*

Технологический процесс, твердотельное моделирование, виртуальное формообразование, взаимопересечение поверхностей, булевы операции вычитания, гипоидная передача.

**V.Yu. Karacharovskiy, S.A. Ryazanov****3D COMPUTER GRAPHICS METHOD APPLICATION AND SOLID SIMULATION  
FOR THE DEVELOPMENT OF GEAR CUTTING TECHNOLOGICAL PROCESSES**

*Method of solid geometrical simulation of technological processes forming hypoid gearing in 3D space has been offered. Active and passive teeth surfaces were formed as tool cutting surface envelopes. Thus, final teeth surfaces' forms as accurate computer solid models have been made up. Block-diagram and the example of «computer» hypoid gear cutting are also included in the research.*

Technological process, solid simulation, virtual forming, surface intersection, Boolean subtraction operations, hypoid gearing

Зубчатые передачи являются ответственными элементами многих современных машин и механизмов. К их основным качественным показателям относятся точность передачи вращения, нагрузочная способность, малошумность, ресурс. Перечисленные критерии обеспечиваются технологическими средствами на стадии операций зубопрофилирования, где формируются рабочие поверхности зубьев. Технология изготовления в большинстве случаев построена на реализации метода обкатки как на традиционных, так и на многокоординатных станках различных компоновок.

При подготовке производства каждого нового вида изделий выполняется расчет наладочных установок зуборезного оборудования. Для этого в настоящее время используются расчетные методики и компьютерные программы, основанные на математических зависимостях теории зацепления [1, 2, 3]. Уточнение расчетных параметров и величины корректирующих поправок в наладки определяются путем нарезания нескольких опытных образцов.

Использование современных методов компьютерной 3D графики позволяет усовершенствовать и ускорить процесс проектирования технологических операций зубопрофилирования [4], обеспечивая получение конечных форм поверхностей зубьев в виде наглядных и точных компьютерных твердотельных моделей. Способ основан на виртуальном представле-

нии процесса формообразования в виде взаимопересечения твердотельных 3D моделей двух объектов (инструмента и заготовки), совершающих в общем случае винтовое относительное движение. В результате рабочие поверхности зубьев образуются как огибающие производящей поверхности инструмента. Схема алгоритма реализации метода приведена на рис. 1.

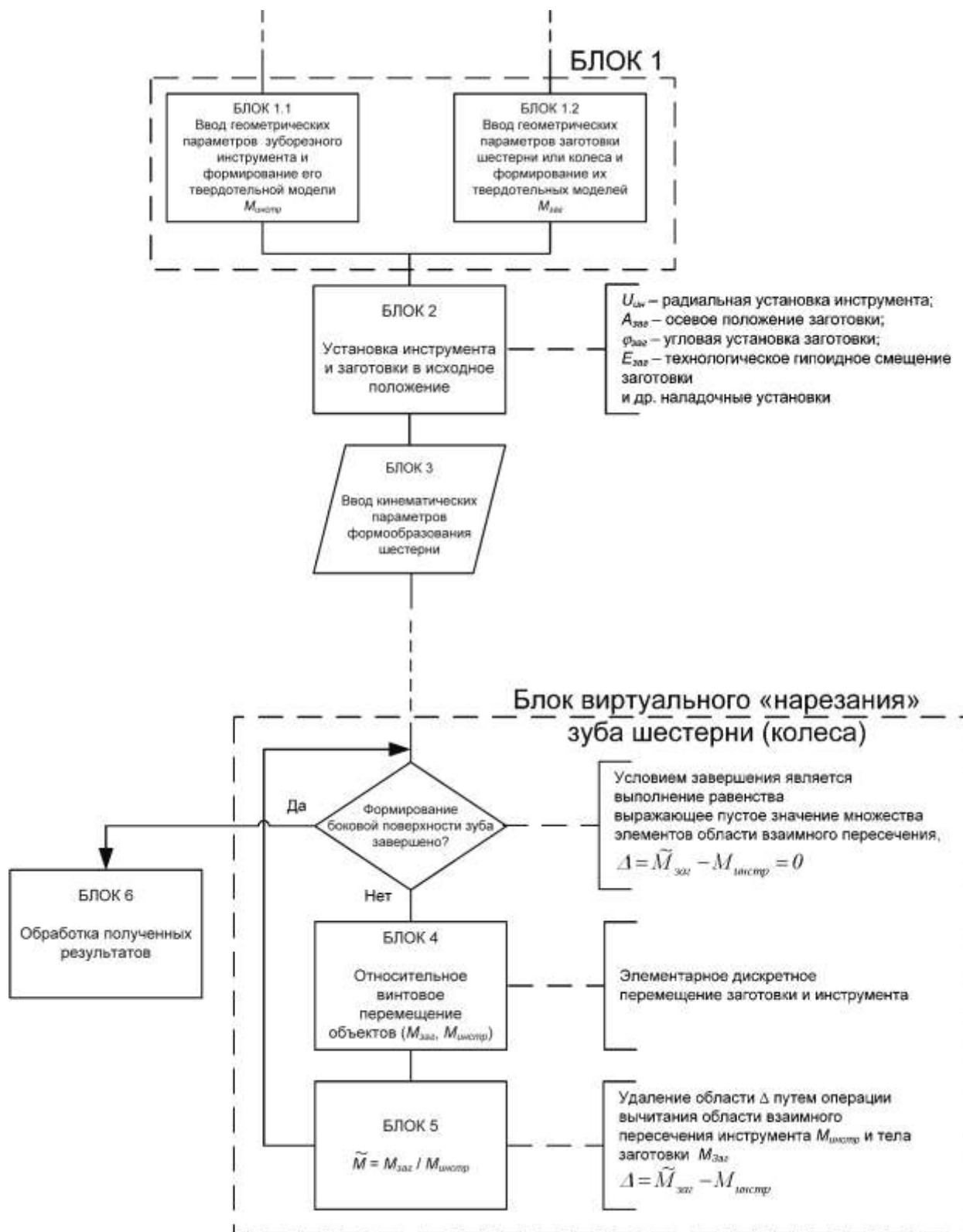


Рис. 1. Схема алгоритма «компьютерного нарезания» зубчатых передач



В качестве примера рассмотрено моделирование процесса формообразования зубьев шестерни и колеса ( $j = 1, 2$ ) ортогональной гипоидной передачи.

В блоке 1 осуществляется формирование твердотельных моделей заготовок и инструмента на основе применения стандартных процедур геометрического моделирования. Для этого, исходя из данных чертежа и предварительных расчетов, определяются геометрические характеристики осевых сечений заготовок (блок 1.1) и инструмента (блок 1.2), которым сообщается формообразующее вращательное движение, описываемое векторно-матричным преобразованием [5]

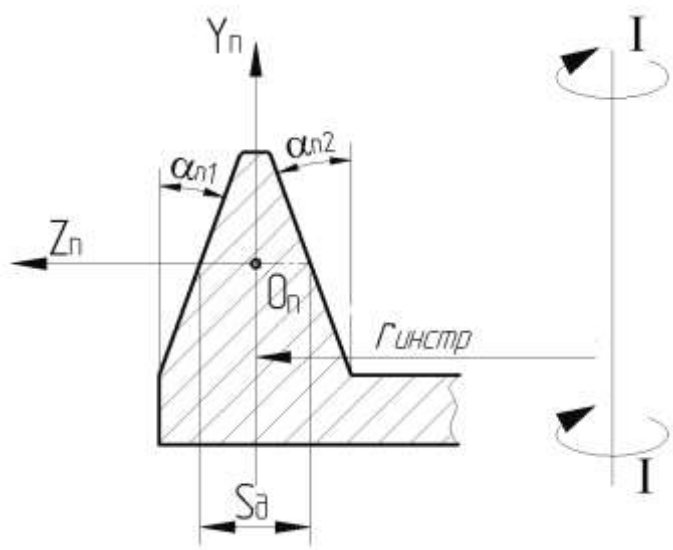
$$\bar{R}_m^{(Su)} = H_{S_u S_{\Pi}} \cdot \bar{R}_m^{(S_{\Pi})}.$$

Так, в случае создания модели резцовой зуборезной головки (рис. 2 а):

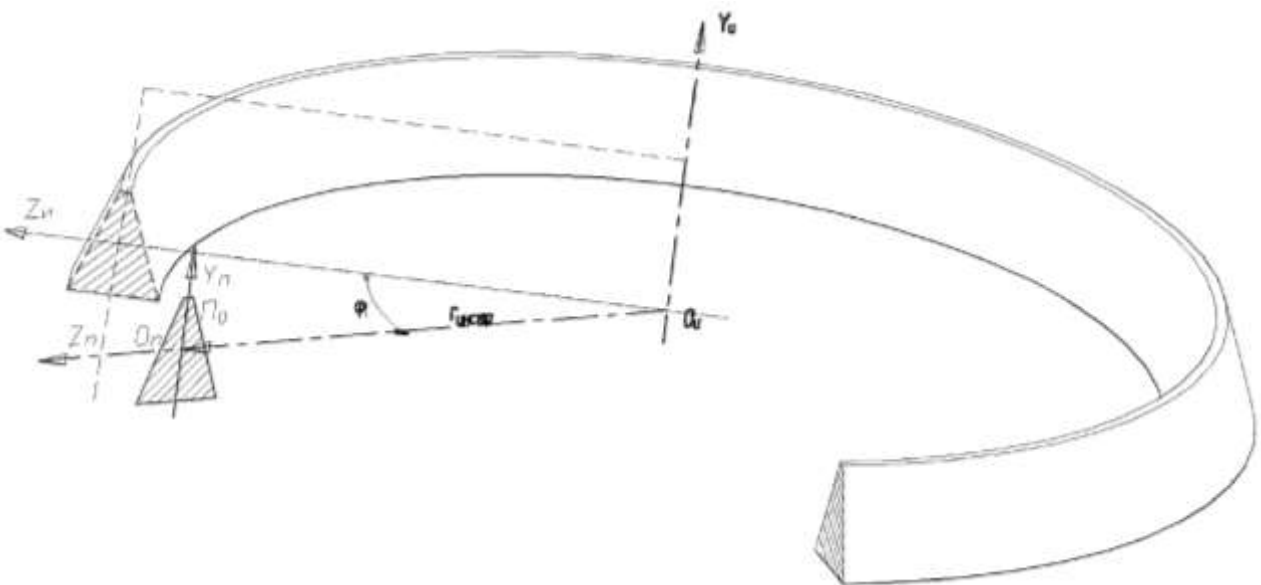
$\bar{R}_m^{(S_{\Pi})}$  – радиус-вектор осевого профиля производящей поверхности (рис. 2 б) в подвижной системе координат  $S_{\Pi}(O_{\Pi}x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi})$ ;



а



б



в

Рис. 2. Формообразование производящей поверхности резцовой головки

$\bar{R}_M^{(S_u)}$  – радиус-вектор сформированной производящей поверхности (рис. 2 в) в системе координат  $S_u (O_u x_u y_u z_u)$ ;

$H_{S_u S_{II}} = \begin{vmatrix} A_{S_u S_{II}} & r_{инстр}^{(S_u)} \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$  – блочная матрица, выражающая движение системы  $S_{II}$ , связанной с осевым профилем, относительно системы  $S_u$ ;

$A_{S_u S_{II}}$  – матрица направляющих косинусов (матрица поворота).

Сформированные твердотельные модели резцовой головки и заготовки, рассматриваемые далее как числовые множества, устанавливаются в номинальное исходное положение, определяемое радиальной установкой инструмента, технологическим гипоидным смещением, угловой и осевой установками заготовки (блок 2).

В блоке 3 вводятся кинематические зависимости, выражающие относительное движение объектов в станочном зацеплении. При моделировании традиционной схемы нарезания методом обкатки процесс формообразования задается функциональной взаимосвязью угловых перемещений люльки станка  $\phi_0$  с установленным инструментом и нарезаемой заготовки  $\phi_j$ :

$$\phi_j = (k_j \times \phi_0) / \sin(\phi_K), \quad (j = 1, 2), \quad (1)$$

где  $k_1 = r_K \times \cos(\beta_K) / r_{ин} \times \cos(\beta_{ин})$ ,  $k_2 = 1$ ;  $\phi_{ин}$  и  $\phi_K$ ,  $\beta_{ин}$  и  $\beta_K$ ,  $r_{ин}$  и  $r_K$  – соответственно углы при вершинах начальных конусов, углы наклона круговых зубьев и радиусы шестерни и колеса в средней расчетной точке.

В блоках 4 и 5 выполняется виртуальное «нарезание» зубьев, представляющее собой последовательное удаление частей объема заготовки, отсекаемых инструментом, на основе применения булевых операций вычитания тел (в виде геометрического вычитания трехмерных числовых множеств):

$$M = M_{заг} / M_{инстр}, \quad (2)$$

где  $M$  – результирующее множество;  $M_{заг}$ ,  $M_{инстр}$  – множества элементов, принадлежащих соответственно нарезаемой заготовке и инструменту.

После выполнения операции согласно (2) телам сообщаются малые угловые перемещения  $\Delta\phi_0$  и  $\Delta\phi_j$ , изменяющие их относительное положение в соответствии с (1). Это приводит к очередному взаимопересечению объектов и возникновению общей области  $\Delta M$ , содержащей множества точек, принадлежащих одновременно обоим телам. После каждой очередной операции вычитания происходит удаление этой области и множество элементов  $M$  приобретает новую конфигурацию  $\tilde{M}_{заг}$ . Выполнение действий в блоках 4 и 5 повторяется над уже модифицированным на предшествующей итерации множеством элементов  $M := \tilde{M}_{заг}$ , что моделирует технологический процесс формообразования.

В блоке 6 выполняется анализ макро- и микрохарактеристик рабочих и переходных поверхностей сформированных зубьев методами визуализационной и метрологической оценки.

Необходимые изменения геометрии нарезаемых поверхностей зубьев обеспечиваются корректировкой элементов многофакторной технологической среды моделирования. Соответствующие поправки вносятся в основное движение обкатки ( $\Delta\phi_0$ ,  $\Delta\phi_j$ ), геометрию инструмента и в перечисленные исходные установки (блок 2).

На рис. 3 показаны результаты некоторых выполненных виртуальных нарезаний при различных сочетаниях наладочных параметров.

Особую актуальность разработанная методика приобретает в условиях ускоренного промышленного освоения современных технологических процессов изготовления сложных видов зубчатых передач на многокоординатном оборудовании, а также при синтезе новых разновидностей пространственных зубчатых передач [6].

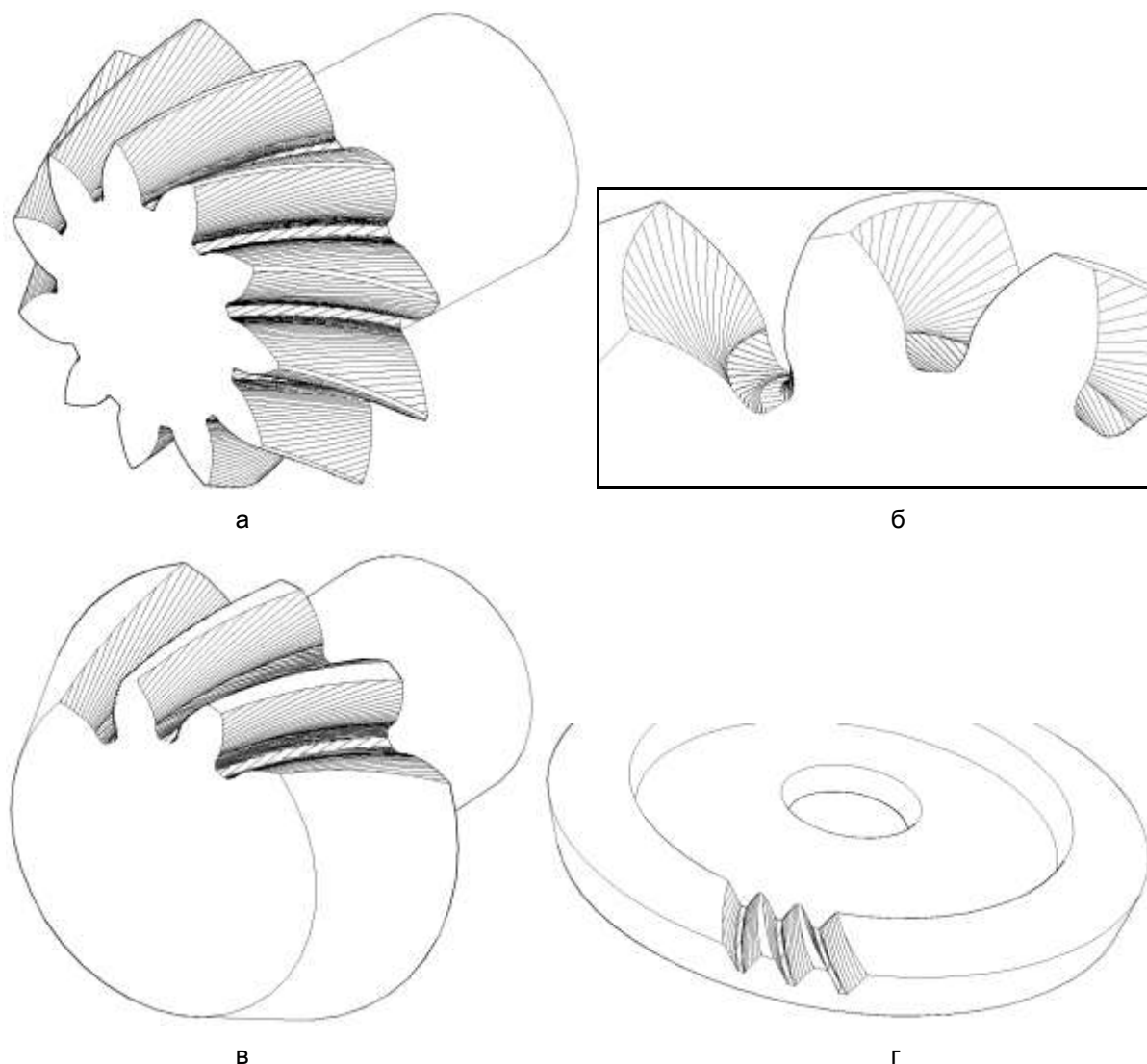


Рис. 3. Различные формы зубьев гипоидной шестерни и колеса, полученные методом виртуального нарезания: а – заострение зуба по вершине; б – подрез зуба у его ножки; в – увеличенная ширина вершинной ленточки зуба; г – сужение ленточки зуба колеса со стороны «малого модуля»

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лопато Г.А. Конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями / Г.А. Лопато, Н.Ф. Кабатов, М.Г. Сегаль; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
2. Волков А.Э. Компьютерное моделирование процессов формообразования поверхностей резанием / А.Э. Волков // Конструкторско-технологическая информатика 2000: материалы IV Междунар. конгресса: в 2 т. М.: СТАНКИН, 2000. Т. 1. С. 122-126.
3. Медведев В.И. Комплекс программ для диалогового подбора технологических и конструктивных параметров гипоидных и конических пар с круговыми зубьями / В.И. Медведев // Конструкторско-технологическая информатика 2000: материалы IV Междунар. конгресса: в 2 т. М.: СТАНКИН, 2000. Т. 2. С. 51-54.
4. Карачаровский В.Ю. Геометрическое моделирование формообразования пространственных поверхностей при винтовом относительном движении / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Проблемы геометрического моделирования в автоматизированном проектировании и производстве: материалы 1-й Междунар. науч. конф. М.: МГИУ, 2008. С. 143-146.

5. Карачаровский В.Ю. Обобщенная модель твердотельного зуборезного инструмента с изменяемой кривизной производящей поверхности / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Проблемы геометрического компьютерного моделирования в подготовке конструкторов для инновационного производства: сборник материалов Поволжской науч.-метод. конф. Саратов: СГТУ, 2010. С. 152-156.

6. Карачаровский В.Ю. Разработка цифровых технологий твердотельного моделирования процессов формообразования пространственных зубчатых передач для реализации на многокоординатных станках / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Пятый Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций: в 2 ч. Саратов: СГТУ, 2010. Ч. 1. С. 150-151.

**Карачаровский Владимир Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория механизмов и детали машин» Саратовского государственного технического университета

**Karacharovskiy Vladimir Yuriyevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Mechanisms Theory and Parts of Machines» of Saratov State Technical University

**Рязанов Сергей Анатольевич** – заведующий лабораторией кафедры «Начертательная геометрия и компьютерная графика» Саратовского государственного технического университета

**Ryazanov Sergey Anatoliyevich** – Laboratory Head of the Department of «Descriptive Geometry and Computer Graphics» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 09.07.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 621.81:539.4

**С.Ю. Лушников**

## **ОЦЕНКА РЕСУРСА НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ (НА ПРИМЕРЕ РАМЫ ПОЛУПРИЦЕПА)**

*Рассмотрена проблема оценки ресурса элементов несущей системы полуприцепа, с учетом влияния нормальных и касательных напряжений.*

Несущая система, полуприцеп, ресурс, тензорезисторы, напряженно-деформированное состояние, блоки нагружения, предел выносливости, усталостная долговечность по нормальным и касательным напряжениям, медианная долговечность.

**S.Yu. Lushnikov**

## **EVALUATION OF CARRYING SYSTEM RESOURCE IN COMPLEX STRESS STATE (ON THE EXAMPLE OF SEMITRAILER FRAME)**

*The problem of element resource estimation of semitrailer carrying system with the influence of normal and shear stresses was examined in the article.*

Carrying system, semitrailer, resource, tensoresistor, stress-strain state, loading blocks, endurance limit, fatigue endurance under the normal and shear.

Значительный рост грузоперевозок в России автомобильным транспортом в настоящее время требует создания несущих систем транспортных машин, обеспечивающих безремонтный пробег машин до их списания.

Однако эксплуатация подобного транспорта, как российского, так и иностранного производства, показала, что разрушения несущих систем этих транспортных средств происходят достаточно часто, а последующий ремонт по стоимости приближается к стоимости новой конструкции.

В связи с этим все возрастающие требования к обеспечению требуемого ресурса транспортных средств привели к необходимости поиска путей дальнейшего совершенствования их несущих систем и методов оценки ресурса.

В настоящее время в России разработаны и производятся несколько конструкций полуприцепов, несущая система которых представляет собой раму лестничного типа. Опыт эксплуатации полуприцепов как отечественного, так и зарубежного производства показал, что наиболее уязвимыми местами в конструкции являются районы шкворня, гуся и крепления осей.

Поэтому, при разработке конструкции несущей системы полуприцепа большое внимание уделено обеспечению прочности и оценке долговечности конструкции.

В процессе проектирования конструкции полуприцепа было рассмотрено 12 вариантов различной по конструкции и по используемым профилям поперечных сечений элементов [1].

Для всех рассматриваемых вариантов расчетных схем методом конечных элементов выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов несущей системы.

Анализ НДС элементов рассматриваемых несущих систем позволил для дальнейшего исследования остановиться на пяти вариантах конструкций, в элементах которых отмечено снижение уровня нормальных и касательных напряжений.

Разработка рабочей документации конструкции полуприцепа опытного образца была выполнена для одного варианта [2].

В соответствии с поставленной задачей исследования выполнено экспериментальное исследование НДС элементов натурной конструкции полуприцепа. При этом предполагалось сопоставить результаты численного исследования и результаты эксперимента, а также оценить уровень касательных напряжений в эксперименте.

С этой целью места наклейки тензорезисторов и розеток принимались в сечениях, НДС в которых известно по результатам численного эксперимента.

В ходе эксперимента получены значения касательных и нормальных напряжений, сопоставимых с данными, полученными в ходе численного эксперимента (табл. 1, 2), анализируя которые, можно заключить, что уровни нормальных и касательных напряжений в лонжеронах рамы в реальном и численном экспериментах находятся в пределах одного порядка.

Таким образом, можно отметить, что на начальном этапе проектирования, при грамотном подходе к созданию расчетной схемы конструкции, достаточно проводить численный эксперимент. И в то же время необходимо отметить, что уровни касательных напряжений в сечениях конструкции, полученные в ходе реального эксперимента, достаточно высоки, что позволяет заключить о необходимости учета их влияния при оценке долговечности.

Оценка ресурса элементов конструкции несущей системы при действии переменных нормальных и касательных напряжений выполнена по результатам записей переменных напряжений [3].

Для записи переменных нормальных и касательных напряжений в эксперименте была усовершенствована измерительная система на базе платформы с процессором «Intel Pentium 1» для регистрации сигналов от 8 тензодатчиков в частотном диапазоне от 0 до 20 Гц. Данный тензометрический комплекс состоит из следующих приборов: персональный компьютер с ПО; плата АЦП «ЛА-70М4»; адаптер; тензоусилитель ТОПАЗ-3; тензодатчики.

Таблица 1

Нормальные напряжения,  
возникающие в сечениях лонжерона разработанной рамы полуприцепа

Вариант рамы	$\Sigma$ нагрузки, приведенные к узлам, т	Масса рамы, т	Нормальные напряжения в численном эксперименте (числитель) и в реальном эксперименте (знаменатель)				
			шкворень, МПа	гусь, МПа	1-я ось, МПа	2-я ось, МПа	3-я ось, МПа
Рама15	32	3.331	-43,46	-75,5	-13,5	42,59	38,88
			-42,56	-67,51	-40,36	52,84	55,04

Таблица 2

Касательные напряжения,  
возникающие в сечениях лонжерона разработанной рамы полуприцепа

Вариант рамы	$\Sigma$ нагрузки, приведенные к узлам, т	Масса рамы, т	Касательные напряжения в численном эксперименте (числитель) и в реальном эксперименте (знаменатель)				
			шкворень, МПа	гусь, МПа	1-я ось, МПа	2-я ось, МПа	3-я ось, МПа
Рама15	32	3.331	31	-16,5	11	10,2	15,57
			34,54	35,1	13,62	34,54	37,23

Переменные напряжения фиксировались для розетки датчиков, наклеенных на элементе несущей системы рамы, при движении автомобиля по асфальту в удовлетворительном состоянии со скоростью  $v = 40$  км/ч. Общий пробег машины в процессе записи составил 9 км.

Переменные значения деформации тензодатчиков, записанные на жесткий диск персонального компьютера посредством платы сбора данных АЦП «ЛА-70М4», представляют собой записи случайных процессов (рис. 1).

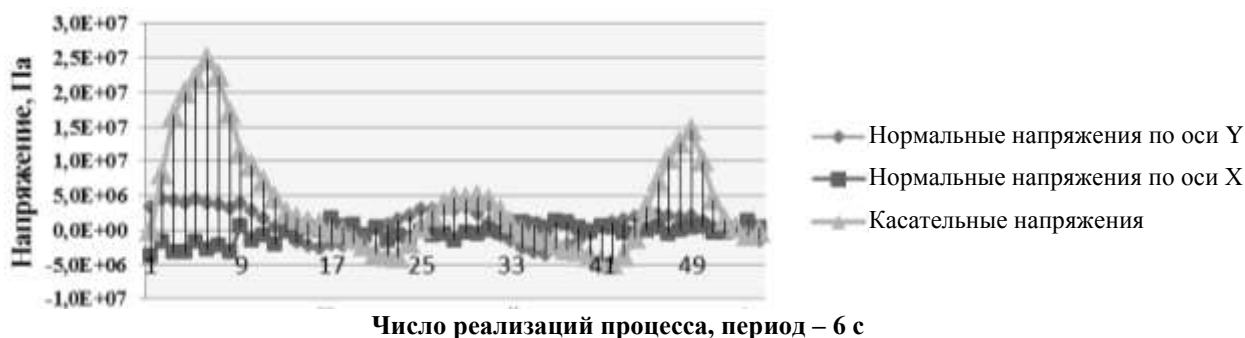


Рис. 1. Фрагмент записанного случайного процесса изменения величин амплитудных напряжений

Полученные записи случайных процессов изменения величин напряжений в дальнейшем обрабатывались по специально разработанной программе. Программный модуль включал в себя следующие этапы: центрирование процесса; анализ стационарности; представле-

ние дискретного процесса изменения амплитуды с малым шагом квантования; расчет дискретных величин переменных касательных напряжений.

В итоге обработки зафиксированных массивов напряжений на этом этапе получены дискретные процессы изменения величин нормальных и касательных напряжений.

В дальнейшем полученные процессы изменения амплитудных напряжений схематизировались методом полных циклов по ГОСТ 25.101-83 и в результате обработки были получены гистограммы распределения амплитуд переменных нормальных и касательных напряжений.

Усталостная долговечность по нормальным амплитудным напряжениям рассчитана по зависимости [4]

$$\lambda_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1\sigma}^{m_{\sigma}} \times N_G}{\sum_{\sigma_{ai} \geq 0,5\sigma_{-1\sigma}} \sigma_{ai}^{m_{\sigma}} \times v_{i\sigma}},$$

где  $\lambda_{\sigma}$  – усталостная долговечность;  $m_{\sigma}$  – наклон левой ветви кривой усталости;  $\sigma_{-1\sigma}$  – предел выносливости при симметричном цикле;  $N_G$  – абсцисса точки перелома кривой усталости;  $\sigma_{ai}$  – амплитудное напряжение, соответствующее  $i$ -му блоку нагружения;  $v_{i\sigma}$  – число циклов в блоке нагружения.

Для анализа усталостной долговечности по нормальным напряжениям приняты данные:  $\sigma_{-1\sigma} = 35$  МПа,  $m_{\sigma} = 3,86$ ,  $N_G = 5 \times 10^6$ .

Усталостная долговечность с учетом касательных амплитудных напряжений рассчитана по зависимости [4]

$$\lambda_{\tau} = \frac{\tau_{-1\tau}^{m_{\tau}} \times N_G}{\sum_{\tau_{ai} \geq 0,5\tau_{-1\tau}} \tau_{ai}^{m_{\tau}} \times v_{i\tau}}.$$

При этом в расчетах усталостной долговечности по касательным напряжениям принято:  $\tau_{-1\tau} = 21$  МПа,  $m_{\tau} = 3,86$ ,  $N_G = 5 \times 10^6$ .

Медианная долговечность конструкции, учитывающая нормальные и касательные напряжения, для частного случая при  $m_{\sigma} = m_{\tau} = m$  примет вид [4]

$$\lambda = \frac{\lambda_{\sigma} \times \lambda_{\tau}}{\left( \lambda_{\sigma}^m + \lambda_{\tau}^m \right)^{\frac{m}{2}}}.$$

По имеющимся зависимостям для  $\lambda_{\sigma}$  и  $\lambda_{\tau}$  выполнены расчеты усталостной долговечности конструкции (рис. 2).

Оценка выполнена для нескольких вариантов: долговечность, рассчитанная при совместном действии переменных нормальных и касательных напряжений и равных значениях  $m_{\sigma} = m_{\tau} = m$ ; долговечность, рассчитанная для случая совместного действия нормальных и касательных напряжений при фиксированном значении  $m_{\sigma} = 3,86$  и изменяющемся  $3,86 \leq m_{\tau} \leq 6$ , и долговечность, рассчитанная для случая анализа только по величинам нормальных напряжений и отдельно по величинам непосредственно касательных напряжений.

Анализируя распределения долговечностей (рис. 2), можно отметить, что оценка долговечности конструкции при сложном напряженном состоянии в значительной степени зависит от учета касательных напряжений. Причем, если уровни переменных касательных и нормальных напряжений сопоставимы, то главенствующую роль в формировании повреждения играют касательные напряжения. Связано это с тем обстоятельством, что резко возрастает частота амплитуд касательных напряжений, учитываемых в расчетах.

С целью решения вопроса о методе оценки ресурса конструкции с учетом нормальных и касательных напряжений планируется проведение эксперимента для конструкций, работающих в различных условиях эксплуатации.

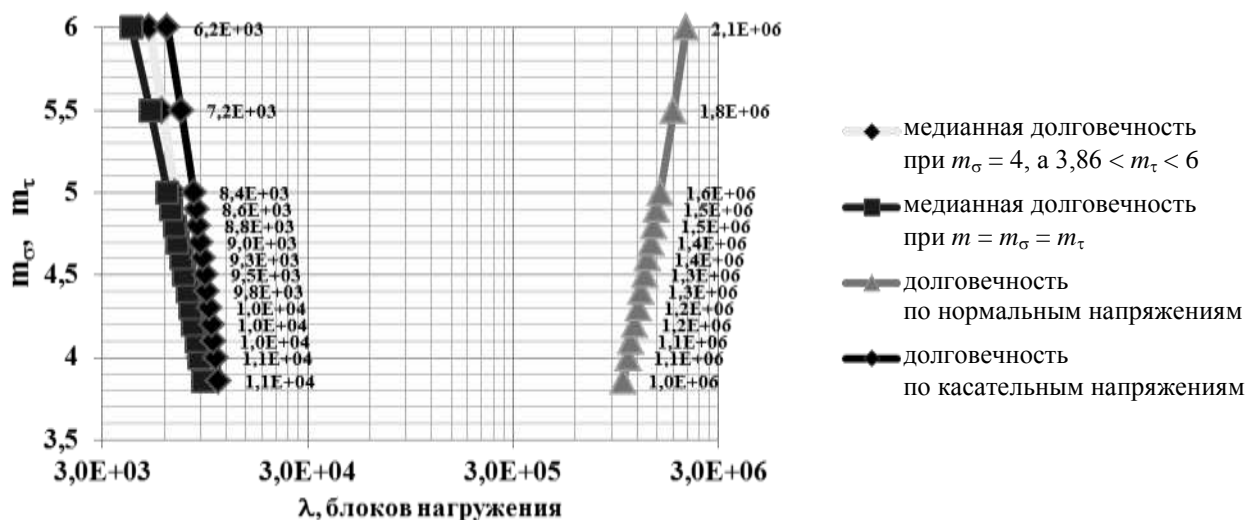


Рис. 2. Функция распределения усталостной долговечности  $\lambda(m_\sigma, m_\tau)$

ЛИТЕРАТУРА

1. Лушников С.Ю. Разработка полуприцепа большой грузоподъемности с безремонтным пробегом за весь срок службы / С.Ю. Лушников // Всероссийский конкурс среди молодежи высших учебных заведений Российской Федерации на лучшие научные работы по естественным наукам: тез. науч. работ. Саратов: СГТУ, 2004. С. 104-106.
2. Пат. № 35618 Российская Федерация, МПК 7 В 62 D 21/00. Рама транспортного средства / В.Е. Боровских, И.В. Бальзамов, С.Ю. Лушников, Н.С. Приказчиков, У.В. Боровских. № 2003132408; заявл. 12.11.03; опубл. 27.01.04. Бюл. № 3.
3. Лушников С.Ю. Оценка ресурса несущей системы по результатам натурных динамических испытаний / С.Ю. Лушников, В.Е. Боровских // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. № 2 (32). Вып. 1. С. 26-30.
4. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.

**Лушников Станислав Юрьевич** – аспирант кафедры «Теория механизмов и детали машин» Саратовского государственного технического университета

**Lushnikov Stanislav Yuriyevich** – Post-graduate Student of the Department of «Theory of Mechanisms and Machine Parts» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 21.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 621.92

**А.В. Славин**

**ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ МЕТАЛЛОВ**

*Рассмотрены основные аспекты стружкообразования при абразивной обработке металлов с позиции неравновесной термодинамики. Определена*



*роль структуры и состава смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС), в рамках ее влияния на процесс диспергирования металла и засаливания абразивного инструмента.*

Шлифование металлов, состав смазочно-охлаждающей технологической среды, стружкообразование.

**A.V. Slavin**

### **OIL-COOLING PROCESS MEDIUM INFLUENCE ON THE CHIP PRODUCTION DURING METAL GRINDING**

*In the article below the main aspects of chip production in the abrasive metal working had been viewed from the position of non-equilibrium thermodynamic. The role of oil-cooling process medium structure and composition had been defined, through its influence on the process of metal dispersing and abrasive tools glazing.*

Metal grinding, oil-cooling process medium structure, chip formation.

Процесс шлифования металлов представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных явлений: механических, физико-механических, которые определяют основные показатели: режущую способность и стойкость инструмента, шероховатость обработанной поверхности, точность геометрических параметров заготовки.

Реальный резерв повышения качества абразивной обработки – применение оптимального состава СОТС. Многочисленные исследования в области совершенствования составов СОТС для операций шлифования позволили создать высокоэффективные технологические жидкости, обеспечивающие высокие производительность и качество обработки [1, 2, 3]. Вместе с тем в настоящее время отсутствует научно обоснованная методология проектирования состава СОТС для операций шлифования различных металлов.

Причиной этому служит недостаточная изученность явлений, протекающих в зоне контакта инструмента и обрабатываемой детали. Проведенные нами исследования [4, 5] позволили описать механизм контактного взаимодействия шлифовального круга и обрабатываемой заготовки с учетом влияния СОТС.

Представляет интерес исследование механизма действия СОТС на процесс стружкообразования при шлифовании. В рамках общепринятых представлений [1] действие СОТС сводится к обеспечению смазывающего, моющего, охлаждающего эффектов. Вместе с этим в настоящее время отсутствует единое мнение о механизме действия СОТС при абразивной обработке, это усложняет процесс создания новых составов технологических сред для операций шлифования.

Явления, протекающие в зоне шлифования, с точки зрения поведения системы «СОТС – продукты диспергирования», были рассмотрены нами ранее [5]. Рассмотрим механизм стружкообразования при шлифовании с СОТС.

Взаимодействие абразивного зерна и металла при шлифовании характеризуется высокой скоростью, что приводит к концентрации тепловой энергии в узкой зоне перед режущим элементом, вызывающей локально-концентрированный сдвиг элемента стружки. По Л.Н. Филимонову [6], образование стружек при шлифовании носит адиабатический характер. По данным [6, 7], отделение стружки при шлифовании регламентируется соотношением глубины внедрения зерна ( $h$ ) к радиусу закругления его вершины ( $\rho$ ). Процесс шлифования характеризуется малым временем взаимодействия зерна и металла ( $10^{-5}$ – $10^{-4}$ ) с ударными нагрузками, высокими температурами в контакте. Время контакта

абразивного зерна и металла при шлифовании абразивного зерна и металла при шлифовании  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  с дает основание для рассмотрения процесса с позиций теории удара твердых тел [8].

Согласно [8], существует критическая ударная скорость  $V_{кр}$ , вызывающая напряжение  $\sigma_m$ , равное предельному напряжению  $\sigma_b$  при растяжении металла. Критическая скорость определяется из уравнения [8]:

$$V_{кр} = \int^{\varepsilon} \sqrt{\frac{E_p}{\xi}} d\varepsilon = \frac{1}{\xi_0} \int^{\sigma} \frac{d\sigma}{c}, \quad (1)$$

где  $\xi$  – плотность металла;  $\sigma$  – напряжение сдвига;  $c$  – скорость распространения пластической волны.

При скоростях нагружения металла, меньших скорости распространения пластической волны, материал проявляет пластические свойства, и его поведение описывается с позиций механики пластического деформирования [9].

Ударное взаимодействие твердых тел характеризуется перераспределением энергии и возрастанием энтропии. При динамическом деформировании твердых тел уравнение энтропии имеет вид [10]:

$$S = \gamma \varepsilon + C_\varepsilon \ln \left( 1 + \frac{T}{T_0} \right), \quad (2)$$

где  $C_\varepsilon$  – удельная теплоемкость при постоянной температуре;  $T_0$  и  $T$  – начальная и конечная температуры;

$$\gamma = (3\lambda + 2\beta)\alpha t, \quad (3)$$

где  $\beta$  и  $\lambda$  – коэффициенты Ламе;  $\alpha t$  – коэффициент линейного термического расширения.

Уравнение для температурного ударного сжатия металла запишется в виде [11]:

$$\frac{dT}{dW} + BT - \frac{PB}{C} \frac{\left( 1 - \frac{W}{W_0} \right)}{1 - b \left( 1 - \frac{W}{W_0} \right)} = 0, \quad (4)$$

где  $W$  и  $W_0$  – начальный и текущий удельные объемы;  $C$  – коэффициент теплоемкости металла;  $P$  – давление;  $b$  – параметр адиабаты.

Графическое решение (4) представлено на рис. 1 [11].

Как следует из рис. 2, при ударно-волновом разогреве влияние температуры на давление значительно интенсивнее.

Следствием контактного взаимодействия абразивного зерна и металла является образование диссипативной структуры, существование которой поддерживается за счет обмена энергией и веществом с окружающей средой.

В рамках неравновесной термодинамики Пригожина – Гленсдорфа [12], [13] наряду с уравнением баланса для изменения энтропии системы  $dS = dS_0 + dS_i + \beta dS_e$  – поток энтропии окружающей среды  $dS_i \geq 0$  – производство энтропии внутри системы вводится новое уравнение баланса. Общий критерий устойчивости системы определяется производством обобщенной избыточной энтропии  $Z$

$$\sigma[\delta Z] = \int \sigma[\sigma Z] dV \geq 0, \quad (5)$$

где  $\sigma$  – локальное производство обобщенной избыточной энтропии в объеме  $V$ .

Рассмотрим движение абразивного зерна, внедрившегося в обрабатываемый металл [14, 15] (рис. 2).

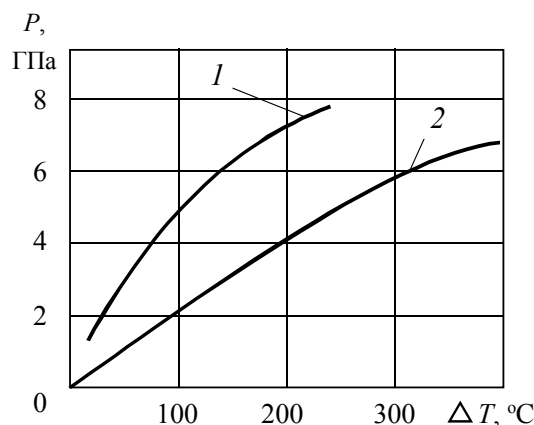


Рис. 1. Влияние температуры ударного сжатия на давление:  
1 – ударно-волновой разогрев; 2 – деформационный макроразогрев [11]

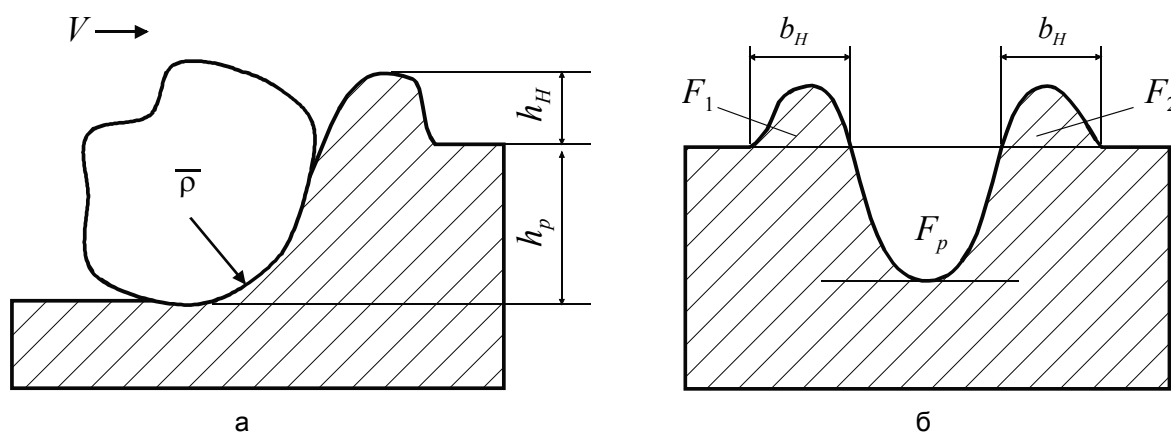


Рис. 2. Взаимодействие абразивного зерна и обрабатываемого металла при шлифовании металла:  
а – продольный профиль риски, оставляемой абразивным зерном; б – поперечный профиль риски, оставляемой абразивным зерном;  $F_p$  – площадь поперечной риски;  $h_p$  – глубина внедрения абразивного зерна;  $h_H$  – высота бокового навала риски;  $F_1$  и  $F_2$  – площади навалов;  $\bar{\rho}$  – средний радиус закругления вершины зерна;  $V$  – скорость перемещения абразивного зерна;  $b_H$  – ширина в фронтальной проекции

В соответствии с представлениями [14, 15] (рис. 2) результатом контактного взаимодействия единичного зерна с обрабатываемой поверхностью является образование навалов как следствия пластического деформирования металла. С учетом того, что в реальном процессе шлифования одновременно взаимодействует с обрабатываемой поверхностью значительное количество абразивных зерен, картина, представленная на рис. 2, идеализирована.

Необходимо заметить, что форма абразивных зерен имеет широкий диапазон колебаний, что делает всякие попытки описания механизма стружкообразования с позиций микрогеометрии контакта малоэффективными.

В рамках существующих представлений о механизме диспергирования металла шлифовальным кругом, материал в контакте с абразивным зерном в течение  $10^{-4}$  с переходит из твердого в вязкопластическое состояние.

Согласно [16], образование стружки происходит по боковым частям абразивного зерна (рис. 2), как следствие течения металла, находящегося в пластическом состоянии. Резкое возрастание избыточной энтропии в боковых навалах  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 2) стимулирует процесс экзоэлектронной эмиссии.

Проведенные нами исследования [5] процессов, протекающих в контакте «круг – деталь», показали, что при шлифовании продукты диспергирования металла и износа инструмента при взаимодействии с СОТС образуют коллоидную систему. При течении данной системы через контактную зону происходит формирование слоя засаливания из микростружек в межзеренном пространстве и налипание частиц металла на вершины абразивных зерен. В результате этого нивелируется режущий профиль инструмента, меняется соотношение глубины внедрения абразивного зерна к радиусу закругления его вершины и, как следствие, изменяются кинематика и динамика стружкообразования. Наличие пленки СОТС в контакте «абразивное зерно – металл» изменяет характер фрикционного взаимодействия данной пары.

Вследствие высокой скорости деформации металла абразивным зерном он переходит в пластическое состояние. При этом между напряжением и деформацией существует зависимость:

$$\sigma = E \frac{V}{c_0}, \quad (6)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $V$  – скорость деформации;  $c_0$  – скорость звука в вакууме.

Ранее нами [17] было показано, что интенсивность адгезионного взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого металла зависит от величины ионизационного потенциала СОТС. С ростом эмиссии электронов СОТС снижается интенсивность налипания металла на абразивное зерно.

Проведенные нами экспериментальные исследования показали, что с ростом глубины внедрения абразивного зерна налипание на него металла снижается. В этом случае возрастает объем навалов, наблюдаются рост энтропии, увеличение числа эмитирующих электронов и, как следствие, интенсификация ионизации пленки СОТС в контакте «зерно – металл».

В условиях граничного трения определено влияние состава СОТС на коэффициент трения абразивного зерна ( $Al_2O_3$ ) по стали (ШХ15, HRC, 58 ... 62) при скорости 50 м/с.

Из таблицы следует, что коэффициент трения  $Al_2O_3$  снижается по мере роста эмиссии электронов СОТС. Это относится и к случаю, когда абразивное зерно покрыто налипшим металлом, что следует из данных во втором столбце коэффициента трения ( $Al_2O_3 + ШХ15$ ) по ШХ15 (см. таблицу).

Влияние состава СОТС на коэффициент трения  $Al_2O_3$  по стали ШХ15 ( $V = 50$  м/с)

Состав СОТС	Коэффициент трения	
	$Al_2O_3 - ШХ15$	$(Al_2O_3 + ШХ15) - ШХ15$
Вода дистиллированная (эмиссия 5,00 имп/с)	0,25	0,45
Укринол 1-3%-ной концентрации в воде (эмиссия 6,00 имп/с)	0,11	0,16
Аквол 10-5%-ной концентрации в воде (эмиссия 7,00 имп/с)	0,11	0,18
ИХП45Э – 5%-ной концентрации в воде (эмиссия 9,00 имп/с)	0,09	0,15

Эксперименты выполнялись на специальном стенде по разработанной методике [17]. Наличие в составе СОТС: Укринол 1, Аквол 10, ИХП45Э, серы и хлорсодержащих компонентов, образующих на поверхности металла пленки с низким сопротивлением сдвигу и температурой, снижает коэффициенты трения. Коэффициент трения  $Al_2O_3$  по стали ШХ15 увеличивается пропорционально количеству налипшего на абразивное зерно металла. Такая закономерность объясняется тем, что на поверхности стали ШХ15 образуются одинаковые продукты взаимодействия.

Проведенные эксперименты показали, что СОТС, проникая в контакт «абразивное зерно – металл» при шлифовании подвергается ионизации потоком электронов, эмитирующих из пластически деформированного металла, что существенно изменяет коэффициент трения контактной пары и в конечном итоге отражается на процессе стружкообразования.

На основании изложенного можно отметить, что процесс стружкообразования металла при шлифовании протекает в условиях высокоскоростного сдвига. Ударное взаимодействие зерна и металла характеризуется перераспределением энергии и возрастанием энтропии (2). В условиях ударного сжатия микрообъема металла абразивным зерном (рис. 2) происходит ударно-волновой разогрев обрабатываемого материала, инициирующий эмиссию электронов, ионизирующих СОТС в зоне формирования навалов  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 2).

В результате этого улучшается формирование навалов по бокам риски, т.е. в соответствии с [16] интенсифицируется стружкообразование при шлифовании.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Худобин Л.В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании / Л.В. Худобин. М.: Машиностроение, 1971. 240 с.
2. Ефимов В.В. Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании / В.В. Ефимов. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1985. 134 с.
3. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под ред. С.Г. Энтемка. М.: Машиностроение, 1986. 360 с.
4. Шумячер В.М. Механохимические процессы управления процессом абразивной обработки с помощью СОТС / В.М. Шумячер, А.В. Славин // Новые химические технологии: производство и применение: сб. материалов Всерос. науч.-техн. конф. Пенза: ПДЗ, 1999. С. 89-91.
5. Славин А.В. Механохимические процессы взаимодействия абразивного инструмента и заготовки при шлифовании / А.В. Славин, В.М. Шумячер // Технология машиностроения. 2008. № 1. С. 29-33.
6. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Л.Н. Филимонов. Л.: Машиностроение, 1979. 248 с.
7. Прогрессивные методы абразивной обработки металлов / под ред. И.П. Захаренко. Киев: Техника, 1990. 152 с.
8. Голдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел / В. Голдсмит; пер. с англ. М.С. Лужиной и О.В. Лузина. М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. 448 с.
9. Томсон Э. Машиностроение / Э. Томсон, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. М.: Наука, 1968. 504 с.
10. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости / В. Новацкий. М.: Мир, 1970. 236 с.
11. Стихановский Б.Н. Механика удара: учеб. пособие / Б.Н. Стихановский. Омск: ОмскГТУ, 2002. 200 с.
12. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивость и флуктуации / П. Гленсдорф, И. Пригожин. М.: Мир, 1973. 280 с.
13. Пригожин И. Биологический порядок, структура неустойчивости / И. Пригожин, Ж. Николис // Успехи физических наук. 1973. Т. 3. С. 512-517.
14. Абразивная и алмазная обработка материалов / под ред. А.Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977. 384 с.
15. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов / А.К. Байкалов. Киев: Наукова думка, 1978. 207 с.
16. Шумячер В.М. Модель взаимодействия абразивного зерна и абразивного материала при шлифовании. Схема стружкообразования / В.М. Шумячер, А.В. Кадыльников // Технология машиностроения. 2007. № 4. С. 18-22.
17. Славин А.В. Управление процессом шлифования на основе моделирования механо-химических явлений в зоне обработки: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Славин. Саратов, 2000. 148 с.

**Славин Андрей Вячеславович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Технология обработки и производства  
материалов» Волжского института  
строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного  
архитектурно-строительного университета

**Slavin Andrey Vyacheslavovich** –  
Associate Professor of the Department  
of «Processing Technologies and Production  
of Materials» of Volga Institute  
of Building and Technology (branch)  
of Volgograd University of Building  
and Architecture

*Статья поступила в редакцию 28.04.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 621.922

**В.М. Шумячер, С.А. Крюков, А.В. Славин, А.И. Мироседи**

### **ИННОВАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА**

*Статья посвящена разработке инновационной методологии совершенствования абразивного инструмента, путем комбинирования механических, физических и химических способов воздействия на него.*

Абразивный инструмент, совершенствование комбинированным воздействием.

**V.M. Shumyacher, S.A. Kryukov, A.V. Slavin, A.I. Mirosemi**

### **INNOVATIVE TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF ABRASIVE TOOL ENHANCEMENT**

*This article is dedicated to the development of innovative methodologies for improving the abrasive tool by a combination of mechanical, chemical and physical influences on him.*

Abrasive tool, composite action enhancement.

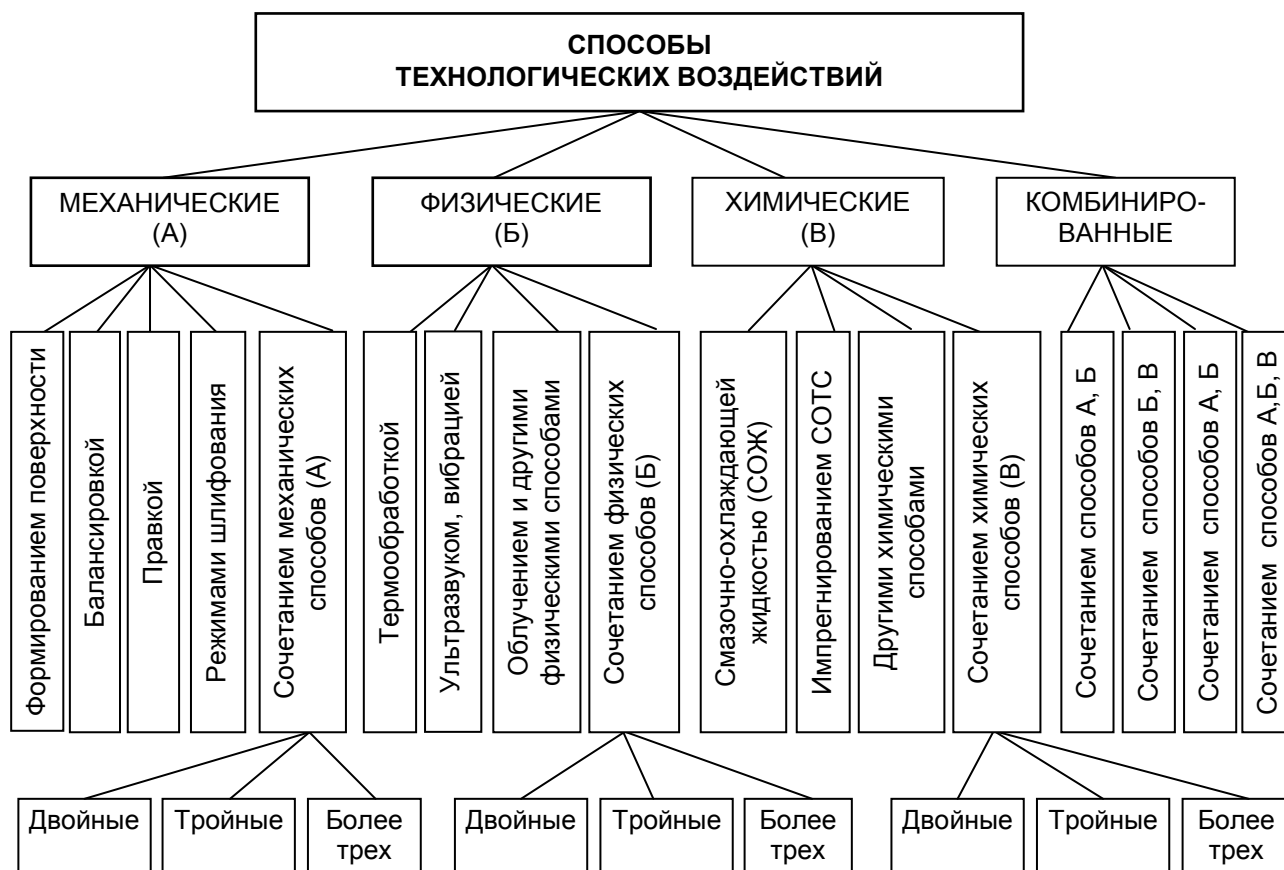
Неотъемлемой частью технологического обеспечения высокоэффективных свойств и показателей абразивного инструмента является проведение соответствующих инновационных мероприятий. Эти мероприятия включают формирование методологии и разработку моделей инновационных процессов. Теоретические наработки и практика совершенствования инструмента позволяют разработать соответствующую инновационную методологию, в основу которой входят методы последовательных приближений и компромиссной логики, систематизация и классификация всех нововведений в области производства инструмента и его эксплуатации, информатизация о совокупности возможных нововведений и степени их готовности к использованию, обоснованный и критический анализ результатов инноваций и планирование инновационных и экспериментальных мероприятий.

В основу модели инновационного процесса совершенствования инструмента входит изучение адаптивных свойств инструмента при воздействии внешней среды, а также эффективности нововведений и их влияния на функциональные свойства инструмента в целом.

Реализация инновационной методологии будет способствовать разработке конкретных технологических принципов совершенствования абразивного инструмента с целью повышения производительности и качества обработки машиностроительной продукции.

Основой инновационной методологии и моделей процессов явились теоретические положения работ по шлифованию и диспергированию материалов, физико-химической механике, молекулярной физике поверхностных сил и взаимодействий, физико-химическим основам смачивания, пропитывания и импрегнирования. Это позволило однозначно выявить причины изменчивости свойств и показателей инструмента и установить основные факторы, влияющие на эти изменения. Полученные результаты исследований явились основой для разработки инновационно-технологических принципов совершенствования свойств серийного инструмента при подготовке его непосредственно к работе или в период его изготовления на абразивных заводах. Для решения поставленной задачи, в первую очередь, необходимо рассмотреть известные способы воздействий на свойства инструмента или процесс шлифования, которые в той или иной мере повышают производительность и качество обработанной поверхности изделия. При этом сущность любого способа будем характеризовать законами и закономерностями тех процессов и явлений, которые используются в качестве средств воздействия на инструмент и на обрабатываемый материал.

Анализ и систематизация внешних воздействий, их комбинаций и сочетаний позволили разработать укрупненную классификацию способов воздействий для изменения функциональных свойств инструмента, которая представлена на рисунке.



Укрупненная классификация способов воздействий

Основными блоками этой классификации являются механические, физические, химические и комбинированные способы воздействия. Однако наибольший интерес представляет

блок комбинированных способов и их сочетаний. Это объясняется тем, что при сочетании двух или трех физических, механических или химических воздействий можно получить инновационно-технологические эффекты, обеспечивающие как создание новых качеств серийного абразивного инструмента, так и значительное повышение производительности и качества шлифованных изделий. Например, сочетание технологической подготовки инструмента к работе и применение СОЖ привело к интенсификации процесса шлифования, увеличению стойкости инструмента, устранению брака обработанных поверхностей в виде прижогов и других дефектов. В этом направлении сделаны лишь первые шаги и заложены большие возможности для создания новых, более эффективных способов управляющих воздействий.

При поиске и выборе рациональных сочетаний способов, представленных на рисунке, необходимо, в первую очередь, учитывать физико-химические и структурно-механические свойства абразивного инструмента и обрабатываемой поверхности изделия. Перечень совмещаемых воздействий, их режимы, последовательность действия следует подбирать таким образом, чтобы они взаимно активизировали друг друга. Число сочетаемых способов воздействий в каждом конкретном случае следует соотносить с техническими возможностями производства, экономической целесообразностью и экологической безопасностью.

Критериями правильности выбранного сочетания способов воздействий на абразивный инструмент должны служить достигаемые показатели качества и производительности процесса шлифования.

Рассмотрим решение задачи выбора рациональных сочетаний и последовательности действий технологических воздействий на примере совершенствования серийного абразивного инструмента на керамическом связующем с целью повышения его эксплуатационных свойств за счет термообработки и импрегнирования, т.е. совмещения физического и химического способов воздействия.

Следует отметить, что эти способы воздействия давно и широко известны [1, 2], но их применение для повышения эксплуатационных свойств абразивного инструмента в каждом случае осуществлялось отдельно.

Так, применение только импрегнирования инструмента технологическими средами (серой, смолой – шеллаком и др.) не позволяло получить качественную пропитку инструмента, особенно мелкозернистого, на что указывают сами авторы этого способа [3], рекомендуя процесс пропитки одного и того же инструмента повторять несколько раз. Неудовлетворительное качество и неравномерность пропитки инструмента объясняются тем, что абразивный инструмент во время его хранения подвержен адсорбции влаги и различным загрязнениям органического и неорганического происхождения. Все это приводит к уменьшению капиллярного всасывания поровым пространством инструмента и неудовлетворительному качеству его импрегнирования, что подтверждено исследованиями [4].

Известны также способы повышения эксплуатационных свойств абразивного инструмента на керамическом связующем за счет термообработки и закалки в холодной среде (жидком азоте, воде и др.) [1, 5]. Недостатком этого способа является невозможность полной и равномерной закалки инструмента, особенно шлифовальных кругов с большой высотой, так как охлаждающая жидкость, соприкасаясь с нагретыми поверхностями инструмента, имеющими температуру выше температуры кипения, мгновенно превращается в пар и образует паровые подушки в порах инструмента. Из-за этого жидкость не полностью пропитывает инструмент и происходит неравномерная закалка по высоте. Кроме того, паровые подушки из-за газообразных продуктов кипения препятствуют созданию внутри инструмента градиента температуры для закалки. Вероятно, поэтому авторы способа рекомендуют такую закалку производить многократно. Другим существенным недостатком этого процесса является непродолжительный период сохранения повышенной стойкости и режущей способности инструмента, приобретенных при закалке, из-за отсутствия защиты от воздействия окружающей среды на инструмент. За короткое время происходит адсорбционное понижение прочности абразивных зерен и связ-



ки инструмента согласно эффекту Ребиндера, а если использовать такой инструмент с водными СОЖ, то свойства, приобретенные за счет закалки инструмента, теряются практически мгновенно, что также подтверждено нашими исследованиями.

Таким образом, приведенные выше примеры показывают, что заложенные потенциальные возможности технологических воздействий (физических и химических способов) не полностью используются, если эти воздействия применяются раздельно, а не в комбинации и сочетаниях.

В связи с этим была поставлена задача подобрать последовательность действия совмещенных физико-химических воздействий и их режимы с учетом того, чтобы эти воздействия (термообработка и импрегнирование) дополняли и взаимно активизировали друг друга.

Последовательность действия совмещенных воздействий заключается в следующем. Первоначально термопрокалку инструмента проводят при температуре 450...500°C с выдержкой 20...30 мин в нагревательном устройстве, потом производят его закалку охлаждением на воздухе, а затем подвергают пропитыванию гидрофобным импрегнатором (расплавом серы) при равной температуре инструмента и импрегнатора [6].

Рассмотрим ниже, как выбранные технологические воздействия дополняют и взаимно активизируют друг друга. Как показали исследования, термическая обработка положительно влияет на механические свойства абразивного зерна и мостиков связки, но зона их контакта при этом может получить ослабление из-за термических напряжений. В то же время импрегнирование инструмента расплавом серы устраняет нежелательное действие термообработки, залечивая (цементируя) дефекты зоны контакта. В данном случае проявляется дополняющий друг друга эффект совмещения термообработки и импрегнирования.

При термопрокалке инструмента под воздействием повышенных температур происходит десорбция влаги и выгорание загрязняющих поверхность веществ, что активизирует процесс пропитывания инструмента импрегнатором за счет улучшения смачиваемости, повышения адгезии расплава серы и капиллярности черепка инструмента. Все это приводит к увеличению полноты и равномерности пропитывания инструмента импрегнатором (улучшаются его качественные показатели), а за счет активизации процесса пропитывания повышается производительность этого процесса.

Следует также отметить, что предлагаемая последовательность действия воздействий и их режимов приводит и к другим положительным эффектам. Так, закалка инструмента на воздухе, повышая прочность и самозатачиваемость абразивных зерен, не требует введения дополнительной операции по сушке инструмента, как это было бы при закалке в воде или другой охлаждающей жидкости. Кроме того, охлаждающая среда – воздух свободно проникает в поровое пространство инструмента. Это приводит к полной и равномерной закалке инструмента по всему его объему независимо от его высоты.

Охлаждение инструмента перед пропиткой до температуры технологической среды – импрегнатора устраняет нежелательные факторы, препятствующие свободному проникновению его в поры инструмента, которые могут возникнуть, если инструмент будет иметь температуру выше или ниже, чем раствор или расплав импрегнатора. Например, расплав серы имеет наименьшую вязкость при температуре в пределах 145...150°C. С повышением или понижением температуры от этого предела вязкость серы быстро повышается, что скажется на качестве пропитывания инструмента.

Использование импрегнатора, обладающего гидрофобными свойствами, при пропитывании закаленного абразивного инструмента позволяет защитить поверхности зерна и порового пространства от воздействия окружающей среды, особенно от влаги, и сохранить на длительное время приобретенные инструментом новые качества. Одновременно с этим полно и равномерно закаленный и пропитанный инструмент будет иметь постоянные показатели процесса шлифования, что скажется и на улучшении качества поверхности шлифованного изделия. Кроме того, такой инструмент, пропитанный гидрофобным импрегнатором, можно

применять с водными СОЖ вместо керосиново-масляных, что значительно уменьшит стоимость и повысит экологичность шлифования.

Испытание серийных кругов ПП 250×25×75 25A16CM26K5, импрегнированных по инновационной технологии, в производственных условиях ВПЗ-15 при шлифовании колец подшипников показало, что коэффициент шлифования таких кругов увеличивается в 1,4-1,5 раза, режущая способность – в 1,2-1,3 раза, скорость изнашивания кругов снижается в 1,2 раза, шероховатость поверхности (Ra) уменьшается примерно в 1,3 раза по сравнению с кругами, импрегнированными по заводской технологии.

Как видим, разработанная классификация способов воздействий на абразивный инструмент, инновационная методология комбинирования и совмещения этих способов между собой, установление критерия правильности выбранного их сочетания позволяют создавать новые эффективные способы повышения эксплуатационных свойств серийного абразивного инструмента применительно к требованиям и условиям конкретного производства.

Кроме того, разработанные инновационно-технологические принципы совершенствования абразивных инструментов позволяют выбирать наиболее рациональные способы и технологии регуляции и стабилизации свойств и показателей инструментов. Ниже приведены практические примеры такого выбора.

Известно, что применение высокопористых абразивных инструментов позволяет во многих случаях значительно повысить эффективность технологического процесса шлифования. Однако такие инструменты обладают существенным недостатком – низкой прочностью черепка. Для устранения этого недостатка можно использовать следующие инновационные способы и технологии модифицирования инструментов. Нововведение заключается в том, что изготовленный высокопористый инструмент подвергается импрегнированию такими растворами или расплавами, которые при взаимодействии с черепком инструмента образуют дополнительный упрочняющий каркас. В качестве импрегнаторов можно использовать жидкое стекло, серу и др.

Второй инновационный способ предусматривает при изготовлении инструмента использование абразивного зерна с оптимальным фракционным составом, включающим зерна как основного размера, так и мелкой фракции в определенном объемном соотношении с основной фракцией. Эффект применения такого наполнителя заключается в том, что зерна более мелкой фракции, находясь внутри черепка инструмента, выполняют роль упорядочивающих и армирующих частиц, а при выходе на поверхность абразивного инструмента выкрашиваются с образованием поверхностной поры. Такой абразивный инструмент будет обладать более высокой прочностью и большей однородностью структуры по сравнению с инструментом, изготовленным по существующей технологии. Для расчета размера и количества зерен мелкой фракции разработана и экспериментально подтверждена стохастическая модель пористого черепка абразивного инструмента [7].

Третий способ основан на запатентованном нами техническом решении [8]. Сущность решения заключается в том, что при изготовлении высокопористого инструмента, вместо выгорающих наполнителей используются наполнители, выполненные из абразивного и огнеупорного материала, который в свою очередь адгезионно-инертен к керамической связке. Например, при изготовлении электрокорундового инструмента в качестве материала частиц наполнителя могут использоваться: карбид бора, карбид кремния и др. При этом частицы наполнителя должны иметь равный размер и одинаковую форму с абразивными зёрнами. Это позволяет получать равномерное перемешивание абразивной массы при изготовлении инструмента, обеспечивая однородность его структуры и качество, а во время обжига инструмента отсутствует процесс образования дополнительных пор в теле его черепка, как в случаях, когда вводятся выгорающие наполнители. За счет этого повышается прочность черепка инструмента.

Выполнение частиц наполнителя из адгезионно-инертного материала к керамической связке позволяет увеличивать поровое пространство между абразивными зернами на рабочей поверхности инструмента во время шлифования за счет вырывания слабо закрепленных частиц наполнителя при незначительных нагрузках. Кроме того, абразивные частицы наполнителя при выравнивании производят дополнительное резание поверхности детали, а после их удаления с поверхности инструмента, образовавшиеся за счет этого поры между абразивными зернами, способствуют лучшему расположению стружки, снижению засаливания и увеличению стойкости и производительности инструмента. Предлагаемый инструмент позволяет создавать в процессе шлифования рабочую поверхность, подобную рабочей поверхности высокопористого инструмента при сохранении прочности черепка исходного инструмента заданной структуры.

Испытания опытных образцов предлагаемых инструментов показывают, что режущая способность шлифовальных кругов увеличивается в 1,5-1,8 раза, скорость изнашивания снижается в 1,2-1,5 раза, стойкость кругов повышается в 1,5-2,0 раза по сравнению со стандартными кругами таких же структур и марок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коломазин В.М. Выбор охлаждающей среды и температуры закалки для специальной термической обработки абразивного инструмента на керамической связке / В.М. Коломазин // Абразивы. 1975. № 5. С. 28-31.
2. Импрегнирование шлифовальных кругов: реф. обзор Волжского ф-ла ВНИИАШ. Волжский, 1982. 45 с.
3. А.с. № 366963 СССР. Способ повышения эксплуатационных свойств абразивного инструмента / В.П. Островский, Д.Д. Ушаков.
4. Крюков С.А. Совершенствование процесса шлифования путем стабилизации структурно-механических свойств абразивного инструмента: дис. ... канд. техн. наук / С.А. Крюков. Волжский, 2000. 145 с.
5. Коломазин В.М. Исследование процесса шлифования труднообрабатываемых материалов абразивным инструментом, обработанным глубоким холодом / В.М. Коломазин, Д.Ф. Шпотаковский // Тр. ВНИИАШ. 1973. № 14. С. 3-7.
6. Патент на изобретение № 2164857 В24 ДЗ/34, 3/14, 2001 г. Способ повышения эксплуатационных свойств абразивного инструмента / В.М. Шумячер, В.И. Анохин, С.А. Крюков.
7. Мироседи А.И. Повышение эффективности шлифования путем совершенствования структуры инструмента с учетом результатов стохастического моделирования: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Мироседи. Волжский, 2007. 158 с.
8. Патент на изобретение № 2215643 В24 ДЗ/18, 2003 г. Абразивный инструмент / В.М. Шумячер, В.А. Назаренко, С.А. Крюков, И.В. Дуличенко.

**Шумячер Вячеслав Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология обработки и производства материалов», директор Волжского института строительства и технологий (филиала) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Shumyacher Vyacheslav Mikhailovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Processing Technologies and Production of Materials», Head of Volga Institute of Building and Technology (branch) of Volgograd University of Building and Architecture

**Крюков Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры

**Kryukov Sergey Anatoliyevich** – Candidate of Technical Sciences,

«Технология машиностроения и стандартизация» Волжского института строительства и технологий (филиала) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

Associate Professor  
of the Department of «Technology of mechanical engineering and standardization» of Volga Institute of Civil Engineering and Technologies (branch) of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

**Славин Андрей Вячеславович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология обработки и производства материалов» Волжского института строительства и технологий (филиала) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Slavin Andrey Vyacheslavovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Technology of mechanical engineering and standardization» of Volga Institute of Civil Engineering and Technologies (branch) of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

**Мироседи Александр Ильич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология обработки и производства материалов» Волжского института строительства и технологий (филиала) Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Mirosemi aleksandr ilyich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Processing Technologies and Production of Materials» of Volga Institute of Building and Technology (branch) of Volgograd University of Building and Architecture

*Статья поступила в редакцию 03.02.10, принята к опубликованию 23.09.10*

---

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 621.9.048.7

**Н.В. Бекренев, А.П. Петровский, Т.Ю. Чиндыкова**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ (постановка задачи)**

*Рассмотрены проблемы расчета и конструирования шпиндельных узлов, волноводов и концентраторов (трансформаторов скорости) ультразвукового технологического оборудования различного назначения, связанные с особенностями распространения ультразвуковых колебаний в стержневых системах и возникновением напряжений в их материалах при высокочастотных знакопеременных нагрузках. Сформулирован общий подход к конструированию ультразвуковых колебательных систем на основе 3D-моделирования с учетом особенностей технологических процессов.*

Волноводы, концентраторы, ультразвуковые колебания, напряжения, ультразвуковая обработка.

**N.V. Bekrenev, A.P. Petrovskiy, T.Yu. Chindykova**

### **DESIGN OPTIMIZATION OF SPEED TRANSFORMERS OF ULTRASONIC EQUIPMENT ON THE BASIS OF 3D-MODELING (Problem Definition)**

*Calculation problems and spindle units design, wave guides and concentrators (speed transformers) ultrasonic process equipment for the various purposes, distributions of ultrasonic vibrations dealing with the peculiarities of rod systems and the occurrence of pressure in their materials were considered at high-frequency sign-variable loadings. General approach to ultrasonic oscillatory systems design on the basis of 3-D modeling taking into consideration the peculiarities of technological processes is formulated.*

Wave guides, concentrators, ultrasonic vibrations, pressure, ultrasonic processing, processing.

Развитие современной техники, создание перспективных транспортных систем, двигателей, оборудования для энергетики и химической промышленности, а также приборо- и агрегатостроение невозможны без применения новых материалов, обладающих комплексом

заданных по условиям эксплуатации характеристик. Поэтому для современного производства характерно бурное развитие процессов создания композиционных материалов, жаростойких и жаропрочных сплавов, триботехнических материалов, наноматериалов, различных функциональных покрытий, обеспечивающих заданные свойства поверхности [1]. Однако большинство новых конструкционных материалов, обладая уникальными эксплуатационными характеристиками, как правило, являются труднообрабатываемыми, что стимулирует разработку и развитие специальных электрофизических и комбинированных методов формообразования. Одним из таких методов является ультразвуковая обработка, охватывающая самый широкий круг технологий в различных областях науки и техники: от машиностроения и микроэлектроники до биологии, медицины и бытовой техники [2, 3].

Наибольшее развитие промышленное применение ультразвуковых методов получило в нашей стране в 60-х – 80-х годах прошлого века, когда трудами Л.Д. Розенберга, А.И. Маркова, В.Ф. Казанцева, М.С. Нерубая, Б.А. Аграната и других отечественных ученых были заложены научные основы физики мощного ультразвука, процессов размерной обработки, комбинированного резания, сварки, очистки, дегазации расплавов, интенсификации металлургических процессов и другие.

В это же время в отраслевых НИИ станкостроительной, авиационной, автомобильной и судостроительной промышленности были созданы инженерные методики расчета ультразвуковых излучателей и инструментов, образцы технологического оборудования [3-6]. В последние годы разработаны образцы ультразвуковых установок для условий малых предприятий и бытового назначения [7], а также созданы многооперационные обрабатывающие центры с компьютерным управлением процессом [3]. Все многообразие ультразвукового оборудования может быть классифицировано следующим образом (рис. 1).

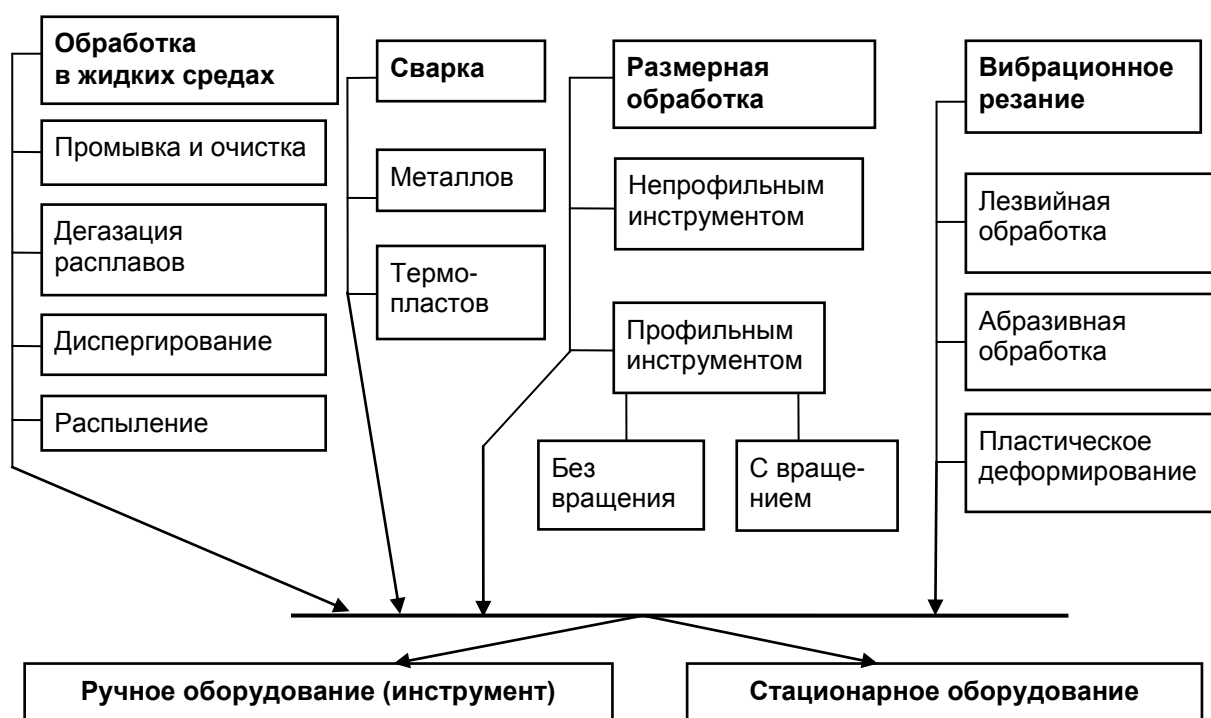


Рис. 1. Технологическое применение ультразвука

Основным функциональным элементом разнообразного оборудования, осуществляющего процессы обработки, представленные на рис. 1, является колебательная система, осуществляющая преобразование электрических сигналов ультразвукового генератора в меха-

нические колебания. В большинстве современных технологических установок, за исключением особо мощных систем для работы в жидких средах, применяются колебательные системы на основе пьезокерамических элементов. Они состоят из собственно пьезокерамического преобразователя в виде одной или нескольких (в зависимости от конструкции) пар колец, волновода (активной частотопонижающей накладки), отражателя (пассивной накладки), стягивающей шпильки или болта, концентратора (трансформатора скорости) [3].

К концентратору при помощи сварки, резьбового соединения или цангового зажима крепится инструмент. Колебательные системы различаются по конструктивным особенностям в зависимости от назначения оборудования (рис. 2).

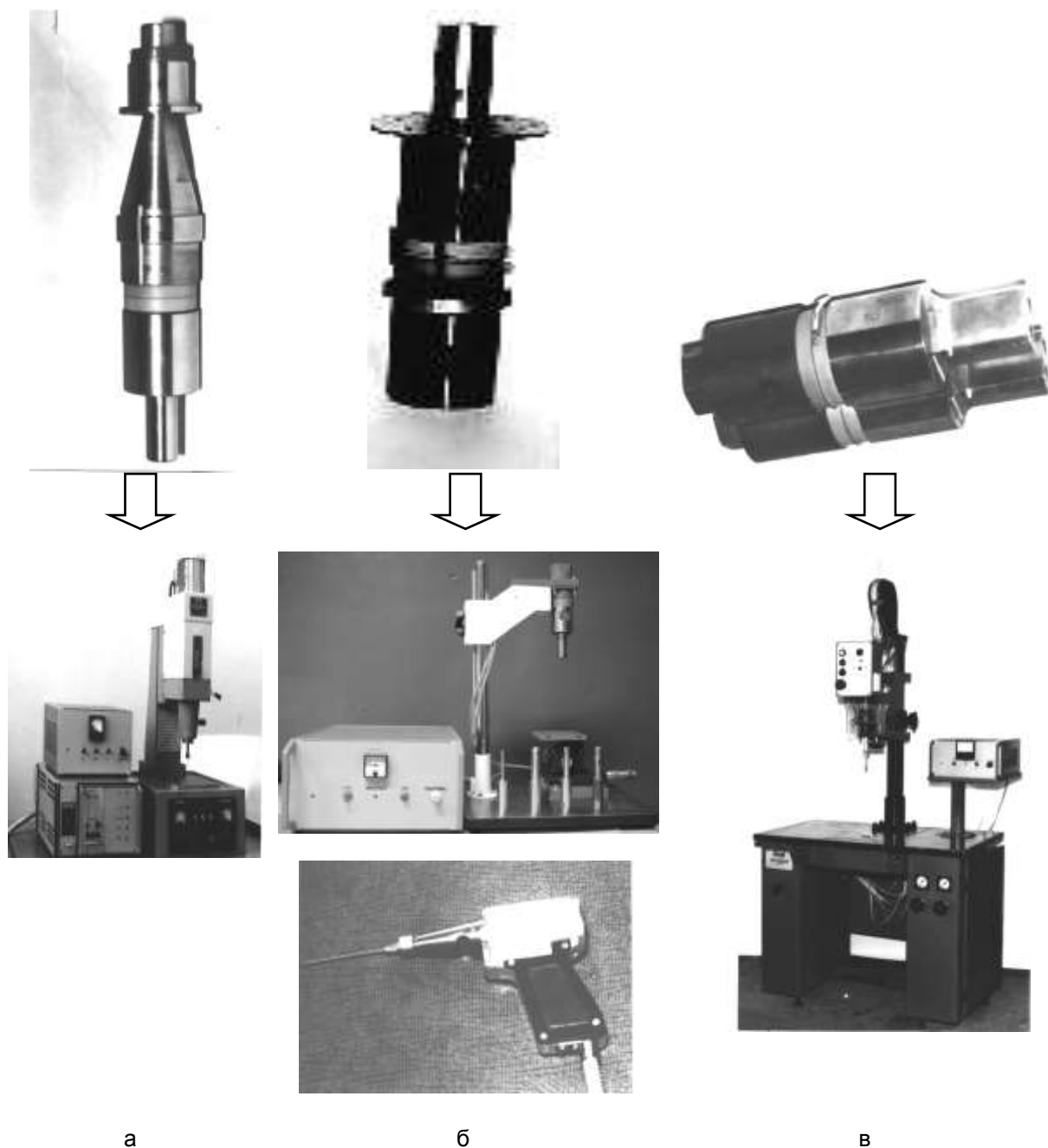


Рис. 2. Колебательные системы ультразвукового оборудования:  
 а – вращающийся шпиндель-преобразователь станка для ультразвукового резания;  
 б – преобразователь станков для размерной обработки и ручного инструмента;  
 в – многопозиционный преобразователь ультразвуковых прессов и сварочных установок

Длина колебательной системы кратна длине волны ультразвуковых колебаний в данном материале при данной их частоте. При этом узлы крепления системы должны располагаться в узлах колебаний или в непосредственной близости к ним, чтобы исключить распространение волны на корпус установки, присоединенная масса которой может вызвать недопустимое снижение амплитуды или гашение колебаний. Крепление может обеспечиваться фланцами минимально допустимой толщины для неподвижных систем (рис. 2 б) или имеет весьма сложную конструкцию в случае вращающихся шпинделей преобразователей (рис. 2 а, 3). Такая конструкция необходима для размещения подшипников и исключения распространения на них ультразвуковых колебаний. Ее характеризует крайняя технологичность.

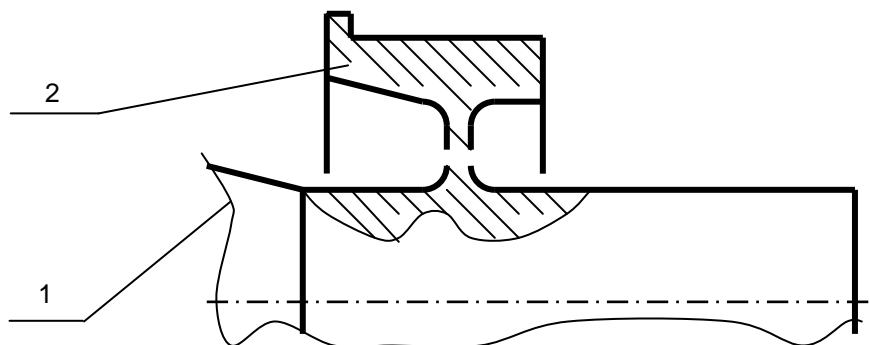


Рис. 3. Подшипниковый узел ультразвукового шпинделя-преобразователя:  
1 – шпиндель преобразователя; 2 – посадочное место под подшипник

При этом при конструировании учитывают наличие в узлах колебаний максимумов внутренних напряжений, вызванных действием статических, динамических и высокочастотных знакопеременных нагрузок. Поэтому излишне тонкий фланец приводит к снижению надежности крепления колебательной системы в случае ее применения в силовых установках (сварка, обработка давлением) или с длительным временем непрерывной работы (очистка, дегазация). Следует также учитывать, что в зависимости от назначения ультразвукового оборудования и других подобных устройств колебательные системы выполняются одно- или двухполуволновой длины, что сказывается на положении пучностей и узлов амплитуд смещений и напряжений (рис. 4). Оптимизация параметров узлов крепления колебательных систем применительно к ультразвуковым установкам различного технологического назначения до настоящего времени производилась опытным путем уже после изготовления, что увеличивало трудоемкость и не позволяло заранее выбрать необходимый тип системы.

В ультразвуковой технике большое значение имеет использование между колебательной системой и инструментом концентраторов колебаний, или трансформаторов скорости, которые предназначены для увеличения амплитуды колебаний последнего. Это связано с тем, что пьезо-керамика, которая используется в большинстве современных преобразователей, обеспечивает весьма малые амплитуды порядка 2-3 мкм, что недостаточно для большинства технологических процессов, особенно для сварки, обработки давлением и размерной обработки. Конструкция трансформаторов скорости может быть сведена к четырем основным типам (рис. 5), которые характеризуются различным коэффициентом усиления амплитуды колебаний, размещением пучности напряжений и их величиной. В целом эффективность усиления амплитуды колебаний определяется отношением площадей входного и выходного торцев трансформатора, однако при больших величинах этого отношения работа трансформатора теряет устойчивость, что сказывается на его долговечности и производительности процесса [3, 8]. Зависимость устойчивости трансформаторов скорости различных типов к внешней нагрузке и коэффициента усиления также неодинакова. Однако теоретически установить эту зависимость для выбора оптимальной



конструкции для конкретного технологического процесса весьма сложно, из-за громоздкости расчетов и необходимости применения большого количества эмпирических коэффициентов, определяемых по номограммам. Обычно на базе производственного опыта и по критерию технологичности в ультразвуковом оборудовании применяют конические или ступенчатые концентраторы [3], выполненные из титановых или алюминиевых сплавов (реже из стали), что не всегда дает наилучшие результаты.

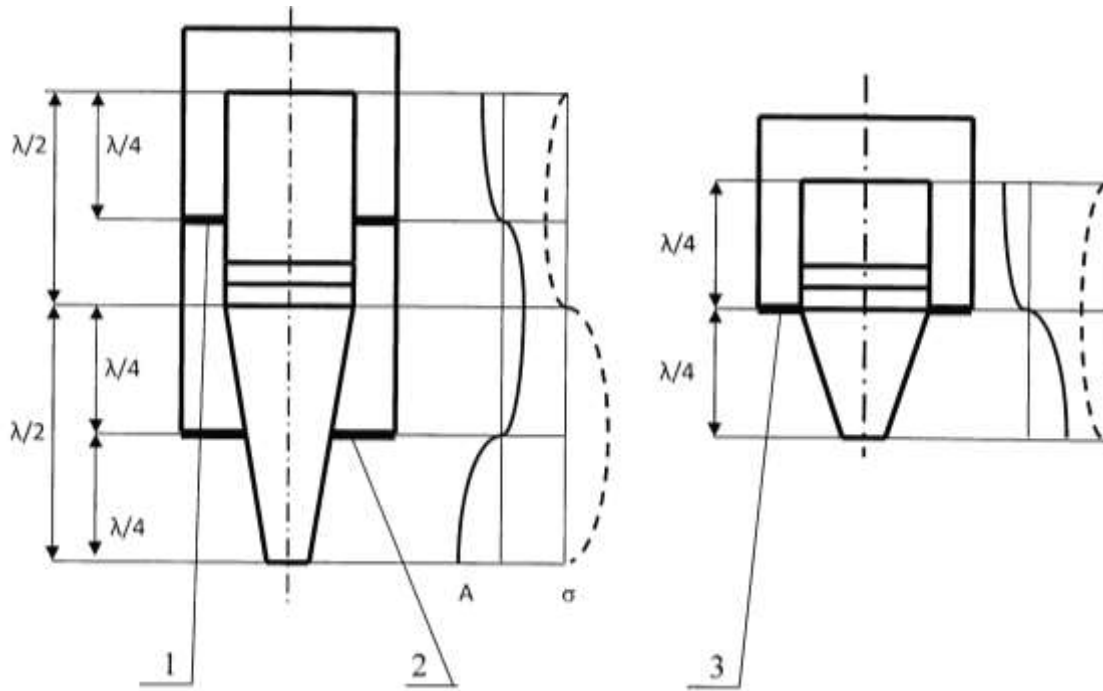


Рис. 4. Распределение амплитуд смещения  $A$  и напряжений  $\sigma$  в двухполуволновой и полуволновой колебательной системах

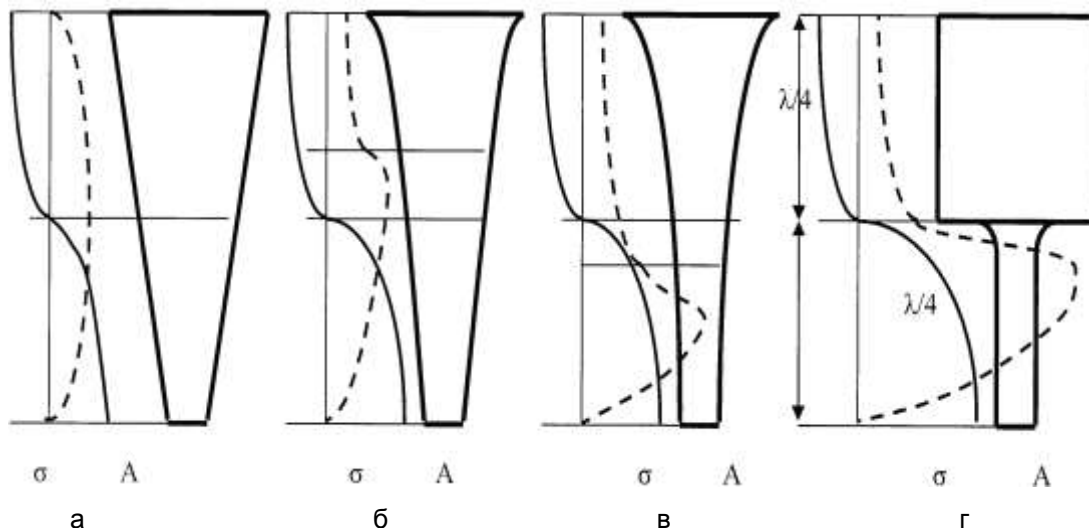


Рис. 5. Распределение амплитуд смещений и напряжений в трансформаторах скорости: а – коническом; б – экспоненциальном; в – катеноидальном; г – ступенчатом

Таким образом, учитывая разнообразие ультразвуковых технологических процессов и их параметров, для повышения эффективности и качества обработки целесообразно приме-

нять колебательные системы и трансформаторы скорости со вполне определенными конструктивными характеристиками, которые должны находиться на стадии проектирования.

В настоящее время существует ряд программных продуктов, позволяющих выполнять расчеты методом конечно-элементного анализа сложнапряженных состояний различных технических систем в зависимости от их конструктивных особенностей и условий функционирования. Нам представляется целесообразным применить одну из таких систем (APM Win Machine) для изучения распределения деформаций и напряжений в ультразвуковых системах для их оптимального выбора по критериям максимального увеличения амплитуды, минимальных амплитуд напряжений и минимальных их градиентов. При этом разработка конструкций ультразвуковых колебательных систем и трансформаторов скорости может осуществляться в следующей последовательности:

- изучение требований к детали и материалу;
- выбор технологического процесса из базы данных;
- выбор (назначение) режимов обработки ( $A$ ,  $P_{CT}$ ,  $P_{\delta}$ ,  $V$ ,  $f$  и др.);
- выбор типа колебательной системы и трансформатора скорости;
- разработка чертежей;
- разработка 3D-модели колебательной системы и трансформатора скорости;
- трансляция модели в APM Win Machine;
- моделирование напряженно-деформированного состояния конструкции при данных условиях обработки;
- определение  $\sigma_{\max i}$  для каждого варианта конструкции.

Если все типы конструкций рассмотрены, то осуществляется выбор конструкции с  $\min$  значением  $\sigma_{\max i}$  и заданным значением  $A$ .

### Выводы

1. Анализ тенденций развития машино- и приборостроения позволяет отметить увеличение внимания к применению в конструкциях перспективных изделий новых материалов с определенным комплексом свойств, определяющих функциональные характеристики деталей и машин в целом. При этом материалы со специальными свойствами, как правило, трудно поддаются традиционным методам обработки.

2. Среди способов повышения эффективности формообразования труднообрабатываемых материалов можно выделить ультразвуковые процессы, которые отличаются универсальностью и сравнительно малой энергоемкостью.

3. При разработке колебательных систем ультразвукового технологического оборудования остается не решенным вопрос оптимизации их конструкции на стадии проектирования применительно к условиям конкретного процесса по критериям заданной амплитуды колебаний и минимизации внутренних напряжений, а также повышения акустической устойчивости, что снижает эффективность ультразвуковых технологий и установок.

4. Решить вопрос выбора оптимальной конструкции колебательной системы и трансформатора скорости в каждом конкретном случае обработки можно на основе их 3D-моделирования и применения конечно-элементного анализа вариантов в среде APM Win Machine.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Материаловедение и технология металлов: учебник для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюшин и др.; под ред. Г.П. Фетисова; 6-е изд., доп. М.: Высшая школа, 2008. 877 с.

2. Бекренев Н.В. Ультразвуковые процессы и аппараты в биологии и медицине: учеб. пособие / Н.В. Бекренев, О.В. Захаров, Д.В. Трофимов. Саратов: СГТУ, 2005. 121 с.

3. Бржозовский Б.М. Ультразвуковые технологические процессы и оборудование в машино- и приборостроении / Б.М. Бржозовский, Н.В. Бекренев. Саратов: СГТУ, 2009. 348 с.

4. Агранат Б.А. Ультразвук в порошковой металлургии / Б.А. Агранат. М.: Металлургия, 1988. 150 с.
5. Волосатов В.А. Ультразвуковая обработка / В.А. Волосатов. Л.: Лениздат, 1973. 248 с.
6. Бекренев Н.В. Подготовка поверхности титановых имплантатов под плазменное напыление ультразвуковым микрорезанием / Н.В. Бекренев, А.В. Лясникова, С.В. Приходько // Современные проблемы имплантологии: сб. докл. 7-й Междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2004. С. 46-54.
7. Хмелев В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве / В.Н. Хмелев, О.В. Попова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. 160 с.
8. Бекренев Н.В. Ультразвуковая абразивно-струйная подготовка поверхности под электроплазменное напыление биопокрытий дентальных имплантатов / Н.В. Бекренев, А.В. Лясникова, С.В. Приходько // Технология металлов. 2005. № 11. С. 39-43.

**Бекренев Николай Валерьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория механизмов и детали машин» Саратовского государственного технического университета

**Bekrenev Nikolay Valeriyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «The Theory of Mechanisms and Details of Machines» of Saratov State Technical University

**Петровский Алексей Петрович** – аспирант кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» Саратовского государственного технического университета

**Petrovskiy Aleksey Petrovich** – Post-graduate Student of the Department of «Metallurgy and Highly Effective Processes of Processing» of Saratov State Technical University

**Чиндыкова Татьяна Юрьевна** – магистр кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета

**Chindykova Tatiyana Yuriyevna** – Magister of the Department of «Technical Cybernetics and Computer Science» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 24.07.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 651-357

**Н.В. Горбачёв, Е.Ю. Горбачёва, Н.Д. Соловьева, В.В. Краснов, Ф.С. Федоров**

### **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВИНЦОВОГО ПОКРЫТИЯ**

*Установлено, что электрохимические характеристики электролитически осажденного свинца зависят от условий предварительной обработки поверхности. Согласно атомно-силовой микроскопии, свинец, нанесенный на предварительно оксидированную стальную поверхность, равномерно рас-*

*пределен по поверхности электрода, имеет стабильные электрохимические характеристики в растворе  $HClO_4$  в широком температурном интервале.*

Потенциал, время активации, анодная поляризация, электроосаждение, гальванический свинец, сталь, оксидирование, электролит, хлорная кислота, морфология поверхности.

**N.V. Gorbachev, E.Yu. Gorbacheva, N.D. Solovieva, V.V. Krasnov, F.S. Fedorov**

## **SURFACE PRETREATMENT INFLUENCE ON LEAD COATINGS ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS**

*It was established that electrochemical characteristics of electrically deposited lead depend upon the conditions of surface pretreatment. According to the atomic-force microscopy, lead, superimposed on preliminary oxidized steel surface, is uniformly distributed on the electrode surface and has stable electrochemical characteristics in solution  $HClO_4$  within a wide temperature range.*

Potential, activation time, anodic polarization, electrodeposition, electrodeposited lead, steel, oxidation, electrolyte, perchloric acid, morphology surface.

Свинцовые покрытия, используемые в качестве электродного материала в резервных химических источниках тока, полученные электролитическим осаждением, должны иметь стабильные электрохимические характеристики (потенциал электрода без тока, потенциал электрода при анодной поляризации) в широком диапазоне температур. Значения указанных характеристик напрямую зависят от качества гальванически осажденного свинца, которое определяется составом электролита, режимом электролиза, материалом подложки.

Целью данной работы явилось изучение электрохимической активности электроосажденного свинца в растворе хлорной кислоты в диапазоне температур от + 55°C до – 30°C во взаимосвязи с морфологией поверхности свинцового покрытия.

Ранее проделанные работы по изучению влияния состава электролита свинцевания на качество электролитически осажденного свинца на стальную основу (сталь 08 КПП ГОСТ 503-81) показали возможность получения равномерного, блестящего покрытия, обладающего адгезией, соответствующей ГОСТ 93 302-88, из борфтористоводородного электролита (БФВЭ) состава:  $Pb(BF_4)_2$  120 г/л +  $HBF_4$  30 г/л +  $H_3BO_3$  13.3 г/л + столярный клей 0,2 г/л [1, 2, 3]. Поэтому для изучения морфологии поверхности гальванического осадка и его электрохимических характеристик использовался свинец, электроосажденный из электролита указанного состава при  $i_k = 1$  А/дм<sup>2</sup> и  $t = 25^\circ C$ . Осаждение проводилось на сталь, предварительно подвергнутую электрохимическому оксидированию в щелочном электролите состава: КОН 550 г/л +  $NaNO_3$  125 г/л (вариант 1) или химической обработке в растворе  $H_2SO_4$  ( $d = 1,4$  г/см<sup>3</sup>) (вариант 2).

Снятие бестоковых потенциалов и гальваностатических кривых проводилось на потенциостатах марки Эл-02.082, Р-30 S с автоматической записью на компьютере до полного израсходования активного реагента или в течение 180 секунд в диапазоне температур от +55°C до –30°C. Измерение потенциала свинцового электрода проводилось относительно хлорсеребряного электрода сравнения (х.с.э.с.). Температура электролита от +25°C до +55°C поддерживалась с помощью термостата U-10, для нулевой и отрицательных температур использовался микрохолодильник термоэлектрический лабораторный типа ТЛМ. Точность поддержания температуры составляла 0,5-1°C. Изучение морфологии поверхности электро-

осажденного свинца проводилось на атомно-силовом микроскопе Nanoeducator фирмы NT-MDT. Сканирование каждого образца осуществлялось приблизительно в течение 45 мин. Скорость сканирования для разрешения  $50 \times 50$  мкм равнялась 5 и 6 мкм/с соответственно для прямого и обратного хода сканирования. При разрешении  $10 \times 10$  мкм прямая и обратная скорость равна 0,8 и 0,2 мкм/с соответственно.

Изменение во времени бестокового потенциала свинцового электрода (время активации), полученного электролитически из БФВЭ на стальной подложке, предварительно подготовленной по технологическим вариантам № 1 и № 2, представлено на рис. 1. Время активации Pb электрода увеличивается с понижением температуры и практически не зависит от способа предварительной подготовки поверхности исходного стального образца. Влияние температуры на время активации электрода может быть связано с замедлением удаления с поверхности свинцового электрода оксидных слоев, образовавшихся на поверхности в процессе хранения электродов на воздухе. Смещение потенциалов в отрицательную сторону, вероятно, связано с адсорбцией на поверхности электрода перхлорат-ионов и образованием растворимой соли свинца. При этом адсорбционная способность перхлорат-ионов зависит от температуры электролита; возрастает с понижением температуры.

При анодной поляризации свинцового электрода с увеличением температуры на гальваностатических кривых появляются площадки потенциалов, причем при  $55^\circ\text{C}$  они наиболее выражены, что свидетельствует об увеличении скорости анодного растворения свинца, быстром накоплении продуктов реакции на поверхности и пассивируемости электрода (рис. 2 а). По истечении 70 с потенциал Pb электрода при  $t = 55^\circ\text{C}$  становится равным потенциалу при  $25^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ .

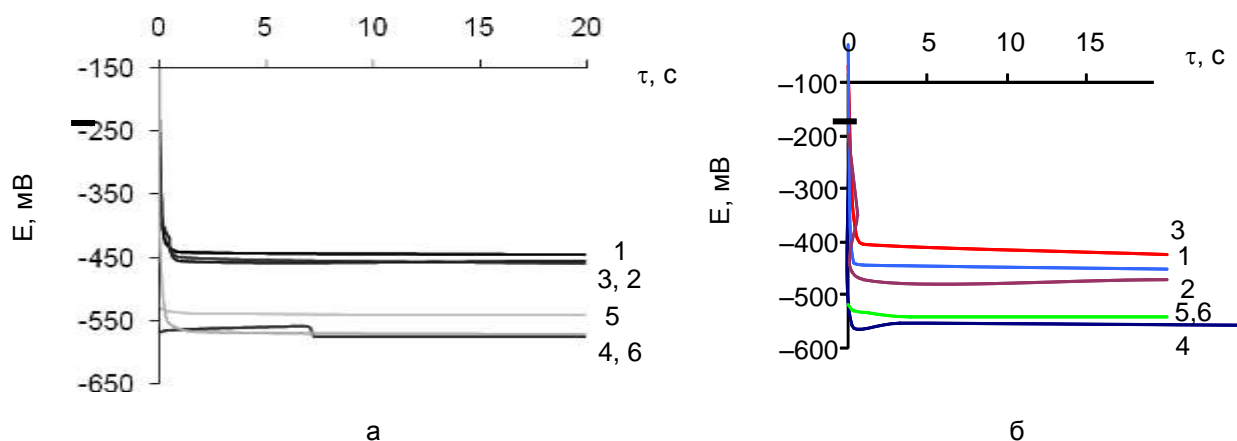


Рис. 1. Бестоковый потенциал свинцового электрода в  $\text{HClO}_4$  при  $t$ ,  $^\circ\text{C}$ :  
1 – 55; 2 – 35; 3 – 25; 4 – 0; 5 – –15; 6 – –30. Электрохимическое нанесение Pb проводилось на стальную подложку, обработанную: а – по варианту № 1; б – по варианту № 2. Толщина покрытия 30 мкм

Снижение температуры более  $0^\circ\text{C}$  приводит к пассивации электрода в начальное время поляризации (максимальное время 50 с). Затем наблюдается смещение потенциала в область электроотрицательных значений. Высокие электроотрицательные потенциалы могут быть следствием того, что в анодном процессе начинает принимать участие материал подложки (сталь). Причем в случае электродного материала с предварительной обработкой стали по технологическому варианту № 2 определяющим условием изменения потенциала, вероятно, является пористость свинцового покрытия. Изучение морфологии поверхности электроосажденного свинца позволило установить зависимость распределения гальванического осадка свинца в зависимости от предварительной обработки стали. После механической обработки стальной поверхности и обезжиривания на ней остаются царапины.

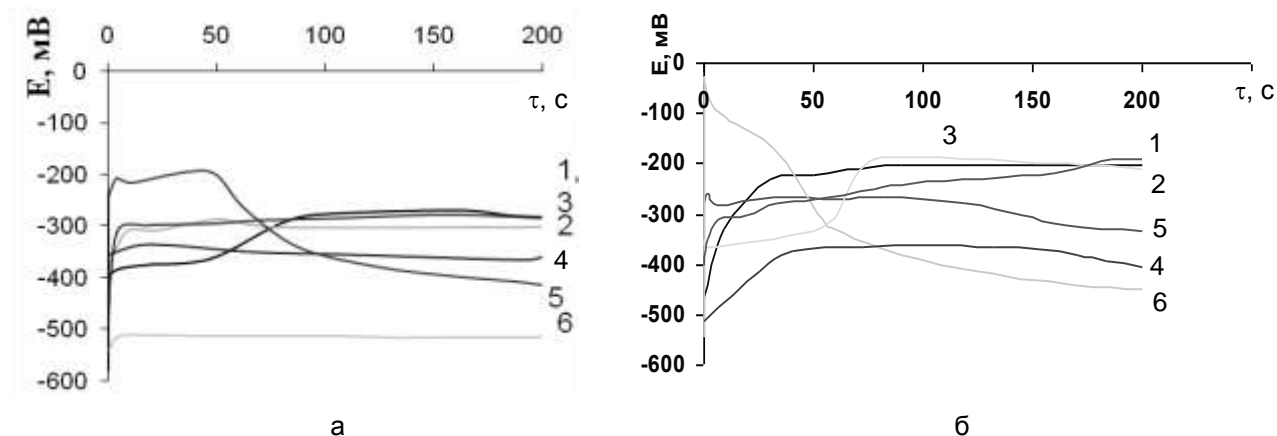


Рис. 2.  $E, \tau$  кривые свинцового электрода в  $\text{HClO}_4$  при поляризации  $I = 60 \text{ mA/cm}^2$  и различных температурах,  $^{\circ}\text{C}$ : 1 – 55; 2 – 35; 3 – 25; 4 – 0; 5 – -15; 6 – 30. Электрохимическое нанесение  $\text{Pb}$  проводилось на стальную подложку, обработанную: а – по варианту № 1; б – по варианту № 2

Последующая обработка в растворе серной кислоты и щелочном электролите изменяет состояние поверхности (рис. 3 б, в): в серной кислоте произошло вытравливание стальной поверхности (рис. 3 б), стальная поверхность после электрохимического оксидирования приобрела темный матовый оттенок за счет образования оксидной пленки (рис. 3 в).

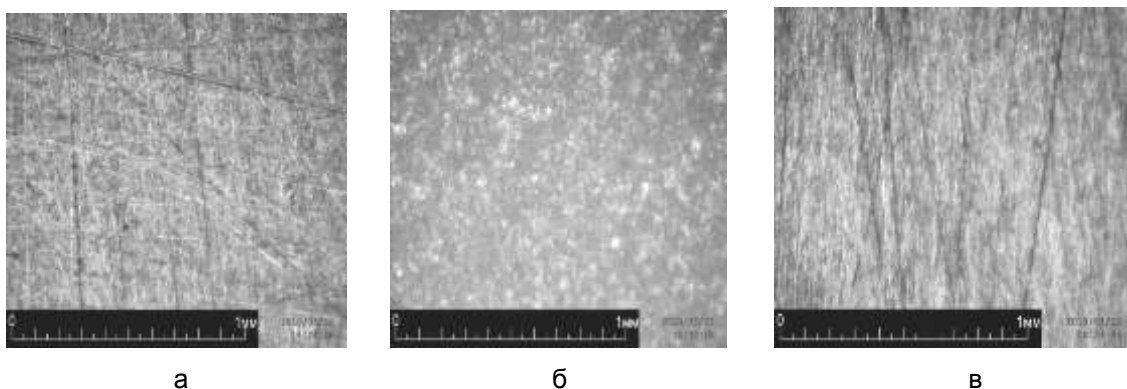


Рис. 3. Оптическая микроскопия: а – зачищенная сталь; б – стальной образец, обработанный по варианту № 2; в – сталь, обработанная по варианту № 1

За счет химического травления стали на ее поверхности образуется множество энергетически выгодных центров для осаждения атомов свинца, вследствие этого свинец покрывает поверхность стали неравномерно, образуя шероховатую поверхность (рис. 4 а, 5 а).

При обработке по варианту № 1 (рис. 4 б) оксидная пленка повторяет профиль поверхности стали. На снимке отчетливо прослеживаются следы механической зачистки. Электролитически осажденный свинец на такую поверхность преимущественно повторяет профиль поверхности основы, что гарантирует равномерность толщины свинцового покрытия и, как следствие, стабильность электрохимических характеристик электрода (рис. 5 б).

Изучение морфологии поверхности исследуемых образцов с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии позволило установить распределение гальванического осадка свинца в зависимости от предварительной обработки. Установлено, что травление стальной основы в растворе серной кислоты сильно увеличивает ее шероховатость за счет вытравли-

вания отдельных участков образца. Подобное изменение состояния поверхности не наблюдается при анодном оксидировании исследуемых электродов в щелочном растворе.

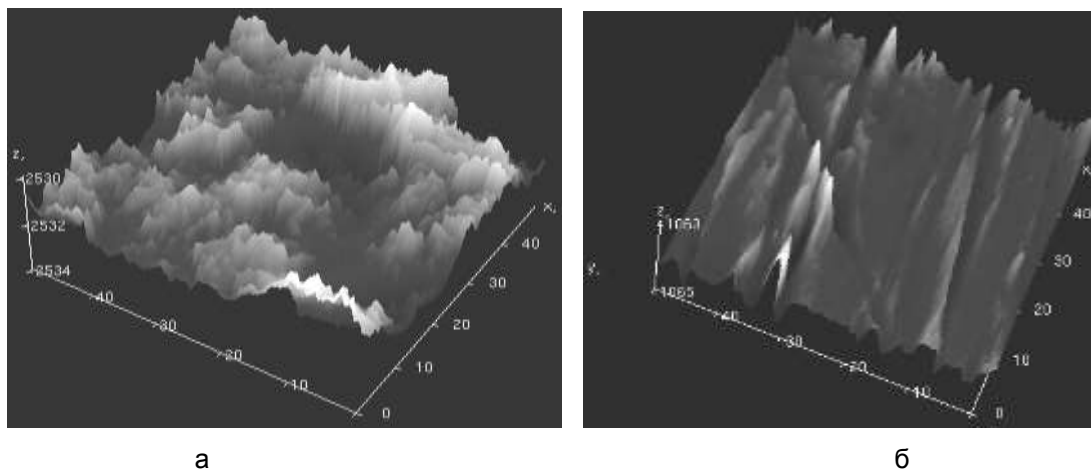


Рис. 4. Атомно-силовая микроскопия:  
а – сталь, обработанная по варианту № 2; б – сталь, обработанная по варианту № 1

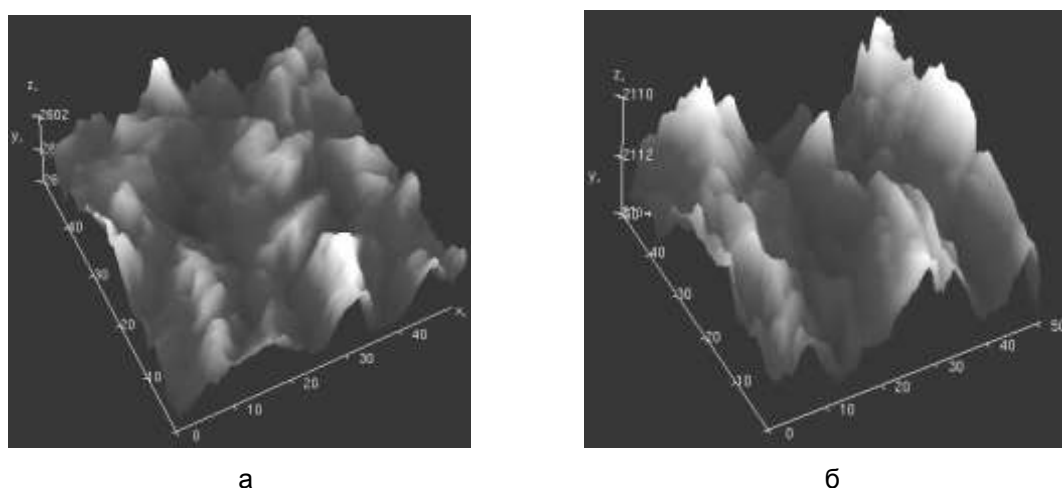


Рис. 5. Атомно-силовая микроскопия:  
а – свинцовое покрытие, осажденное на сталь, обработанную по варианту № 2;  
б – свинцовое покрытие, осажденное на сталь, обработанную по варианту № 1

Изучение изменения потенциала электролитически осажденного свинца во времени без тока и при анодной поляризации в растворе хлорной кислоты позволило определить влияние температуры на величину потенциала электрода. Свинцовое покрытие, нанесенное на стальную основу с предварительной обработкой по технологическому варианту № 1, отличается более стабильными электрохимическими характеристиками. Данный факт можно объяснить тем, что свинцовый осадок равномерно распределяется на поверхности образца. Неравномерность свинцового осадка, полученного по технологическому варианту № 2, приводит к более быстрому «пробое» покрытия до основы и снижению потенциала, вплоть до потенциала основы.

Анализ кривых анодной поляризации и данных оптической и атомно-силовой микроскопии позволяет рекомендовать для предварительной обработки поверхности стали электрохимическое оксидирование в щелочном электролите (вариант № 1) для обеспечения работоспособности свинцового электрода в широком диапазоне температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние состава электролита на качество свинцового покрытия / Е.Ю. Боженова, Н.В. Горбачева, Н.Д. Соловьева, И.Е. Шпак // Актуальные проблемы электрохимической технологии: сб. статей молодых ученых. Саратов: СГТУ, 2008. С. 64-67.

2. Влияние материала подложки на электрохимические и механические свойства свинцового покрытия / Н.В. Горбачёв, Е.Ю. Боженова, Н.Д. Соловьева и др. // Актуальные проблемы электрохимической технологии: сб. статей молодых ученых. Саратов: СГТУ, 2008. С. 61-63.

3. Электрохимические характеристики электролитического свинцового покрытия в широком диапазоне температур / Н.В. Горбачев, Е.Ю. Боженова, Н.Д. Соловьева и др. // Теоретические и прикладные аспекты современной технологии гальванических покрытий и химических источников тока: межвуз. сб. науч. трудов. СПб.: СПГТИ (ТУ), 2009. С. 73.

**Горбачёв Николай Владимирович** – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Gorbachev Nikolay Vladimirovich** – Post-graduate Student of the Department of «Electrochemical Production Technology» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

**Горбачёва Екатерина Юрьевна** – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Gorbacheva Ekaterina Yuriyevna** – Post-graduate Student of the Department of «Electrochemical Production Technology» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

**Соловьева Нина Дмитриевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Solovieva Nina Dmitriyevna** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Electrochemical Production Technology» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

**Краснов Владимир Васильевич** – кандидат химических наук, доцент кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Krasnov Vladimir Vasiliiyevich** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of «Electrochemical Production Technology» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

**Федоров Федор Сергеевич** – аспирант кафедры «Общая и прикладная химия» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Fedorov Fedor Sergeyeovich** – Post-graduate Student of the Department of «General and Applied Chemistry» of Volgograd State University of Architecture and Building

*Статья поступила в редакцию 24.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*



УДК 691.791.5:532.78

**А.А. Казинский, В.Н. Лясников****ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОСТРУКТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ В ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫХ СРЕДАХ**

*Приведена расчётная схема для определения количества и размеров кластеров в расплавленной частице титана на любом этапе разупорядочивания расплава вплоть до температуры испарения. Обоснована возможность контролируемого перегрева расплавленной частицы с целью управления её кластерным составом.*

Плавление металлов, наноструктурные технологии.

**A.A. Kazinskiy, V.N. Lyasnikov****THEORETICAL BASIS OF NANOSTRUCTURE TECHNOLOGIES DURING THE METAL LIQUATION IN PLASMA-CIRCULAR SPHERES**

*Calculation model for determination of liquated titanium element cluster size and quantity on every level of flux disordering until the evaporation temperature is given in the article. The possibility of liquated element controlled overheat to manage its cluster composition is under review.*

Metal liquation, nanostructure technologies.

По данным ряда источников [1, 2, 4], процесс плавления металлов и неметаллов создает предпосылки формирования нанообъектов. Так, многочисленные исследования по свойствам и структуре перегретых жидкостей показывают, что они гораздо ближе к твердым телам, чем к газам. Например, относительное увеличение объема металлов при плавлении не превышает 5-6%, а значит, и расстояния между атомами почти не изменяются, тогда как при испарении они увеличиваются в десятки раз. Энтальпия плавления в 20-40 раз меньше энтальпии испарения, значит, силы межатомного взаимодействия при плавлении ослабляются незначительно. Рентгеноструктурный анализ указывает на наличие ближнего порядка в расплаве вблизи температуры плавления.

Наличие экспериментальных данных, подтверждающих существование ближнего порядка в металлических расплавах, лежит в основе кластерной теории строения расплава. Исследуя структурно-чувствительные свойства металлов – вязкость и теплоемкость, авторы В.И. Архаров и И.А. Новохатский пришли к выводу о существовании в расплаве, перегретом выше точки плавления, кластеров с квазикристаллическим строением, продолжительность жизни которых велика по сравнению с продолжительностью элементарных актов вязкого течения, диффузии, теплопроводности. Жидкость, окружающая кластеры, полагается полностью разупорядоченной, аморфизированной и характеризуется более рыхлым расположением частиц, а значит и меньшей энергией связи. С повышением температуры расплава объемная доля и размер кластеров уменьшаются, а температура полного разупорядочивания жидких металлов на многие сотни градусов превышает температуру плавления.

Такое положение позволяет рассматривать процесс плавления порошков в плазменных потоках как перспективный для получения и последующего использования нанообъектов. В ка-

честве нанообъектов в этом случае выступают кластеры, образующиеся при плавлении порошков в плазменном потоке. Плазменный поток, в свою очередь, является гибким средством получения нанообъектов за счет возможности перегрева (температура плазменной струи достигает  $6000^{\circ}\text{C}$ ) и управления процессом плавления порошковых частиц, например, регламентацией времени пребывания частицы в плазменном потоке. К тому же современные плазмотроны способны обеспечивать сообщение высоких скоростей движения частицам, с возможностью последующего дробления их за счет столкновения, отражения и высоких скоростей охлаждения.

Для формирования представлений о формировании кластеров в расплаве частиц в плазменном потоке следует сопоставить объемы тепла, необходимые для разупорядочивания расплава, при статистически достоверном объеме и размерном составе кластеров с объемами тепла, полученного при прохождении через плазменный поток, например сферических частиц заданного размера, а значит и поверхности теплообмена.

Для расчета первой части задачи можно использовать «решеточную модель», когда области упорядоченной структуры в объеме расплава образуют систему с разупорядоченными областями, определяют долю упорядоченных атомов, обеспечивающих термодинамическое равновесие системы.

Оценка степени упорядоченности элементарной ячейки кристалла, строение которой для вещества предполагается известным [3], сводится к правильному выбору атомов и их расположения в ее пределах.

В общем случае  $N$  атомов  $m$  различных сортов, причем число атомов сорта 1 равно  $N_1$ , число атомов сорта 2 равно  $N_2$ , тогда  $N = N_1 + N_2 + \dots + N_m$ . Согласно известной формуле комбинаторики, существует  $N!$  способов упорядочения  $N$  атомов, но не все они отличны друг от друга, т. к. если имеется несколько атомов одного сорта  $i$ , то их взаимная перестановка не меняет степени упорядоченности. Тогда имеется лишь  $\omega = N! / (N_1! N_2! \dots N_m!)$  способов упорядочения элементарной ячейки. Для оценки упорядоченности обычно используется показатель  $H = \log_2 \omega$ , обладающий свойством аддитивности, называемый информационной энтропией Шеннона, измеряемой в битах:

$$H = \log_2(N!) - \sum_{i=1}^m \log_2(N_i!) \quad (1)$$

Для элементарной ячейки титана, находящейся в  $\alpha$ -модификации при температурах плавления и содержащей 9 атомов, 8 в углах куба и один в центре, энтропия Шеннона составит:

$$H = \log_2(9!) - \log_2(8!) - \log_2(1!) = 3,16993 \text{ (бит)}. \quad (2)$$

При разрушении ячейки или частичном упорядочении разность энтропии частей ячейки  $H_p$  и целой ячейки  $H$  является мерой изменения степени упорядоченности частиц.

$$\Delta H = H_p - H \quad (3)$$

Величина  $\Delta H$  – приращение энтропии Шеннона. Максимальное значение  $\Delta H_{\max}$  достигается при полном разупорядочении ансамбля из  $N$  частиц и эта величина может быть определена по формуле:  $J_c = \Delta H_{\max} = H_{\max} - H$ , где  $H_{\max}$  – максимальное значение энтропии Шеннона. Убыль энтропии Шеннона  $J_c$  называют количеством связанной информации, которое растет примерно пропорционально числу ячеек в кристалле. Однако, наибольшей информационной емкостью обладают конфигурации кристалла, обладающие симметрией. Применяя принцип Пригожина – минимального производства энтропии, применимый для неравновесных физико-химических процессов, протекающих с неизменной скоростью, имеем:

$$S' = ds/dt; \quad S' \rightarrow \min[S'] \quad (4)$$

Для систем с изменяющейся конфигурацией (претерпевающих упорядочивание) термодинамическая энтропия определяется по формуле Планка – Больцмана:  $S = k \cdot \ln \omega$ , где  $k = 1,381 \cdot 10^{-16}$  эрг/град,  $\omega$  – число возможных микросостояний системы.

Сопоставляя последнее выражение с выражением для энтропии Шеннона  $H = S/(k \ln 2)$  и принцип Пригожина для энтропии Шеннона  $H' \rightarrow \min[H']$ , то для количества информации при неизменном числе частиц  $J'_c \rightarrow \max[J'_c]$  или  $\Delta J'_c/\Delta t \rightarrow \max[\Delta J'_c/\Delta t]$ .

В отношении макрообъёма охлаждаемого расплава, например, 1 моля вещества, полное количество информации  $\Delta J$ , характеризующее степень упорядоченности  $\Delta J = N_s \cdot \Delta i_s + N_l \cdot \Delta i_l$  (бит/моль), где  $N_s + N_l = N_A$ ,  $N_A$  – число Авогадро,  $N_s$  – число упорядоченных частиц,  $N_l$  – число частиц в маточной слабоупорядоченной среде;  $\Delta i_s$  и  $\Delta i_l$  – информационная емкость частиц обеих групп,  $\Delta i_s = \Delta J_s/(N \cdot \Delta t)$ ,  $\Delta i_l = \Delta J_l/(N \cdot \Delta t)$ ,  $\Delta J_l = J_{l_1} - J_{l_2} = H_{\max_1} - H_{\max_2}$ ,  $H_{\max_1} = \log_2 N_{l_1}!$ ,  $H_{\max_2} = \log_2 N_{l_2}!$ , где  $N_{l_1}$  и  $N_{l_2}$  – число разрозненных частиц в объеме в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  (в жидкости).

$\Delta J_s$  – изменение количества связанной информации ансамбля частиц, включенных в кристаллическую решетку. Максимальное ее значение достигается в объеме монокристалла и равно для единицы объема вещества  $\Delta J_{s,\max} = \rho \cdot N_A i_s / M$ , где  $\rho$  – плотность вещества,  $M$  – молекулярная масса.

Тогда полное количество информации, характеризующее степень упорядоченности для единицы объема  $\Delta J_v = \Delta J_s + \Delta J_l$ .

При рассмотрении обратного процесса – разупорядочивания (плавления) принцип Пригожина продолжает действовать. Процесс плавления частиц в плазменной струе будем считать происходящим путем увеличения количества неупорядоченных атомов по границам зерен и постепенным уменьшением количества включенных в кластеры частиц. Будем считать, что процесс плавления происходит путем одновременного отсоединения по одному атому от каждого ансамбля упорядоченных частиц (зерна). В результате можно использовать модель роста ансамбля упорядоченных частиц, построенную на расчете информационной энтропии Шеннона для всех вариантов присоединения частиц к упорядоченному ансамблю, начиная с одной частицы и запоминая каждое следующее значение энтропии Шеннона, соответствующее варианту присоединения частицы с наибольшим значением количества информации (рис. 1). Складывая значение энтропий Шеннона для ансамблей с размерами, нормально распределенными от  $\min$  до  $\max$  в составе частицы в плазменной струе и сопоставляя суммарную энтропию Шеннона с энтропией полного разупорядочивания, определим ту часть энергии, которая необходима для реализации последовательности шагов поатомного разупорядочения группы ансамблей частиц с выбранными размерами (рис. 2). Сопоставив энергии, необходимые для полного разупорядочения и получаемые частицей в плазменной струе, определим размеры ансамблей приведенной группы зерен, остающиеся упорядоченными.

Разработанная программа расчёта энтропии Шеннона строит координатную сетку, которую заполняет от начальной точки по принципу наименьшего расстояния от точки начала роста зародыша (наибольшей компактности) на основе построения кубических ячеек. Каждой координатной точке после «заполнения атомом» присваивается статус, соответствующий числу соседних узлов координатной сетки, «заполненных атомами», т. е. имеющих статус, отличный от нулевого. Для этого производится опрос узлов координатной сетки, соседних с рассматриваемым. По мере их полного заполнения статус рассматриваемого узла повышается. После окончания расчета в объеме, заданном заранее, вновь производится опрос статуса узлов координатной сетки с подсчетом количества узлов с одинаковым статусом, которые имитируют разные «сорта» атомов, и подсчитывается информационная энтропия Шеннона.

При расчете по приведенной программе возникает проблема подсчета факториала крупных чисел, которая решена путем приближенного вычисления по формуле Стирлинга с использованием натурального логарифма факториала

$$\ln(n!) \approx (n + 1/2) \cdot \ln(n) - n + \ln(\sqrt{2\pi}), \quad \log_2(n!) = (1/\ln 2) \cdot \ln(n!).$$

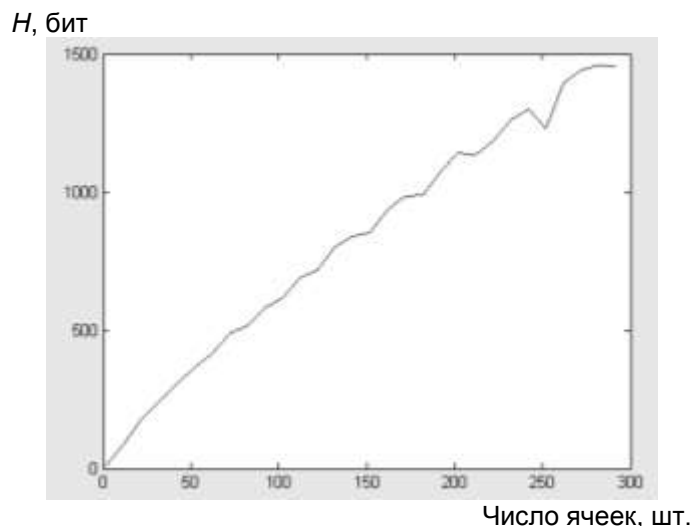


Рис. 1. Зависимость величины расчётной энтропии Шеннона от количества элементарных ячеек в кристалле титана из 300 ячеек

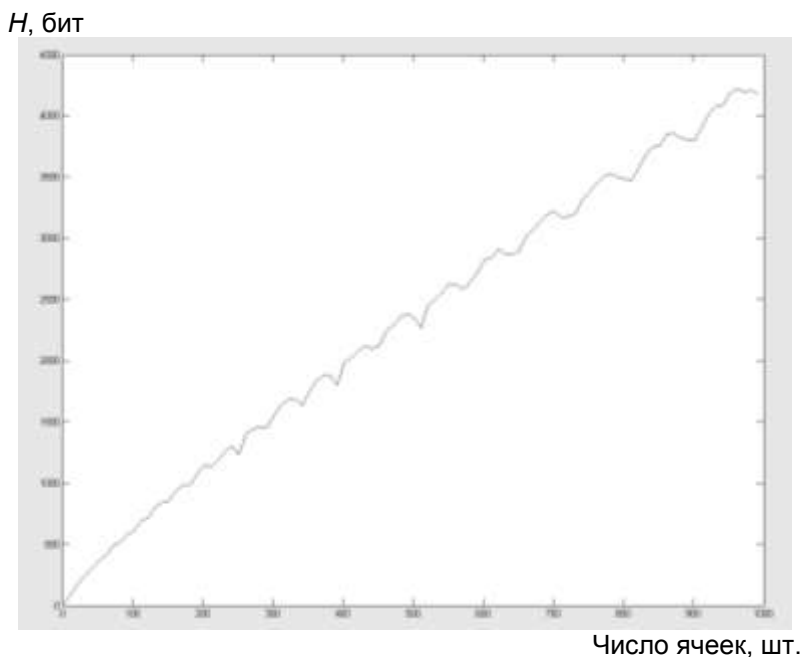


Рис. 2. Зависимость величины расчётной энтропии Шеннона от количества элементарных ячеек в кристалле титана из 1000 ячеек, размером 10 нм

Энтропия Шеннона  $H = \log_2(N!) - \sum_{i=1}^m \log_2(N_i!)$  принимает своё максимальное значение при полном распаде бездефектного кристалла на отдельные разрозненные атомы  $H_{\max} = \log_2(N!)$ .  $J_s$  – величина, которая характеризует убыль энтропии Шеннона при кристаллизации:

$$J_c = -H = -\sum_{i=1}^m \log_2(N_i!). \quad (5)$$

При плавлении такое же количество составит приращение энтропии Шеннона. Учитывая линейный характер зависимости величины энтропии Шеннона от количества элемен-

тарных ячеек кристалла, приведенную на рисунках выше, можно определить удельную величину приращения энтропии Шеннона, которую называют информационной ёмкостью частиц, образующих кластер – дозародыш кристалла:

$$i_c = J_c / N = -(1/N) \sum_{i=1}^m \log_2(N_i!) \quad (6)$$

Из взаимной связи количества тепла  $Q$ , необходимого для перегрева моля вещества на величину  $\Delta T$  относительно температуры плавления и количества энергии, необходимой для получения требуемой величины приращения энтропии Шеннона, можно определить коэффициент пропорциональности между энтропией Шеннона и тепловой энергией разупорядочения кластера жидкой фазы  $Q = \rho c \Delta T (N - N_1) / N_A = \Delta (L(N) \cdot J_c(N))$ , где  $\rho$  и  $c$  – соответственно, удельный вес и удельная теплоёмкость моля вещества в жидком состоянии;  $N$  и  $N_1$  – соответственно исходное и конечное число атомов кластера, находящихся в упорядоченном состоянии. Зависимость коэффициента пропорциональности  $L(N)$  от размеров кластера  $L(N) = \rho c T N / (N_A \cdot J_c(N))$ , где  $T$  – температура парообразования.

Для частицы из  $k$  кристаллов, с числом атомов с размерами, в соответствии с нормальным распределением, предполагая наличие наибольшего количества кристаллов размером 0,01 мм и одинаково уменьшающегося количества кристаллов большего и меньшего размера, число элементарных ячеек  $K_j$  составляет от 100 до 30000 шт. Предположим, что все частицы нагреваются в потоке плазмы одновременно и равномерно, после кластеризации в результате фазового перехода при поатомном разупорядочивании. В этом случае появляется возможность определить изменение суммарной энтропии Шеннона (рис. 3), а следовательно и размеры кластеров, участвующих в формировании информационной энтропии на любом этапе нагрева.

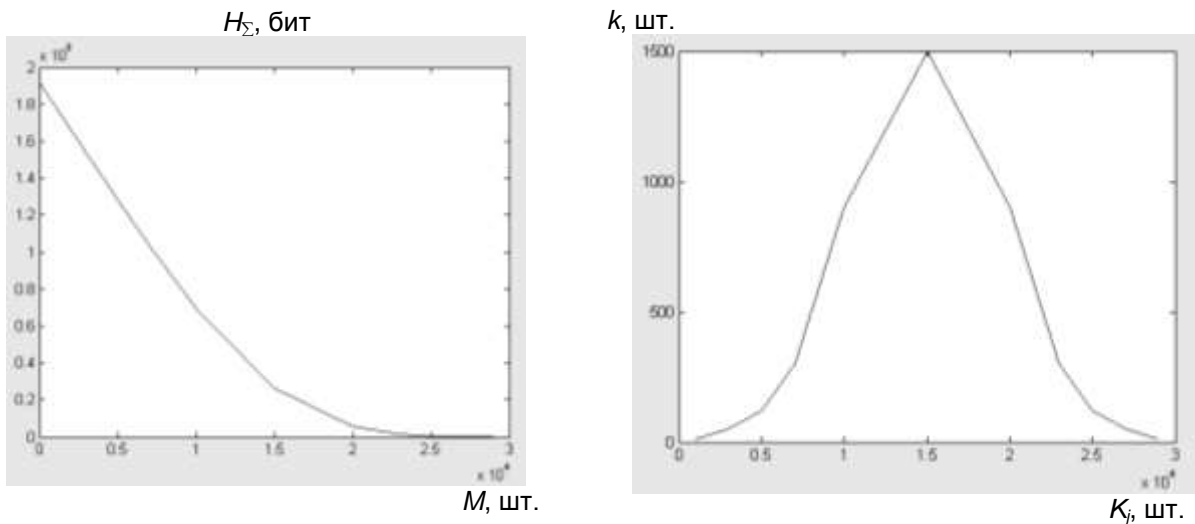


Рис. 3. а – зависимость суммарной энтропии Шеннона для частицы с  $k$  кластерами при поатомном разупорядочивании; б – распределение размеров кластеров по количеству элементарных ячеек

Формирующаяся зависимость имеет степенной вид  $H_\Sigma = aM^b$ , где  $M = \sum_{j=1}^k K_j$ ; сопоставляя её с зависимостью теплонасыщения кристалла в плазменной струе от времени пребывания, асимптотически приближающегося к изотерме температуры плазменной струи, составляющей до 3000°C, можно сделать вывод о времени пребывания частиц в потоке плазмы перед динамическим дроблением с образованием наночастиц из кластеров жидкости.

Работа выполнена в рамках государственного контракта П 2335 от 20 ноября 2009 года на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов М.А. Атомное упорядочение и свойства бинарных металлических расплавов / М.А. Спиридонов, Л.А. Жукова, С.И. Попель // Сталь. 2000. № 9. С. 79-82.
2. Попель С.И. Атомное упорядочение в расплавленных и аморфных металлах (по данным электронографии) / С.И. Попель, М.А. Спиридонов, Л.А. Жукова. Екатеринбург: УГТУ, 1997. 264 с.
3. Самойлович Ю.А. Системный анализ кристаллизации слитка / Ю.А. Самойлович. Киев: Наукова думка, 1983. 248 с.
4. Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов / В.К. Григорович. М.: Наука, 1988. 230 с.

**Казинский Алексей Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическое материаловедение и технология новых материалов» Саратовского государственного технического университета

**Kazinskiy Aleksey Alekseyevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Physical Material Science and New Material Technology» of Saratov State Technical University

**Лясников Владимир Николаевич** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Физическое материаловедение и технология новых материалов» Саратовского государственного технического университета

**Lyasnikov Vladimir Nikolayevich** – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Physical Material Science and New Material Technology» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 24.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 621.23

**В.Н. Кокорин, О.Г. Крупенников, Д.П. Груздев,  
А.А. Митюшкин, Н.А. Сизов**

#### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ УПЛОТНЕНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

*Рассмотрено влияние технологических режимов нагружения, конструкции пресс-формы на процесс уплотнения структурно-неоднородных порошковых смесей на основе железа. Проведены мероприятия по интенсификации процесса консолидации.*

Интенсификация, порошок, зазор, структура, интегральная модель, уплотнение.

V.N. Kokorin, O.G. Krupennikov, D.P. Gruzdev, A.A. Mityushkin, N.A. Sizov

## COMPACTION INTENSIFICATION OF STRUCTURALLY – NON-HOMOGENEOUS IRON-BASED MECHANICAL MIXTURES

*The influence of technological modes stressing, press mold construction on the compaction process of structurally – non-homogeneous iron-based blend powders is under review. intensification process of consolidation is considered in the article.*

Intensification, powder, gap, structure, integral model, compaction.

Характерной тенденцией современного промышленного производства является создание новых машин и механизмов с высокими рабочими параметрами на основе использования заготовок и деталей с высоким уровнем технологических и потребительских свойств.

Основным потребителем высокоплотных заготовок и деталей являются отрасли автомобилестроения, машиностроения, прокатки и ряд других. Высокоплотные механические смеси могут применяться в качестве исходных заготовок при изготовлении металлопроката, при получении изделий типа «фольга», в процессах интенсивного пластического деформирования (формообразования) по схемам: динамическое горячее прессование (ДГП), гидроштамповка, холодная объемная штамповка (ХОШ); в качестве брикетов (вторичное сырье) в процессах промышленного рециклинга твердых техногенных отходов металлургических комбинатов; в качестве деталей конструкционного назначения.

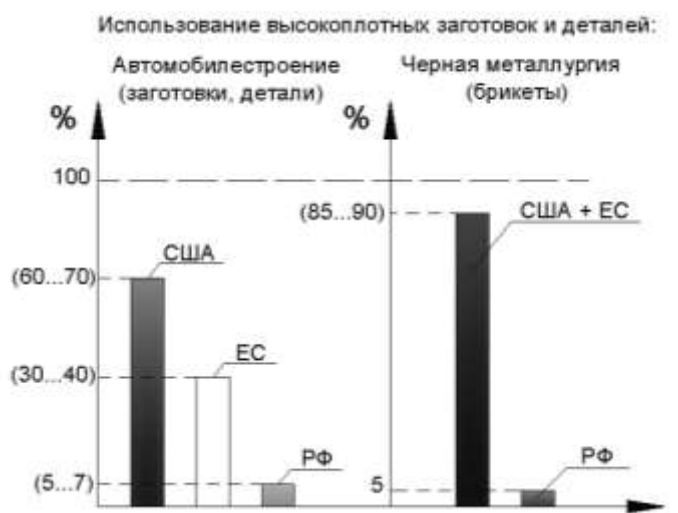


Рис. 1. Сравнительный анализ использования высокоплотных заготовок и деталей

На диаграмме (рис. 1) представлено использование изделий из порошковых материалов по отраслям в промышленно развитых странах мира. Следует отметить, процент использования изделий из порошковых материалов в РФ существенно отстает от США и стран ЕС.

Развитие порошковой металлургии основывается в значительной мере на разработке и использовании новых прогрессивных технологий консолидации дисперсных металлов, направленных на существенную минимизацию остаточной пористости и создание благоприятной структуры материала.

В соответствии с методологией структурно-феноменологического подхода, рассмотрим модель среды, представляющей собой конгломерат статически однородных плотноупакованных частиц изометрической формы, на границах которых локализируются несплошности.

Укладка частиц при прессовании образует регулярные структуры – поры, заполненные жидкой и газовой фазами.

Жидкофазный компонент, содержащийся в шихте, с одной стороны уменьшает внешнее трение, а с другой – препятствует плотной упаковке дискретных порошковых частиц за счет их несжимаемости.

Процессы, протекающие во внутриводном пространстве, отличаются существенным детерминизмом и в значительной степени определяются как взаимодействием (сдвиговые деформации) между частицами самой жесткой матрицы проницаемой структуры, так и межфазным взаимодействием между наполнителями пор и жестким каркасом. При этом реализуется как поглощение поверхностью пористого материала на открытых поверхностях тела, так и поглощение объемом пористого каркаса тела. В результате эти процессы во всесторонней совокупности структурных и физических явлений характеризуются четко выраженной нелинейностью как во временной, так и в пространственной областях, при этом уплотнение деформируемого тела реализуется в соответствии как с дискретной, так и с гомогенной моделями (в соответствии со стадийностью процесса уплотнения).

Гомогенная модель является достаточно наглядным и удобным способом континуального представления трехфазной среды: несжимаемая матрица – газовая фаза (поры) – жидкостная фаза (а также как вариант: матрица – газовая фаза (поры) – газожидкостная смесь). Смесь жидкости и газа можно рассматривать как некую однородную среду со средней температурой  $T$ , скоростью транспортирования  $U$ , плотностью  $\rho$  и давлением  $p$ . Давление в жидкой фазе  $p_1$  либо равно давлению в газовой фазе  $p_2$ , либо отличается на величину лапласовского давления  $\Delta p = 2\sigma/R$ , обусловленного поверхностным натяжением на границе газ – жидкость ( $R$  – радиус поры,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения). Очевидно, температуры и скорости транспортирования (движения) фаз равны.

Первая стадия уплотнения (структурная) характеризуется значительным преобладанием автономной деформации, нарушающей контакты насыпки. После снятия нагрузки формовка превращается в несвязанное сыпучее тело. При необходимости ограничения первой стадией уплотнения следует вводить в формуемую шихту жидкие связные структуры (ЖСС). При использовании двухкомпонентной шихты, содержащей жидкую фазу, «арки» заполняются как твердыми частицами, так и жидкой фазой, причем, преимущественное перемещение наблюдается прежде всего у жидкой фазы.

Вторая стадия уплотнения характеризуется пластической деформацией частиц твердой среды приконтактных областей. Препятствием для образования контактов являются пленки жидкости, при этом жидкая фаза частично или полностью выдавливается в поры.

На первой стадии наблюдается переукладка дискретных частиц матрицы и транспортирование в поры газа и жидкости. На второй стадии материал прессовки – беспористая структура – деформируется, как и компактный, однако, при этом действует гидростатическое давление в жидкости. При использовании смеси с наличием жидкой фазы третья стадия прессования соответствует механизму перемещения объема металла в компактном состоянии.

На начальной и завершающей стадиях прессования наблюдаются характерные различия выделенных структур: их непрерывность, связность, регулярность, анизотропия, фазовое состояние (рис. 2).

Экспериментально установлена кривая уплотнения дисперсных материалов в присутствии ЖСС (рис. 3). Твердая фаза – дисперсный металлический порошок – 85% масс, жидкая фаза (связующее, вода, ацетон) – 15% масс.

В настоящих экспериментальных исследованиях использован железный распыленный порошок марки АНС100.29 фирмы «Hoganas», Швеция, с химическим составом, приведенным в табл. 1.

Прессование производилось в стальной закрытой обойме на гидравлическом прессе ПГ-60, вид нагружения – статический.



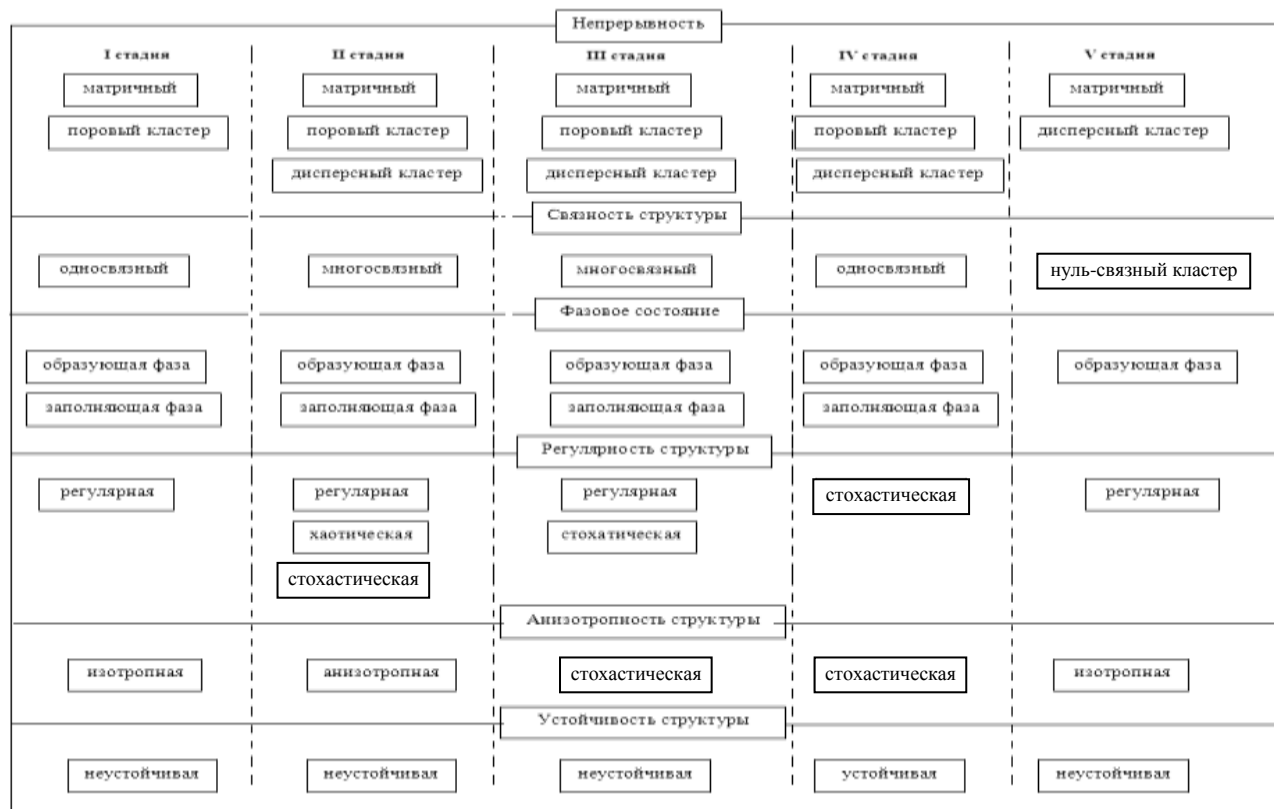


Рис. 2. Интегральная (кластерная) модель структурного состояния материала (постадийная).

Таблица 1

Химический состав железного порошка АНС100.29

Химический состав, %, не более					
Fe				C	O <sub>2</sub> при нагреве в H <sub>2</sub>
Основа				0,024	0,17
Гранулометрический состав порошка					
Размер	250...200	200...160	100...71	71...45	менее 45
Содержание, %	0...2	0...12	ост.	ост.	10...30

Использованы три вида механических смесей:

– железный порошок;

– железный порошок и жидкая фаза (вода) в пропорции (85:15), исходная влажность  $W_0 = 15\%$ ;

– железный порошок и жидкая фаза (ацетон) в пропорции (85:15), исходная влажность  $W_0 = 15\%$ .

Выбор жидкой фазы определяется различной вязкостью применяемых жидкостей.

Были построены экспериментальные кривые уплотняемости трех видов механических смесей (рис. 2), обоснована концепция стадийности процессов прессования металлических порошков в присутствии жидкой фазы:

– первая стадия – переукладка частиц, резкое уменьшение порового пространства;

– вторая стадия – интенсивное порозаполнение за счет затекания металла-основы и жидкой фазы в поры;

– третья стадия – пластическая деформация частиц, затекание металла-основы в поры;

– четвертая стадия – разрывы поверхности заготовки за счет кавитации жидкой фазы при давлениях прессования свыше 1000 МПа;

– пятая стадия – «скелетное» схлопывание открытых дефектов структуры, остаточная пористость составляет 1-4%.

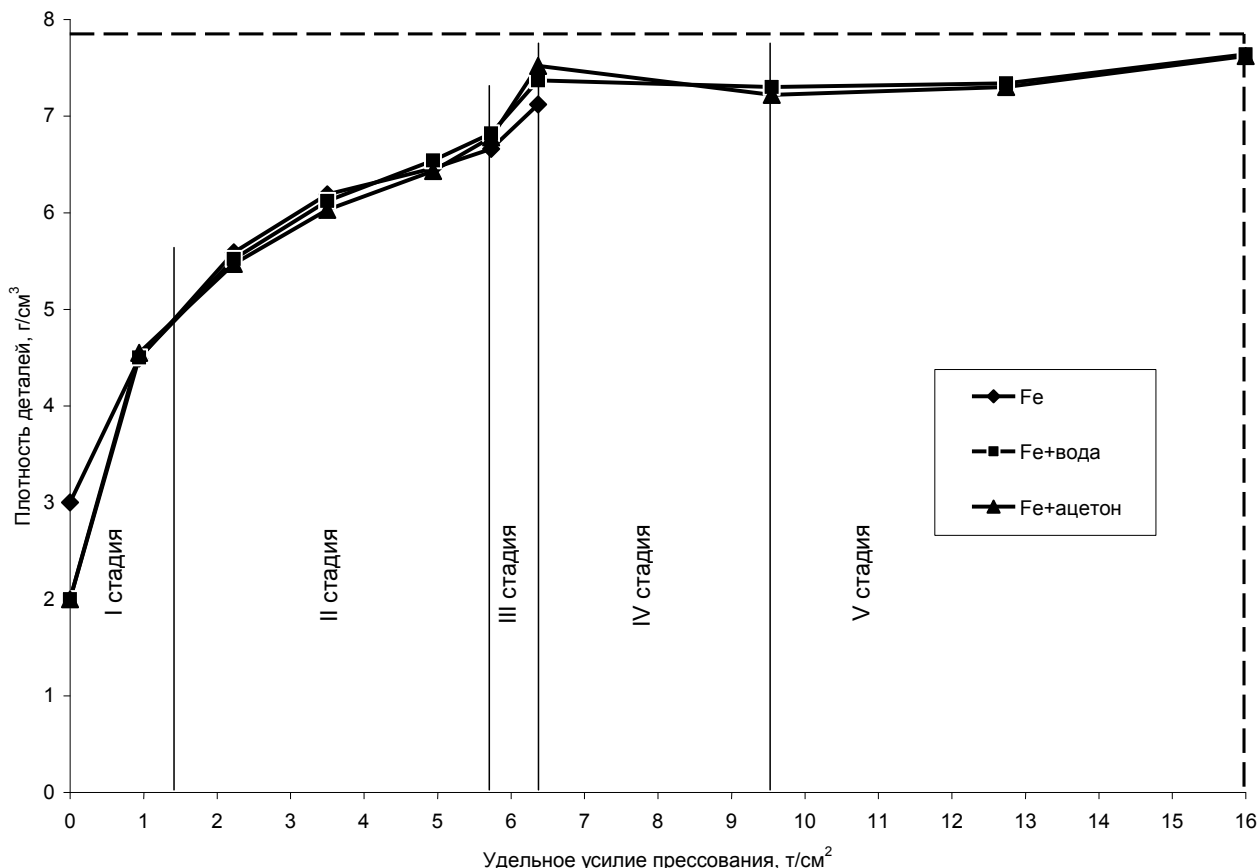


Рис. 3. Экспериментальные кривые уплотнения в присутствии жидкой фазы

В работе [1] установлено, что если контактные напряжения превышают прочность контактных поверхностей, то происходит их частичное разрушение с образованием поровых каналов, соединяющих закрытые поры с тупиковой и внешней газовой средой (рис. 4 б), что наглядно устанавливается на IV стадии уплотнения (рис. 3).

Были проведены металлографические исследования по изучению структурообразования на различных (I-V) стадиях уплотнения (рис. 4). Использован микроскоп «OLIMPUS» (программное обеспечение «SIAMS 700»), увеличением  $\times 100$ ;  $\times 200$ ;  $\times 400$ . Проводилась подготовка образцов:

а) травление четырехпроцентным раствором азотной кислоты (изучение межграницных контактов);

б) образцы после полирования (без травления) – использованы для установления общей пористости и траектории образования поровых кластеров.

Установлено, что на IV, V стадиях (образцы группы «а») прессования наблюдается интенсивный рост зерен (объединенные в единый конгломерат соседних зерен за счет межкристаллитного срачивания). Данный эффект был отмечен профессором А.П. Гуляевым при изучении структуры деформируемых тел [2]. Им была предложена модель рассыпания (растворения) границ зерен, механизмом которого является двойникование. Полное растворение границ приводит к объединению соседних зерен в единый зеренный конгломерат.

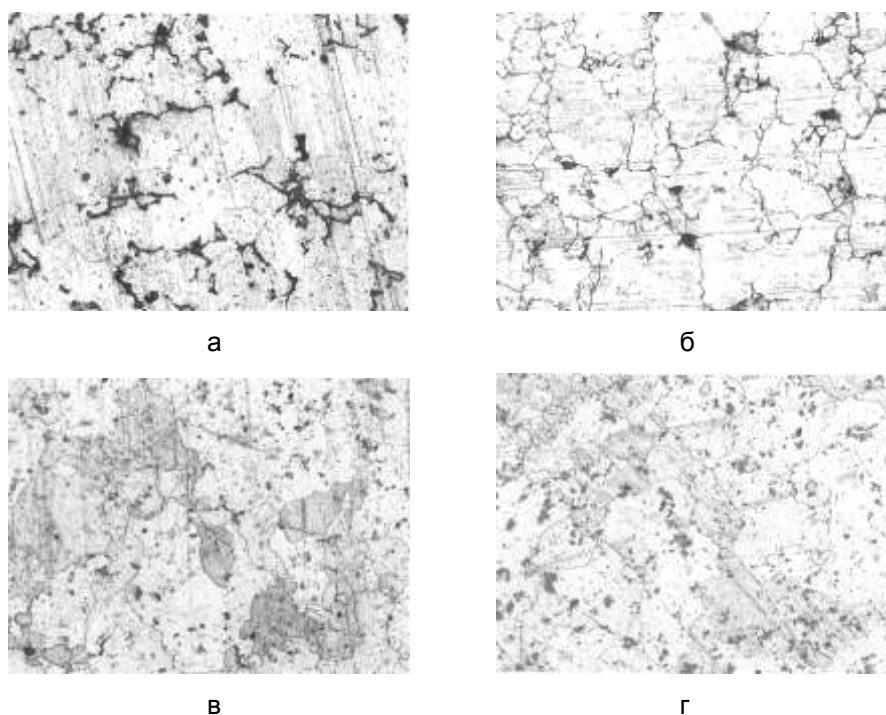


Рис. 4. Постадийное структурирование при прессовании механических смесей:  
а – II стадия; б – III стадия; в – IV стадия; г – V стадия

Развитие сращивания происходит в результате синхронной с деформацией миграции границ одних контактирующих зерен за счет других [1].

Интенсивное межкристаллическое сращивание при прессовании механических смесей с использованием жидкой фазы установлено на IV, V стадиях прессования (рис. 4 в-г), причем завершение образования зеренных конгломератов наблюдается на V стадии, где моделируется регламент экструзии.

Таким образом, установлено явление межчастичного сращивания на завершающих стадиях прессования, что обуславливает существенное повышение уровня механических свойств отпрессованных заготовок и деталей.

В экспериментальных исследованиях было рассмотрено влияние свойств: вязкость жидкости ( $\xi$ ), зазора ( $z$ ) и исходной влажности ( $w$ ) смеси на процесс консолидации порошковых материалов. В качестве параметров оптимизации были приняты: относительная плотность заготовок на IV (P4) и V (P5) стадиях, а также температура жидкости ( $\Delta T$ ), вытесненной в зазор.

Таблица 2

Моделирование уплотнения на IV и V стадии

№ п/п	$\xi(x_1)$	$z(x_2)$	$w(x_3)$	$P_4^{отн}(y_1)$	$P_5^{отн}(y_2)$	$\Delta T^{отн}(y_3)$
1	(+) 0,127	(+) 0,025	(+) 0,2	0,915	0,969	0,4
2	(+) 0,127	(+) 0,025	(-) 0,1	0,902	0,968	0,3
3	(+) 0,127	(-) 0,005	(+) 0,2	0,895	0,961	0,2
4	(+) 0,127	(-) 0,005	(-) 0,1	0,895	0,958	0,2
5	(-) 0,099	(+) 0,025	(+) 0,2	0,928	0,973	0,5
6	(-) 0,099	(+) 0,025	(-) 0,1	0,909	0,968	0,3
7	(-) 0,099	(-) 0,005	(+) 0,2	0,902	0,965	0,2
8	(-) 0,099	(-) 0,005	(-) 0,1	0,895	0,958	0,2

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0,905179 - 0,241071 x_1 + 0,8375 x_2 + 0,0975 x_3, \\
 Y_2 &= 0,960321 - 0,071429 x_1 + 0,45 x_2 + 0,04 x_3, \\
 Y_3 &= 0,144643 - 0,892857 x_1 + 8,75 x_2 + 0,75 x_3.
 \end{aligned}$$

В соответствии с планом эксперимента  $N = 2^3$  опыта с трехкратной воспроизводимостью каждой точки, статистическая обработка полученных результатов проводилась при использовании стандартной программы регрессионного и дисперсионного анализа по методу наименьших квадратов.

Получена комплексная параметрическая модель в виде полиномов множественного порядка, определяющая влияние плотности, зазора и влажности на плотность IV, V стадий прессования железосодержащих порошков.

На рис. 5-10 представлена графическая интерпретация результатов экспериментов по изучению функциональных связей свойств и технологических характеристик изделий и процесса уплотнения.

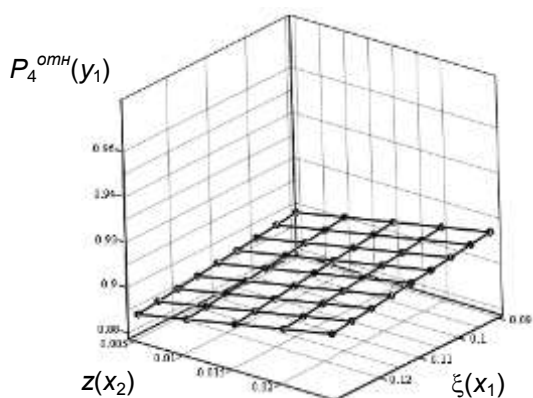


Рис. 5. Функциональная зависимость:  $P_4^{omn} = f(z, \xi)$  при  $w = 10\%$

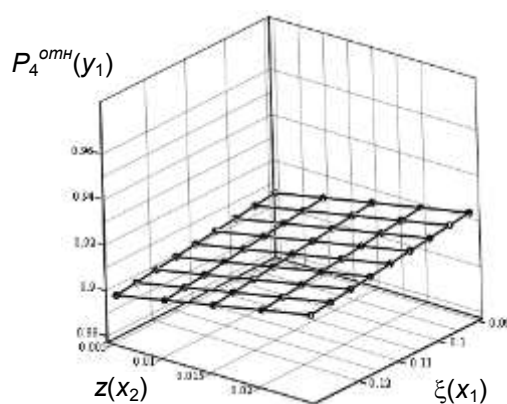


Рис. 6. Функциональная зависимость:  $P_4^{omn} = f(z, \xi)$  при  $w = 20\%$

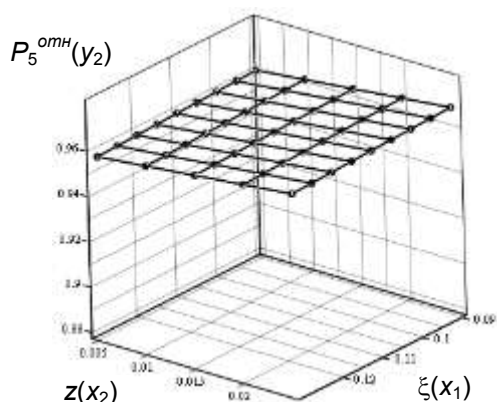


Рис. 7. Функциональная зависимость:  $P_5^{omn} = f(z, \xi)$  при  $w = 10\%$

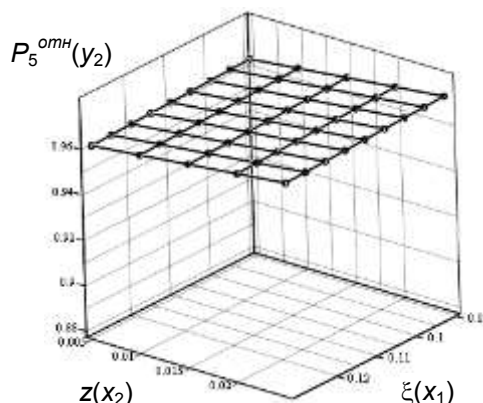


Рис. 8. Функциональная зависимость:  $P_5^{omn} = f(z, \xi)$  при  $w = 20\%$

Нахождение в механической порошковой смеси жидкости определяет вид субстанции (от сухой  $w = 0$ , до увлажненной  $w = 20\%$ ). В экспериментах был проведен анализ массопереноса влажной смеси ( $\Delta m$ ) в зазор ( $z$ ) в зависимости от величин  $z^{omn}$  и  $w$ . Влияние зазора и влажности на массу транспортирующихся частиц в зазор представлено в табл. 3 и на рис. 11.

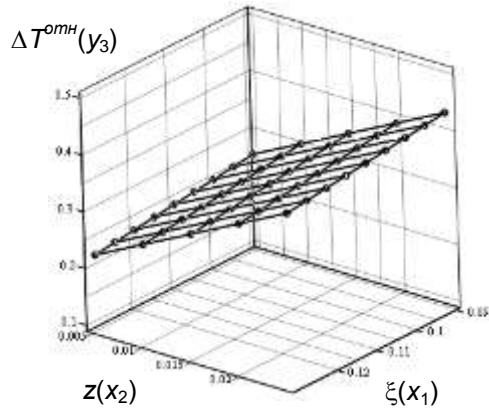


Рис. 9. Функциональная зависимость:  $\Delta T^{\text{отн}} = f(z, \xi)$  при  $w = 10\%$

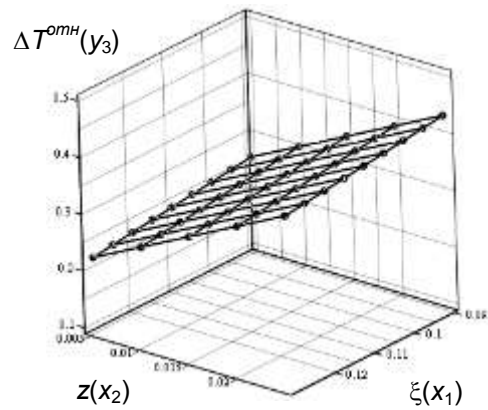


Рис. 10. Функциональная зависимость:  $\Delta T^{\text{отн}} = f(z, \xi)$  при  $w = 20\%$

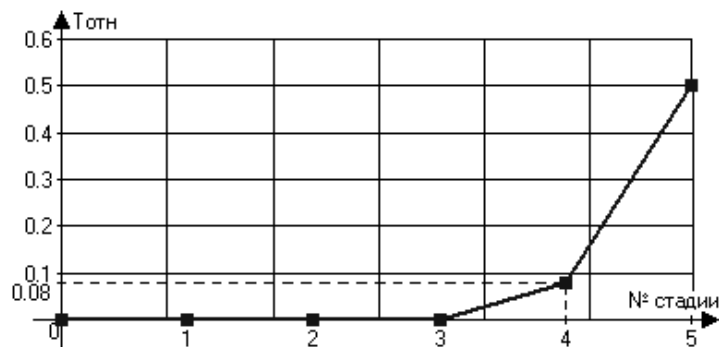


Рис. 11. Постадийный температурный градиент

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента по определению массопереноса в процессе уплотнения

№ п/п	$z^{\text{отн}}(x_1)$	$w(x_2)$	$\Delta m^{\text{отн}}(y_1)$
1	(+) 0,05	(+) 0,2	0,540
2	(+) 0,05	(-) 0,1	0,505
3	(-) 0,005	(+) 0,2	0,059
4	(-) 0,005	(-) 0,1	0,054

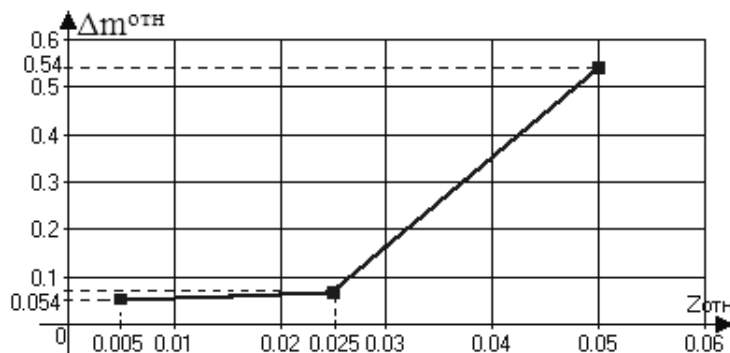


Рис. 12. Величина массопереноса в процессе уплотнения увлажненной смеси

Проведенные исследования позволяют существенно расширить эффективность процесса уплотнения порошковых материалов за счет рационального выбора влажности смеси, конструкции оснастки и транспортирующей жидкости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев В.Ю. Межчастичное сращивание при формировании порошковых горячедеформированных материалов / В.Ю. Дорофеев, С.Н. Егоров. М.: ЗАО Metallurgizdat, 2003. 152 с.

2. Гуляев А.П. Моя металлография / А.П. Гуляев // Металловедение и термическая обработка металлов. 1995. № 7. С. 28-36.

3. Кокорин В.Н. К стадийности прессования двухкомпонентных смесей с различным агрегатным состоянием / В.Н. Кокорин, М.В. Кокорин // Вестник УлГТУ. 2002. № 1. С. 38-41.

4. Радомысельский И.Д. Некоторые особенности уплотнения порошков на разных стадиях прессования / И.Д. Радомысельский, Н.И. Щербань // Порошковая металлургия. 1980. № 11. С. 12-19.

**Кокорин Валерий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета

**Kokorin Valeriy Nikolayevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Material Science and Metal Forming» of Ulyanovsk State Technical University

**Крупенников Олег Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Ульяновского государственного технического университета

**Krupennikov Oleg Gennadiyevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Manufacturing engineering» of Ulyanovsk State Technical University

**Груздев Дмитрий Павлович** – аспирант кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета

**Gruzdev Dmitriy Pavlovich** – Post-graduate Student of the Department of «Material Science and Metal Forming» of Ulyanovsk State Technical University

**Митюшкин Антон Александрович** – аспирант кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета

**Mityushkin Anton Aleksandrovich** – Post-graduate Student of the Department of «Material Science and Metal Forming» of Ulyanovsk State Technical University

**Сизов Николай Александрович** – аспирант кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета

**Sizov Nikolay Aleksandrovich** – Post-graduate Student of the Department of «Material Science and Metal Forming» of Ulyanovsk State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 504.4

**Т.В. Никитина, Н.А. Собгайда****УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ФИЛЬТРОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*Предложены направления по использованию отработанных сорбционных фильтров, изготовленных из отходов различных производств. Изучена возможность утилизации отработанных фильтров в качестве выгорающей добавки при производстве керамических изделий. Представлены технологические схемы изготовления фильтров и подготовки их в качестве выгорающей добавки.*

Утилизация отходов, фильтры, керамические изделия.

**T.V. Nikitina, N.A. Sobgaida****RECYCLING OF THE ADDITIVE EXHAUSTED FILTERS  
IN CERAMIC PRODUCTS MANUFACTURING**

*In the article recycling ways of waste manufacturing for sorbent filters are offered. The recycling possibility of exhausted filters as burning out additive is studied by the manufacture of pottery. Technological schemes of filters manufacturing and preparatory branch of ceramics manufacturing are presented at the use of burning out additive.*

Waste recycling, filters, ceramic products.

Отходы, наряду с выбросами и сбросами загрязняющих веществ, являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды. Негативное воздействие отходов выражается в поступлении в природную среду вредных химических и токсичных веществ, ведущих к загрязнению почв, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха. Отрицательным фактором является выведение из пользования значительных территорий, занятых санкционированными и несанкционированными свалками. Размещение отходов оказывает негативное воздействие на окружающую среду, предотвращение которого является одной из главных целей природоохранной деятельности. До 1990 года в СССР в системе Госснаба существовала система учета и использования вторичного сырья. Считалось, что использование вторичных материалов является мощным фактором ресурсосбережения. Для оказания эффективной научно-инженерной помощи в вопросах ресурсосбережения и использования вторичного сырья при Госснабе СССР функционировал специализированный институт вторичных ресурсов (ВИВР). При переходе к рыночной системе хозяйствования старые методы перестали работать, вместе с тем не были созданы условия, которые стимулировали бы сбор и использование вторичного сырья в новых условиях. Специализированные предприятия, занимавшиеся переработкой вторичных материалов, акционировались и частично перешли на другие виды деятельности, что привело к резкому уменьшению сбора и использования вторичного сырья. В Москве ежегодно утилизируется более миллиона тонн отходов, 45% из них подвергаются захоронению на полигоне и лишь 55% являются вторсырьем и перерабатываются. Не обошли эти проблемы и Саратовскую область, где ежегодно образуется около

3000 тыс. тонн различных отходов. В Саратове только для организации санкционированных полигонов отчуждается в среднем 3-5 гектаров почвы в год [1]. Поэтому решения проблемы утилизации и вторичной переработки отходов весьма актуальны, а работы в этом направлении являются своевременными.

На кафедре «Экология и охрана окружающей среды» ЭТИ СГТУ на протяжении нескольких лет занимаются проблемой вторичного использования промышленных отходов для изготовления фильтров – сорбентов для очистки сточных вод (СВ) [2-3]. Для их изготовления использовали следующие отходы предприятий Саратовской области:

- хлопкосодержащие волокно (ХСВ) – это пухообразный отход ткацкого производства, который образуется при процессе ткачества из хлопчатобумажных нитей;
- обрезки полиакрилонитрильных волокон (ПАНВ) – образуются при перематке и упаковке готового ПАНВ и представляют собой синтетический полимерный материал;
- терморасширенный графит (ТРГ) – представляет собой углеродные пеноструктуры, получаемые при быстром нагреве низкотемпературных соединений графита (НСВГ) или продуктов их гидролиза (ГСВГ).

Технологическая схема изготовления фильтров представлена на рис. 1. Она состоит из следующих этапов: при помощи дозаторов 1 ХСВ или ПАНВ и НСВГ в соотношении 3:1 (по массе) поступают в перемешивающее устройство 2. После перемешивания компонентов до гомогенного состояния смесь поступает в печь 3 для спекания ( $t = 450^{\circ}\text{C}$  и  $\tau = 8$  мин). После спекания полученный продукт выдерживается в сушильной камере 4, где происходит охлаждение и стабилизация его состава. Далее полученный материал для придания жесткости зашивается в сетку из полимерного материала 5 и укладывается в корпус фильтра 6 для очистки стоков. Отработанные фильтры поступают в шламонакопитель 7, а затем на утилизацию. Фильтры, полученные по данной технологии, обладают высокими сорбционными свойствами по отношению к ионам тяжелых металлов (ИТМ) до 70% и нефтепродуктам (НП) до 85%.

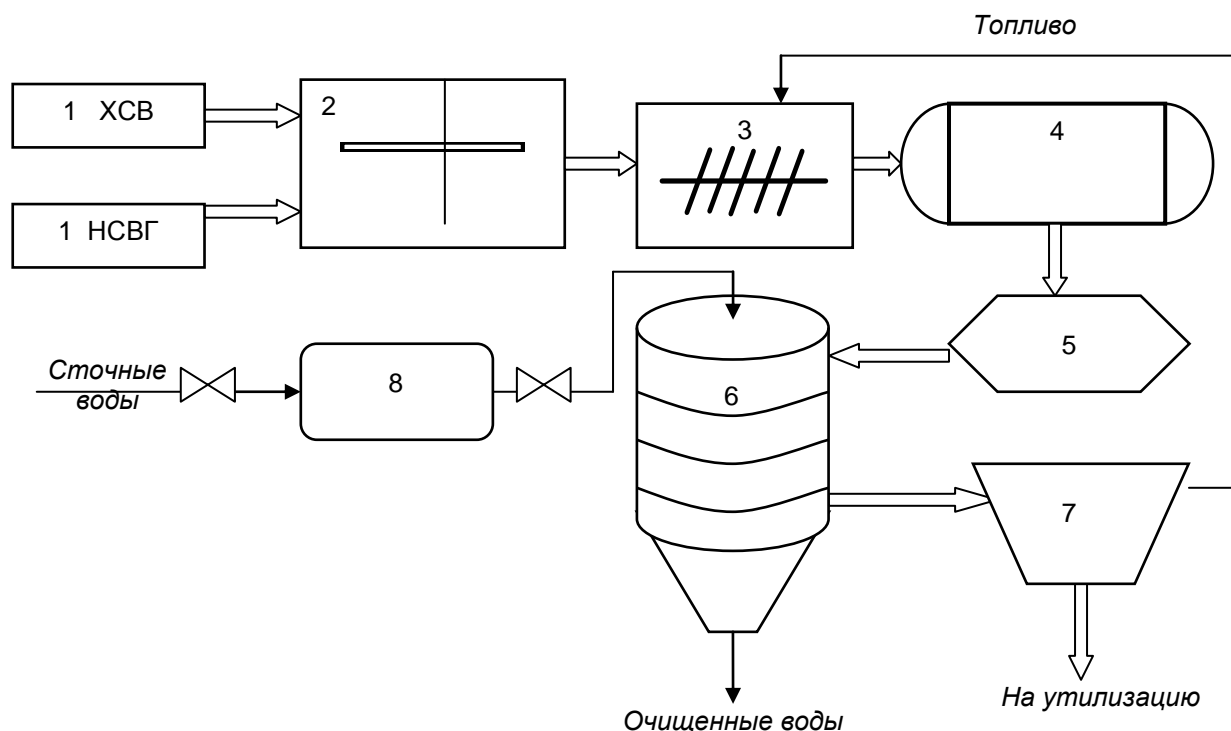




Рис. 1. Принципиальная технологическая схема изготовления СКФ:  
 1 – дозаторы ХСВ и НСВГ; 2 – смеситель; 3 – печь; 4 – сушильная камера;  
 5 – зашивка в корпус; 6 – фильтр; 7 – шламонакопитель; 8 – усреднитель сточных вод

После очистки сточных вод данные фильтры представляют собой вновь образованный отход, который необходимо регенерировать или утилизировать. Отработанные фильтры после очистки СВ от ИТМ могут быть регенерированы кислотой с последующей промывкой чистой водой. Данная процедура не экологична, водоемка и требует дополнительных затрат. Регенерацию фильтров после очистки от НП можно проводить путем термической обработки при температурах испарения НП, что энергозатратно. Более целесообразно, на наш взгляд, использовать отработанные сорбенты в качестве дополнительного топлива для изготовления самих же фильтров (рис. 1) или в качестве наполнителей для строительных материалов. С экономической точки зрения, выгоднее проводить утилизацию сорбентов по схеме, представленной на рис. 2.

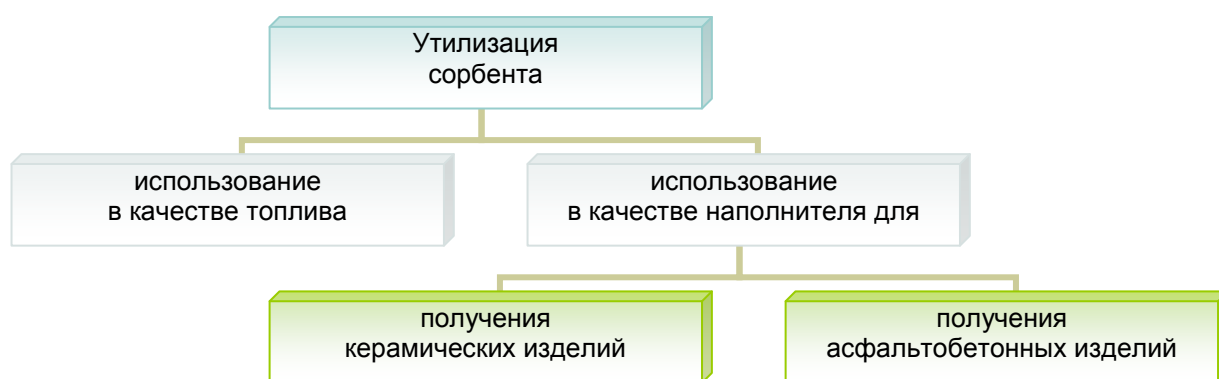


Рис. 2. Схема утилизации отработанных фильтров

При производстве строительных материалов нередко применяются различные добавки, которые положительно сказываются на их физико-механических характеристиках [4-5]. Например, в производстве керамики применяются добавки для регулирования свойств сырьевой массы и продукции. К ним относятся:

- поверхностно-активные вещества и высокопластичная глина, которые улучшают формовочные свойства массы;
- золы ТЭС, топливные и металлургические шлаки, уголь, улучшающие условия обжига;
- шамот, песок, дегидратированная глина, опилки, способствующие улучшению процесса сушки;
- уголь, опилки, являющиеся выгорающими добавками и уменьшающие плотность изделия;
- бой стекла, пиритные огарки, железная руда, повышающие прочность и морозостойкость изделий;
- мазут, обеспечивающий дополнительное внутреннее топливо;
- красители, жидкое стекло, поваренная соль, улучшающие цвет изделий, предотвращающие высолы, нейтрализующие известковые включения.

Нами изучена возможность использования отработанных фильтров в качестве выгорающей добавки при производстве керамических изделий. Выгорающие добавки применяются при производстве керамических кирпичей, блоков, камней и керамзита. В процессе обжига они выгорают, оставляя пустоты, размер которых зависит от размера частиц выгорающей добавки [5].

При производстве керамических кирпичей, камней и блоков в качестве выгорающих добавок применяются опилки – в количестве 10% от массы кирпича, мазут – дополнительное внутреннее топливо в количестве 9% от массы кирпича для обеспечения лучшей формуемости сырца (расход мазута на 1 т глины 90 л), вода в количестве 6% от массы кирпича (расход на 1 т глины 60 л воды) [4-5].

Сущность технологического процесса производства керамзита состоит в обжиге глиняных гранул, состоящих из смеси глины и выгорающей добавки. В качестве выгорающей добавки при производстве керамических изделий нами предложено использовать отработанные фильтры, состоящие из хлопчатобумажных или полиакрилонитрильных волокон и терморасширенного графита. Это возможно из-за схожести состава фильтров и традиционно применяемых выгорающих добавок, хлопчатобумажное волокно заменит опилки, ТРГ заменит уголь, сорбированные НП заменят мазут.

Данные дифференциального термогравиметрического анализа (ДТА) (рис. 3) показывают, что до 120°C происходит удаление воды, потеря по массе от 0 до 7%. Начало разложения компонентов фильтра (ХСВ и ТРГ) начинается при 300°C, при этом происходит разложение органических углеводородов (НП), сорбированных из сточных вод. Анализ кривой ДТА показывает, что разложение отработанного фильтра под действием температуры сопровождается экзотермическими эффектами в интервале 360-500°C. Это создает возможность применения данных отходов (отработанных фильтров) в качестве выгорающей добавки и благоприятно отразится не только на физико-механических свойствах керамики, но и на температурном режиме обжига и сушки керамических изделий. Выделение тепла при температурной обработке отработанных фильтров позволит не только снизить температуру обработки керамических изделий на 50-100°C, но и сократить время термической обработки на 1-2 часа при производстве керамических кирпичей и на 10-20 мин при производстве керамзитового гравия.

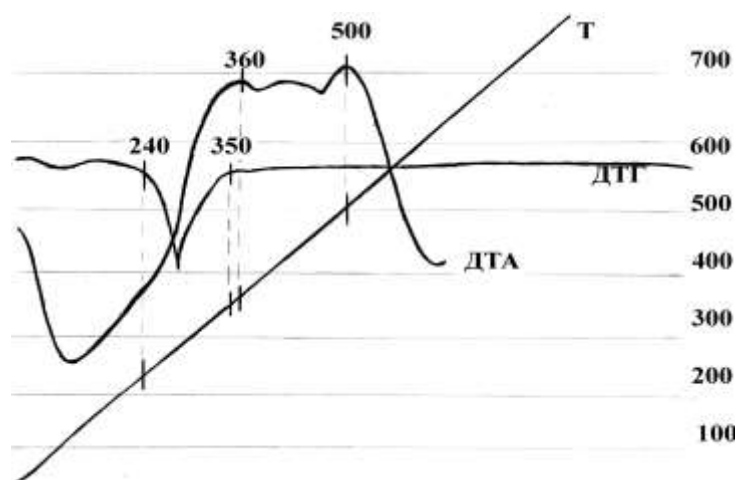


Рис. 3. Термогравиметрический анализ отработанного фильтра из ХСВ и ТРГ

Для утилизации отработанных фильтров в качестве выгорающей добавки по технологии (рис. 4) они должны пройти стадию измельчения. При больших размерах кускового материала (отработанные фильтры) и высокой прочности, измельчение проводят в 2 стадии: 1-я стадия – дробление до размера кусков 2-0,5 мм и 2-я стадия – помол до размера менее 0,5 мм.

Для измельчения фильтров и усреднения полученной массы предлагается использовать ножевую дробилку с подвижной плитой 5, которая является разновидностью молотковой дробилки. В качестве молотков используются остро заточенные ножи, подвижную плиту применяют вследствие повышенной, выше 15%, влажности фильтров. Дробилка измельчает фильтры до размера частиц от 0,5 до 2 мм. Измельченный материал поступает в бункер 4, а

затем на вальцы тонкого помола 3. По ленточному конвейеру 1 в бункер 4 одновременно поступает и глина, предварительно очищенная от камней, проходя через камневыделительные вальцы 2. На вальцах тонкого помола 3 происходит дополнительное совместное измельчение компонентов глины и отработанных фильтров, полученная смесь далее поступает в двухвальцовый смеситель 6, где происходит перемешивание массы до гомогенного состояния. В дальнейшем гомогенизированная масса используется для производства керамических изделий (кирпич, блоки, камни и керамзит).

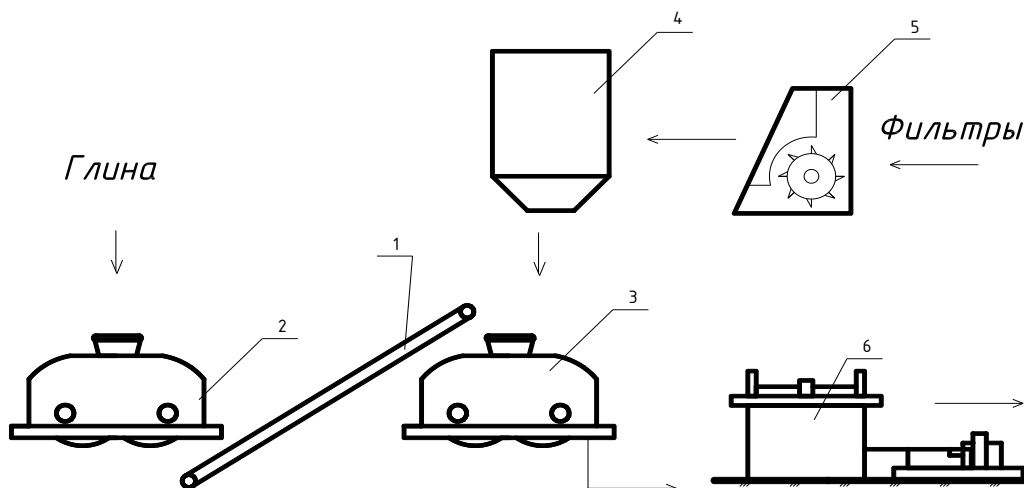


Рис. 4. Схема подготовительного отделения производства керамзита:

1 – ленточный конвейер; 2 – камневыделительные вальцы; 3 – вальцы тонкого помола; 4 – бункер с измельченными фильтрами; 5 – ножевая дробилка; 6 – двухвальцовый смеситель

Измельченные фильтры вводятся в качестве добавки в количестве 3-10% от массы глины, в зависимости от их влажности, состава и физико-механических характеристик производимой продукции с данной добавкой.

Технология с применением выгорающих добавок из отработанных фильтров позволяет получать изделия, удовлетворяющие физико-химическим, теплотехническим и эксплуатационным свойствам:

- керамический кирпич марки по прочности при сжатии 75, 100, 125, 150 и 200, плотностью 1300-1900 кг/м<sup>3</sup>, при коэффициенте теплопроводности не более 0,48-0,65 ккал/м;
- керамзитовый гравий с насыпной плотностью 350-600 кг/м<sup>3</sup>, и марок по прочности П. 75-П. 150.

В результате проделанной работы было показано, что использование отработанных фильтров из ТРГ, ХСВ и ПАНВ в качестве выгорающей добавки позволит:

- 1) изготовить керамические изделия (блоки, кирпичи, камни), с удовлетворяющими физико-химическими, теплотехническими и эксплуатационными свойствами;
- 2) сократить время сушки и обжига, тем самым снизить энергозатраты на 10-15%;
- 3) снизить коэффициент теплопроводности;
- 4) уменьшить температуру обработки керамических изделий на 50-100°С и сократить время термической обработки на 1-2 часа при производстве керамических кирпичей и на 10-20 мин при производстве керамзитового гравия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2008 г. / под ред. Н.М. Кечиной. Саратов, 2009. 320 с.

2. Влияние состава композиционного фильтра на эффективность очистки сточных вод промышленных предприятий / Н.А. Собгайда, Л.Н. Ольшанская, Т.В. Никитина, И.А. Захарова // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ). 2009. № 2. С. 33-36.

3. Собгайда Н.А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов композиционными фильтрами / Н.А. Собгайда, Т.В. Никитина, Л.Н. Ольшанская // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка применение. Экология. «Композит-2010»: материалы V Междунар. конф. Саратов: СГТУ, 2010. С. 428-431.

4. Горчаков Г.И. Строительные материалы: учеб. пособие для высших учебных заведений / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов; под общ. ред. Г.И. Горчакова. Владимир: Союзполиграфпром, 1986. 686 с.

5. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: учебник для высших учебных заведений / А.Г. Комар. Ярославль: МИР, 1988. 528 с.

**Никитина Татьяна Валерьевна** – аспирант кафедры «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Nikitina Tatiyana Valeriyevna** – Post-graduate Student of the Department of «Ecology and Environment Protection» of Engels Institute of Technology (branch) of Saratov State Technical University

**Собгайда Наталья Анатольевна** – кандидат химических наук, докторант кафедры «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Sobgaida Natalya Anatoliyevna** – Candidate of Chemical Sciences, Doctoral Student of the Department of «Ecology and Environment Protection» of Engels Institute of Technology (branch) of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 08.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 541.183

**О.А. Смирнова, А.В. Гороховский, С.А. Александрова, С.Н. Поляков**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТА ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КРАСИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Исследованы закономерности процесса взаимодействия полититаната калия, имеющего мольное соотношение  $TiO_2/K_2O = 4,2$ , с водными растворами индигоидного красителя. Показано, что адсорбция органических красителей на исследованном сорбенте сопровождается фотокаталитическим разложением молекул красителя, протекающим под действием солнечного излучения. Исследован механизм адсорбционных процессов, определены параметры изотерм адсорбции Лэнгмюра и Фрейндлиха. Проанализирован механизм фотокаталитического окисления. Предложена схема окис-*

*лительно-восстановительных процессов, протекающих в системе. Анализируется возможность использования наблюдаемого эффекта для очистки сточных вод красильных производств.*

Титанат калия, органические красители, адсорбция, фотокаталитическое окисление.

**O.A. Smirnova, A.V. Gorokhovskiy, S.A. Aleksandrova, S.N. Polyakov**

## **THE USE OF POTASSIUM POLYTITANATE FOR PHOTOCATALYTIC WASTE WATER PURIFICATION IN DYEING MANUFACTURE**

*The processes of potassium polytitanate interaction characterized with molar ratio of  $TiO_2/K_2O = 4.2$ , and aqueous solutions of indigo-like dye were investigated in the article. It was proved that dye adsorption on the investigated sorbent surface is accompanied by photo-catalytic degradation of the organic molecules induced by solar radiation. The mechanism of adsorption processes was analyzed, the parameters of Langmuir and Freindlich adsorption isotherms were determined. The mechanism of photo-catalytic oxidation processes taking place in the investigated systems was analyzed, redaction-oxidation of chemical reactions scheme was suggested. The possibility of effects application recognized in purification of waste water of dyeing manufacture system was considered.*

Potassium titanate, organic dyes, adsorption, photo-catalytic oxidation.

Загрязнение водоемов сточными водами, содержащими органические красители, представляет собой серьезную проблему. До 20% синтетических органических красителей, производимых в мире, теряются в процессе окраски волокон и тканей [1]. При этом разложение органических красителей под действием природных факторов (солнечная радиация, температурные воздействия) часто сопровождается образованием токсичных соединений, опасных для здоровья людей и животных [2, 3]. Поэтому очистка сточных вод красильных производств, с целью предотвращения загрязнения водоемов, представляет собой важную экологическую задачу. В связи с высоким содержанием солей в красильных растворах, использование традиционных биологических методов очистки не представляется возможным [4]. Проблема усугубляется также и тем, что под действием анаэробных бактерий азокрасители преобразуются в потенциально опасные для здоровья ароматические амины [5]. К вторичным загрязнениям приводит также использование методов адсорбции и коагуляции.

С этой точки зрения, как наиболее перспективные для очистки сточных вод красильных производств, рассматриваются технологии интенсивного фотокаталитического окисления [6, 7]. Особенностью рассматриваемой группы гетерогенных фотокаталитических процессов является образование радикалов  $OH\cdot$  и супероксидных ион-радикалов  $O_2^-$  за счет поглощения полупроводниковым катализатором кванта солнечного излучения при контакте с водой, содержащей растворенный кислород [8]. Наиболее распространенным катализатором подобного типа является оксид титана, обладающий высокой стойкостью к действию окислителей, долговременной стабильностью фотокаталитических свойств и не обладающий токсичными свойствами [9]. Однако серьезными недостатками оксида титана являются его низкая фотокаталитическая активность в видимом диапазоне спектра солнечного излучения ( $\lambda > 380$  нм), а также высокая скорость рекомбинации фотоиндуцированных электронов и дырок [10].

Таким образом, разработка новых видов полупроводниковых фотокатализаторов, обладающих более высокой фотокаталитической активностью в видимом диапазоне спектра солнечного излучения, представляет собой важную научную и прикладную задачу.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности применения синтетического производного оксида титана, известного под названием полититанат калия [11], представляющего собой полупроводник с более узкой шириной запрещенной зоны, по сравнению с оксидом титана (~2,3 эВ, против ~3 эВ у  $\text{TiO}_2$ ) и, следовательно, потенциально более активного в видимой области спектра.

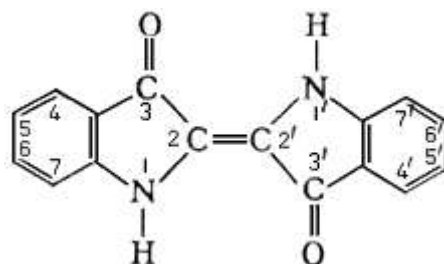
Полититанат калия синтезировали в соответствии с методикой, представленной в работе [11].

В качестве адсорбента использовали полититанат калия химической формулы  $\text{K}_2\text{O} \cdot 6,6\text{TiO}_2$ . Полититанат калия синтезировали при термической обработке реакционных смесей, содержащих: порошок оксида титана (анатаз, химически чистый, 99%-й чистоты) – 30 весовых частей, гидроксид калия (технический, 96%-й чистоты) – 30 весовых частей, нитрат калия (химически чистый, 99,5%-й чистоты). Обработку реакционной смеси проводили в тигле из высокоглиноземной керамики при температуре  $500^\circ\text{C}$  в течение 2 ч в муфельной печи типа СНОЛ-6. Синтезированный таким образом порошок промывали дистиллированной водой до полного удаления водорастворимых компонентов, а затем подвергали гидролитической обработке в 0,01н растворе серной кислоты до достижения постоянной величины водородного показателя 20% суспензии полититаната калия в полученном растворе, равной 6,3.

При этом порошок оксида титана (анатаз, марки х.ч.) со средним размером частиц 5 мкм подвергали обработке в расплаве, состоящем из  $\text{KOH}$  (8 масс.%) и  $\text{KNO}_3$  (92 масс.%) (химические реактивы марки х.ч.). Содержание  $\text{TiO}_2$  и солевого расплава в системе поддерживалось в весовом соотношении 1:10. Синтез проводили при  $500^\circ\text{C}$  в течение 2 ч в алундовом тигле с использованием муфельной электропечи Thermoline-2300. По окончании обработки содержание тигля отливали в дистиллированную воду, промывали и отфильтровывали полученный продукт с использованием фильтровальной бумаги № 42 и просушивали при  $50^\circ\text{C}$  в течение 6 ч.

Синтезированный таким образом полититанат калия представлял собой аморфный порошок, состоящий из частиц чешуйчатой формы, химический состав которого, по данным локального рентгеновского микроанализа (приставка SEM EDS-S60 DX90 к электронному сканирующему микроскопу Jeol-5800LV) определяется формулой  $\text{K}_2\text{O} \cdot 5,3\text{TiO}_2$ .

В качестве модельного органического красителя использовали индигоидный органический краситель, имеющий химическую формулу



Органический краситель (250 мг/л) растворяли в дистиллированной воде с добавлением хлорида натрия (30 г/л) и вводили в полученный раствор 1 г порошка полититаната калия. Кинетику удаления органического красителя из раствора определяли в соответствии с ГОСТ 4453-74 при температуре  $25^\circ\text{C}$  с использованием фотоколориметра марки КФК-3-01-«30МЗ». Остаточную концентрацию красителя находили с помощью калибровочной кривой по изменению оптической плотности на длине волны 560 нм.

Для анализа результатов исследований использовали следующую двухэтапную модель механизма удаления красителя из водного раствора.

1. Адсорбция молекул красителя на полтитанате калия.
2. Фотораспад адсорбированных молекул красителя за счет поглощения солнечного излучения и протекания фотокаталитической реакции.

Факт адсорбции индигоидного красителя на полтитанате калия подтверждается изменением окраски сорбента. Окраска полтитаната калия изменяется от белого цвета (коэффициент отражения излучения в видимой области спектра, согласно [12], составляет 97% при толщине слоя 3 мм) к ярко-синему. На рис. 1 и 2 представлены изотермы адсорбции красителя на полтитанате калия, построенные в координатах моделей Лэнгмюра (рис. 1) и Фрейндлиха (рис. 2).

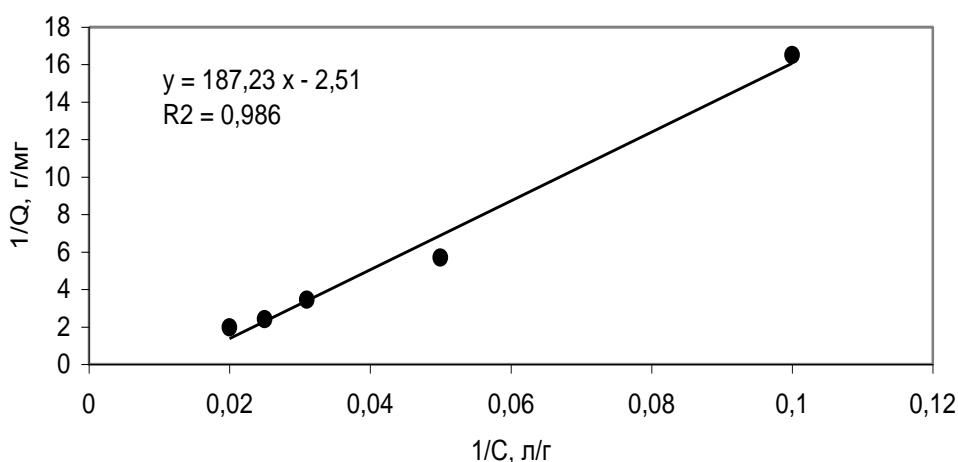


Рис. 1. Изотерма Лэнгмюра для адсорбции красителя на полтитанате калия

Данные, приведенные на рис. 1, показывают, что в целом адсорбция исследованного красителя на полтитанате калия проходит в соответствии с моделью Лэнгмюра; однако, в уравнении адсорбции Лэнгмюра

$$1/Q = 1/Q_{\max} + 1/(C \cdot b \cdot Q_{\max}), \quad (1)$$

где  $Q$  – адсорбция;  $Q_{\max}$  – предельная адсорбция (адсорбционная емкость адсорбента);  $C$  – концентрация красителя в растворе;  $b$  – адсорбционный коэффициент, несмотря на линейный характер зависимости  $1/Q$  от  $1/C$  ( $y = a \cdot x + b$ ), величина коэффициента  $b = 1/Q_{\max}$  имеет отрицательное значение, что указывает на невозможность достижения насыщения поверхности адсорбента молекулами красителя. Можно предположить, что причиной этого эффекта является фотокаталитическая активность полтитаната калия, приводящая к постепенному распаду адсорбированных органических молекул на  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , аналогично процессам, рассмотренным в работе [13], и адсорбции на их место новых молекул красителя, в результате чего насыщение поверхности сорбента молекулами адсорбата является принципиально недостижимым.

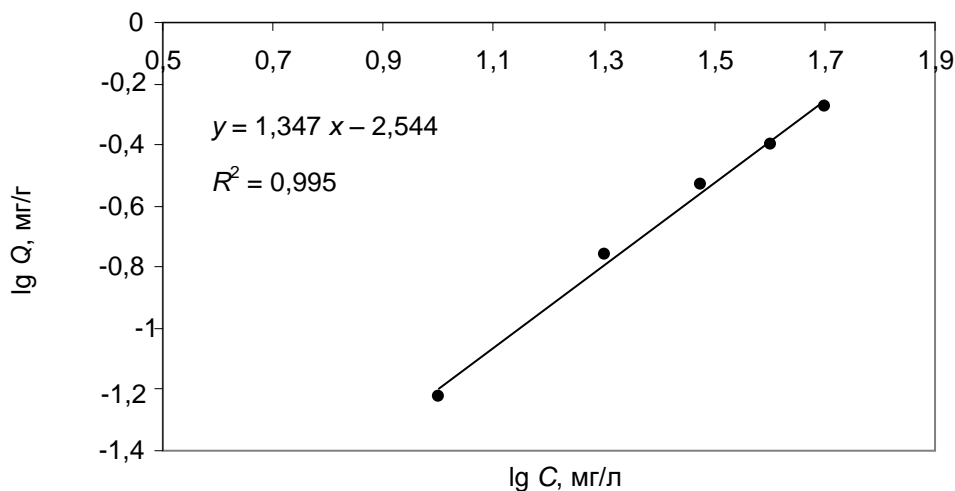


Рис. 2. Изотерма Фрейндлиха для адсорбции красителя на полтитанате калия

Кривая изотермы адсорбции Фрейндлиха (рис. 2) показывает, что количество красителя, адсорбированного полтитанатом калия в квазиравновесных условиях, соответствует уравнению изотермы Фрейндлиха

$$Q = k \cdot C^{1/n}, \quad (2)$$

где  $Q$  – адсорбция;  $C$  – концентрация красителя в растворе;  $k$  и  $1/n$  – константы. При этом величина  $1/n$  имеет дробное значение (1,35), что указывает на высокую энергетическую неоднородность поверхности полтитаната калия. Наблюдаемый эффект, очевидно, связан с тем, что полтитанат калия имеет слабо упорядоченную структуру с множеством дефектов различного характера [14].

Для подтверждения того, что полтитанат калия обладает фотокаталитической активностью по отношению к индигоидным красителям, исследовали изменение окраски адсорбента после достижения адсорбционного равновесия в системе: водный раствор индиго – полтитаната калия. С этой целью осадок полтитаната калия извлекали из стеклянного сосуда, в котором проводилась адсорбция, и в виде суспензии помещали между двумя кварцевыми стеклами, а затем измеряли коэффициент поглощения системы после экспонирования на солнце в течение различных временных периодов. На рис. 3 представлена полученная кинетическая кривая.

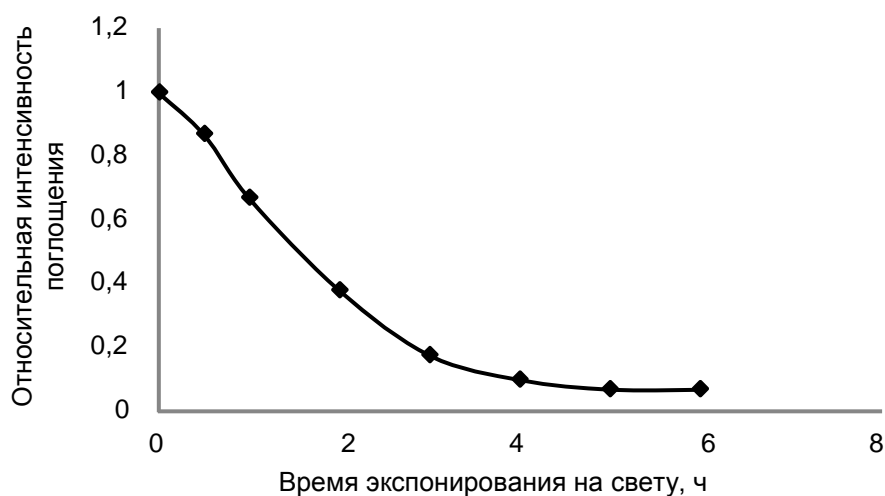




Рис. 3. Влияние времени экспонирования на солнце на относительную интенсивность поглощения излучения на длине волны 560 нм

Полученные результаты показывают, что интенсивно окрашенный после адсорбции красителя полититанат калия в течение 4 часов полностью теряет свою окраску, при этом процесс обесцвечивания сопровождается выделением пузырьков газа, свидетельствующим о распаде молекул красителя.

Таким образом, можно предложить следующую обобщенную схему механизма процесса фотоокисления органических красителей, адсорбированных полититанатом калия (ПТК):

- 1) Краситель + ПТК = Краситель<sub>адс</sub>
- 2) Краситель<sub>адс</sub> +  $h\nu$  = Краситель(+)<sub>адс</sub> + ПТК(е)
- 3) ПТК(е) +  $O_2$  = ПТК +  $O_2^-$ <sub>адс</sub>
- 4)  $O_2^-$ <sub>адс</sub> + Краситель(+)<sub>адс</sub> =  $CO_2$  +  $H_2O$  +  $NO_2$

На первом этапе протекает адсорбция красителя на поверхности полититаната калия, затем – адсорбированная молекула (Краситель<sub>адс</sub>) поглощает квант солнечного излучения, превращаясь в свою адсорбированную катионную форму (Краситель(+)<sub>адс</sub>) с переводом высвободившегося электрона в зону проводимости полититаната калия (ПТК(е)). Далее происходит адсорбция растворенного в воде кислорода на поверхности частиц полититаната калия, сопровождающаяся, за счет взаимодействия с ранее образовавшимся в структуре ПТК электроном, переводом молекулярного кислорода в форму адсорбированного пероксид-иона ( $O_2^-$ <sub>адс</sub>), который, в свою очередь, взаимодействуя с адсорбированной катионной формой красителя, приводит к его поэтапному окислению, вплоть до углекислого газа, воды и, в случае индигоидного красителя, некоторого количества оксида азота.

Исследование проводилось в рамках проекта, поддержанного ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, направление «Создание мембран и каталитических систем», ГК № П869.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water / A. Houas, H. Lachheb, M. Ksibi et al. // *Applied Catalysis. B: Environmental*. 2001. Vol. 31. P. 145-157.
2. Photocatalytic Degradation of Acid Blue 80 in Aqueous Solutions Containing  $TiO_2$  Suspensions / A. Bianco-Prevot, C. Baiocchi, M.C. Brussino et al. // *Environment Science and Technology*. 2001. Vol. 35. P. 971-976.
3. Saquib M.  $TiO_2$ -mediated photocatalytic degradation of triphenylmethane dye (gentian violet), in aqueous suspensions / M. Saquib, M. Muneer // *Dyes and Pigments*. 2003. Vol. 56. № 1. P. 37-49.
4. Arslan I. Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study / I. Arslan, I.A. Balcioglu // *Dyes and Pigments*. 1999. Vol. 43. № 2. P. 95-108.
5. Baughman G.L. Transformation of Dyes and Related Compounds in Anoxic Sediment: Kinetics and Products / G.L. Baughman, E.J. Weber // *Environment Science and Technology*. 1994. Vol. 28. P. 267-276.
6. Decolourization of textile industry wastewater by the photocatalytic degradation process / C. Hachem, F. Bocquillon, O. Zahraa, M. Bouchy // *Dyes Pigments*. 2001. Vol. 49. P. 117-125.
7. Decomposition of aniline in supercritical water / X.-H. Qi, Y.-Y. Zhuang, Y.-C. Yuan et al. // *Materials*. 2002. Vol. 90. № 1. P. 51-62.
8. Herrmann J.-M. Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants / J.-M. Herrmann // *Catalysis Today*. 1999. Vol. 53. P. 115-129.

9. Pirkanniemi K. Heterogeneous Water Phase Catalysis as an Environmental Application: A Review / K. Pirkanniemi, M. Sillanpaa // *Chemosphere*. 2002. Vol. 48. P. 1047-1060.

10. Sonawane R.S. Preparation and photo-catalytic activity of Fe-TiO<sub>2</sub> thin films prepared by sol-gel clip coating / R.S. Sonawane, B.B. Kale, M.K. Dongare // *Materials Chemistry and Physics*. 2004. Vol. 85. № 1. P. 52-57.

11. Sanchez-Monjaras T. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O molar ratio / T. Sanchez-Monjaras, A.V. Gorokhovskiy, J.I. Escalante-Garcia // *Journal of the American Ceramic Society*. 2008. Vol. 91. № 9. P. 3058-3065.

12. Síntesis y caracterización de adsorbentes cerámicos basados en polititanatos de potasio y vidrio SiO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-R<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / M.A. Aguilar González, A.V. Gorokhovskiy, A. Aguilar Elquezabal, J.I. Escalante García // *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2008. Vol. 47. № 1. P. 29-34.

13. Tailored titanium dioxide photocatalysts for the degradation of organic dyes in wastewater treatment: A review / Fang Han, Venkata Subba Rao Kambala, Madapusi Srinivasan, Dharmarajan Rajarathnam, Ravi Naidu // *Applied Catalysis A: General* 359. 2009. № 1. P. 25-40.

14. Synthesis of potassium polytitanate precursors by treatment of TiO<sub>2</sub> with molten mixtures of KNO<sub>3</sub> and KOH / A.V. Gorokhovskiy, J.I. Escalante-García, T. Sánchez-Monjarás, C.A. Gutiérrez-Chavarría // *Journal of the European Ceramic Society*. 2004. Vol. 24. № 13. P. 3541-3546.

**Смирнова Ольга Алексеевна** –  
кандидат химических наук,  
доцент кафедры «Химия»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Smirnova Olga Alekseyevna** –  
Candidate of Chemical Sciences,  
Associate Professor  
of the Department of «Chemistry»  
of Saratov State Technical University

**Гороховский Александр Владиленович** –  
доктор химических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Химия»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Gorokhovskiy Aleksandr Vladilenovich** –  
Doctor of Chemical Sciences, Professor,  
Head of the Department of «Chemistry»  
of Saratov State Technical University

**Александрова Светлана Александровна** –  
студентка Саратовского государственного  
университета им. Н.Г. Чернышевского

**Aleksandrova Svetlana Aleksandrovna** –  
Student of Saratov State University  
named after N.G. Chernyshevskiy

**Поляков Станислав Николаевич** –  
студент Саратовского государственного  
технического университета

**Polyakov Stanislav Nikolayevich** –  
Student  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 08.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 546.72

**Г.Ю. Юрков, И.Д. Кособудский, А.Н. Волков,  
Е.А. Овченков, Ю.А. Кокшаров, О.В. Попков**

**СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ,  
ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА КРЕМНИЯ**

*Методом термического разложения металлсодержащих соединений и восстановлением железосодержащих солей были синтезированы железосодержащие наночастицы. Наночастицы были синтезированы на поверхности микрогранул оксида кремния и высокопористого оксида кремния (аэросила). Полученные композиты были исследованы методами ПЭМ, РФА, ЭМР. На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что, используя оба метода, можно получить как однородные наночастицы, так и наночастицы сложной структуры типа «core-shell».*

Железо, наночастицы, нанокompозиты, физико-химические методы исследования.

**G.Yu. Yurkov, I.D. Kosobudskiy, A.N. Volkov,  
E.A. Ovchenkov, Yu.A. Koksharov, O.V. Popkov**

### **SYNTHESIS AND PROPERTIES OF IRON-CONTAINING NANOPARTICLES ON SILICA DIOXIDE SURFACE**

*Iron-containing nanoparticles were synthesized by the means of thermal destruction of metal-containing compounds and were immobilized on silica microgranules surface. Also, iron-containing nanoparticles on high porosity silica (fumed silica) surface were prepared by the reduction of water solutions iron salts. The produced composites have been studied by the means of TEM, XRD, EMR. Based on the acquired data we suggest that both methods allow producing mono- or multiphase (core-shell) nanoparticles.*

Iron, nanoparticles, nanocomposites, physical-chemical methods.

#### **Введение**

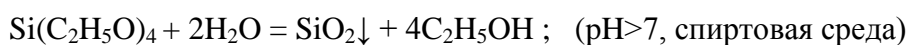
Микрогранулы оксида кремния, получаемые по методу Штобера – Финка, находят широкое применение в оптике, электронике, катализе и биологии [1]. Размер получаемых этим методом микрогранул можно варьировать в диапазоне 100-2000 нм. Расширение сферы применения данного материала может быть достигнуто получением железосодержащих наночастиц на поверхности микрогранул оксида кремния. Наночастицы, будучи закреплёнными на поверхности, в значительной степени теряют способность к компактированию и агрегации, в то же время сохраняя свои уникальные свойства – такие, как высокая удельная поверхность, высокая реакционная способность и др. Хорошо изученные свойства микрогранул, а также их более крупный размер позволяют с большей уверенностью оперировать с агрегатами микрогранула-наночастица. Так, например, возможно получение разнообразных материалов, структурным элементом которых является микрогранула оксида кремния, таких как плёнки, покрытия, объёмные образцы, или же получать гетерогенные системы: золи, аэрозоли и т.д. С другой стороны, покрытие микрогранул наночастицами способно существенно изменить свойства последних, что может обуславливать новые практические применения в электронике [2], создании дисплеев [3], решении энергетических проблем [4, 5] и других задач [6-8].

Целью данного исследования было сравнение магнитных свойств железосодержащих образцов одинакового химического состава, но полученных разными методами.

### Экспериментальная часть

Синтез проводился двумя способами. В качестве матрицы для образца № 1 были использованы микрогранулы оксида кремния, т.к. в отличие от аэросила при условиях синтеза они практически не содержат адсорбированный кислород, который приводит к полному окислению наночастиц.

Синтез образцов первого типа состоял из двух этапов: синтез микрогранул и синтез железосодержащих наночастиц. Молярное соотношение между реагентами: тетраэтоксисилан (ТЭОС), этиловый спирт (96% масс.), вода (в составе этилового спирта и аммиака), аммиак (32% масс.) было соответственно 1:50:300:200. Все реагенты кроме ТЭОС тщательно смешивались, реакция инициировалась добавлением капли ТЭОС в раствор, после этого смесь интенсивно перемешивалась в течение 2 часов, образовавшийся раствор отстаивался в течение нескольких дней. Выпавший осадок промывался этиловым спиртом 3 раза и далее сушился на воздухе без нагревания несколько дней. Для удаления воды и адсорбированных примесей с микрогранул оксида кремния, полученный образец прокаливали при 300°C в вакууме.



Далее осуществлялось термическое разложение металлсодержащих соединений на поверхности микрогранул оксида кремния [9]. Навеску полученного оксида кремния разогревали до 300°C в атмосфере аргона. Синтез железосодержащих наночастиц заключался в добавлении расчетного количества раствора  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  в гексане к микрогранулам  $\text{SiO}_2$ . В результате экспериментов образовывался черный порошок, который в течение 1 ч прокаливали при 350°C в атмосфере аргона, для полноты прохождения реакции разложения пентакарбонила железа:



Во втором случае синтез осуществлялся в один этап. К навеске кристаллогидрата хлорида железа (III) добавлялась навеска аэросила в массовом соотношении 1:1, добавлялся ПАВ (этилгексадецилдиметиламмоний бромид) и гексанол. В приготовленный раствор добавлялась смесь петролейного эфира и воды в соотношении 1:2 при интенсивном перемешивании, соответственно. Реакционная смесь нагревалась до 60-70°C. Через 60 мин в реакционную смесь по каплям добавляли избыток водного раствора аммиака, время введения аммиака 10 мин. Через полчаса после добавления аммиака синтез прекращали и полученный осадок коричневого цвета промывался дистиллированной водой и далее высушивался на воздухе при температуре 250°C в течение 3 часов.

### Результаты и обсуждения

Для установления состава частиц был использован рентгенофазовый анализ (РФА). Рентгенофазовый анализ образцов № 1 и № 2 проводился при помощи рентгеновских дифрактометров Дрон-3 и Shimadzu XRD 6000 на медном излучении.

Определение размеров частиц и топографии поверхности носителя осуществляли при помощи просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Исследование осуществлялось на микроскопе JEOL JEM 100B. Спектры электронного магнитного резонанса (ЭМР) записывались при помощи радиоспектрометра VARIAN E4. Измерения кривых намагничивания проводились при комнатной температуре с использованием вибромагнетометра EG&G PAR-155.

На рис. 1 представлены фотографии микрогранул оксида кремния, полученных методом Штобера, средний размер микрогранул 257 нм. На рис. 2 представлены те же микрогранулы после металлизации. На поверхности микрогранул можно наблюдать железосодержащие наночастицы со средним размером  $\approx 15$  нм. Как видно из рис. 2, наночастицы достаточно равномерно покрывают поверхность микрогранул.

Из данных микроскопических исследований образца 2 (рис. 3) невозможно определить размер железосодержащих наночастиц на поверхности аэросила, поскольку тёмные

точки на фотографии могут являться как локальными утолщениями оксида кремния, так и железосодержащими наночастицами.

На дифрактограмме образца № 1 (рис. 4) присутствует набор максимумов, которые можно отнести к  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $2\theta = 35,6^\circ$ ,  $43,3^\circ$  и  $62,9^\circ$  (JCPDS PDF2 39-1346) и  $\alpha\text{-Fe}$   $2\theta = 44,7^\circ$  и  $65,0^\circ$  (JCPDS PDF2 06-0696). Расчёт областей когерентного рассеяния по формуле Селякова-Шеррера даёт средний размер кристаллитов  $\approx 30$  нм. Разница в размерах частиц, определенных из данных РФА и ПЭМ, не противоречит известным закономерностям при определении размера частиц разными методами [10].

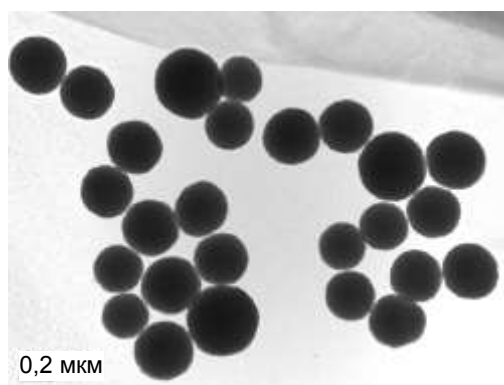


Рис. 1. Типичная ПЭМ микрофотография микрогранул до металлизации, средний размер – 257 нм

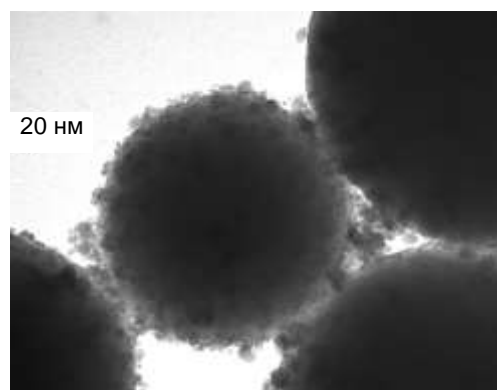


Рис. 2. Микрофотография образца № 1 с наночастицами оксида железа на поверхности микрогранул оксида кремния

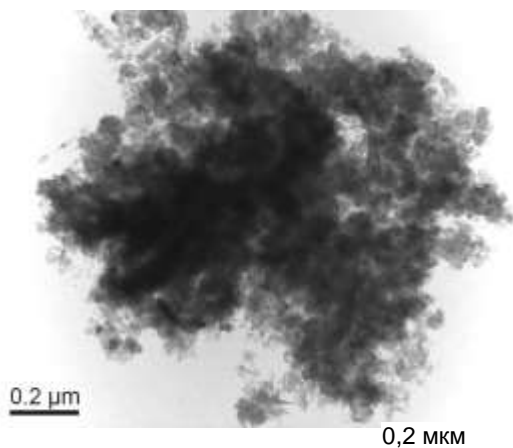


Рис. 3. Микрофотография образца № 2

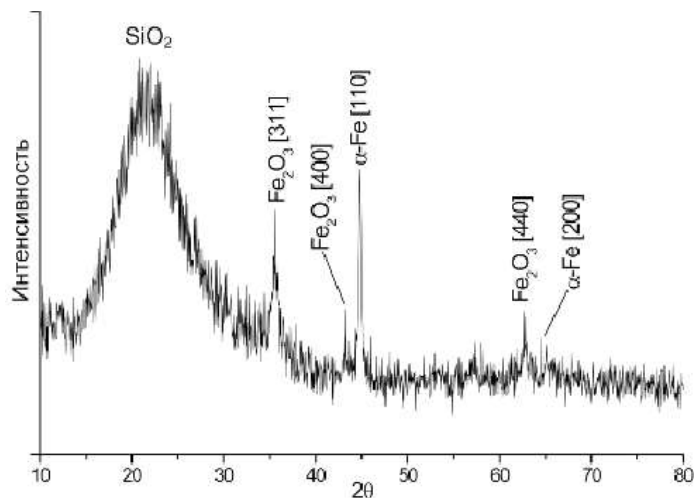


Рис. 4. Дифрактограмма образца № 1 с железосодержащими наночастицами на поверхности микрогранул  $\text{SiO}_2$

Присутствие двух компонент в образце № 1 также подтверждает ход кривой ЭМР-спектра (рис. 5). Существенно несимметричная форма сигнала свидетельствует о присутствии двух или более магнитных фаз. Уменьшение ширины и увеличение амплитуды сигнала с ростом температуры характерны для суперпарамагнитных наночастиц железа. Можно предположить, что железосодержащие наночастицы в образце № 1 имеют неоднородный химический состав с оксидной оболочкой снаружи и с металлической фазой внутри.

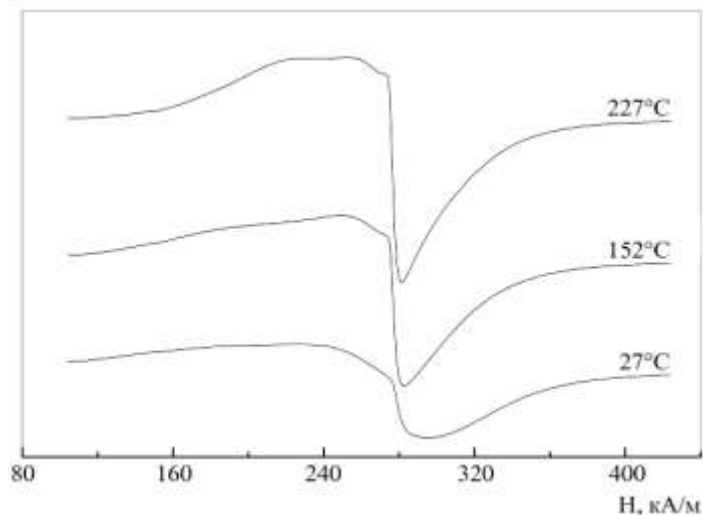


Рис. 5. ЭМР спектр образца № 1 при различных температурах

На дифрактограмме образца № 2 (рис. 6) также присутствует набор максимумов, характерных для маггемита  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $2\theta = 30,2^\circ, 35,6^\circ, 43,3^\circ, 53,7^\circ, 57,3^\circ$  и  $62,9^\circ$  (JCPDS PDF2 39-1346). Максимумы, характерные для металлического железа, на данном спектре отсутствуют. Области когерентного рассеяния, рассчитанные по формуле Селякова – Шеррера, дают размер кристаллитов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , равный  $\approx 20$  нм.

Наблюдаемый для образца № 2 очень широкий сигнал ЭМР (рис. 7) может быть обусловлен либо большим разбросом наночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  по размерам, либо объединением их в агломераты, что косвенно доказывают данные ПЭМ. Известно, что агломераты наночастиц, как правило, усиливают магнитные свойства композиций за счет коллективных взаимодействий. Поскольку сигнал ЭМР образца № 2 заметно слабее, чем образца № 1, то более вероятно, что причина уширения сигнала ЭМР в образце № 2 заключается в разбросе частиц по размерам.

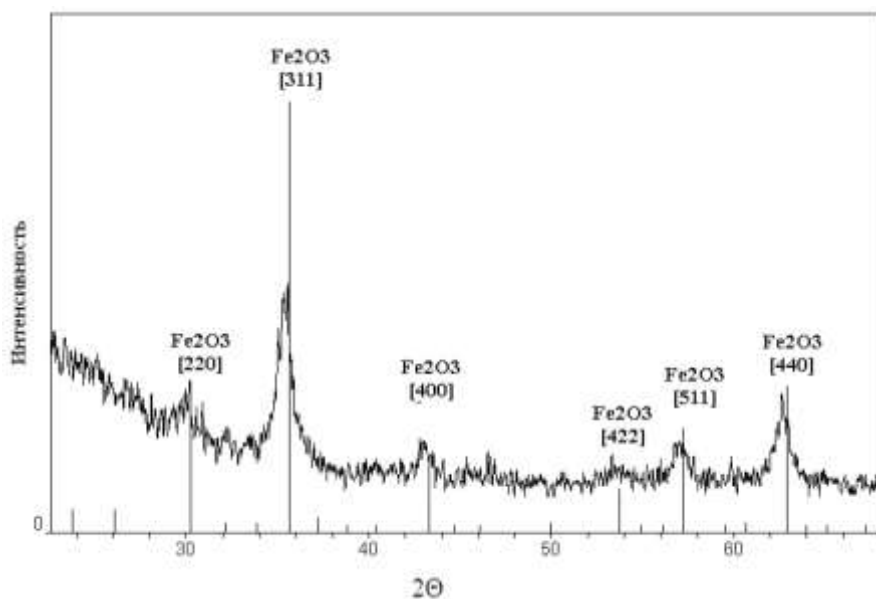


Рис. 6. Дифрактограмма образца № 2

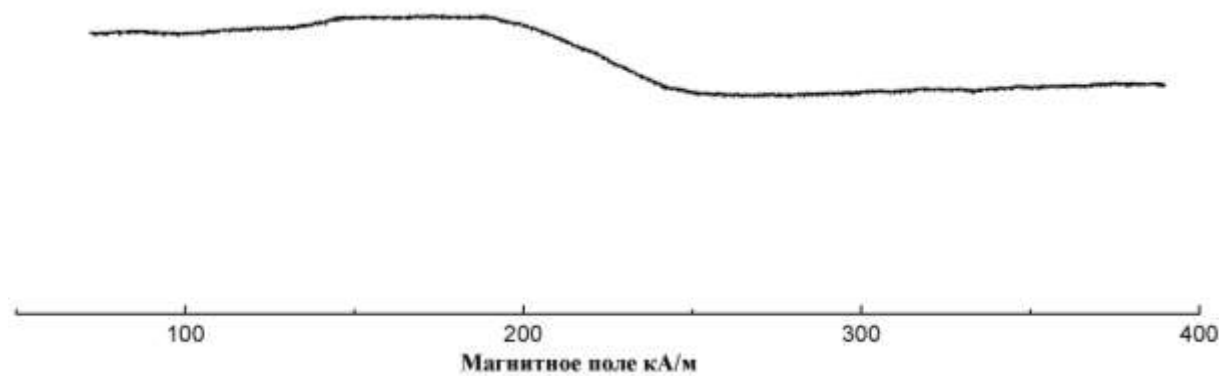


Рис. 7. ЭМР спектр образца № 2 при комнатной температуре

Результаты измерений зависимости намагниченности от приложенного поля для образца № 2 приведены на рис. 8. Образец демонстрирует близкое к суперпарамагнитному поведение. Небольшой гистерезис, с величиной коэрцитивной силы около 6 кА/м, может быть следствием диполь-дипольного взаимодействия агломерированных частиц.

Полевые и температурные зависимости намагниченности ансамбля однородных по размерам суперпарамагнитных частиц описываются выражением

$$M = M_s L\left(\frac{m\mu_0 H}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $L(x) = \coth(x) - 1/x$  – функция Ланжевена;  $M_s$  – момент насыщения образца;  $m$  – магнитный момент отдельной частицы;  $H$  – величина поля;  $k$  – постоянная Больцмана;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума;  $T$  – температура.

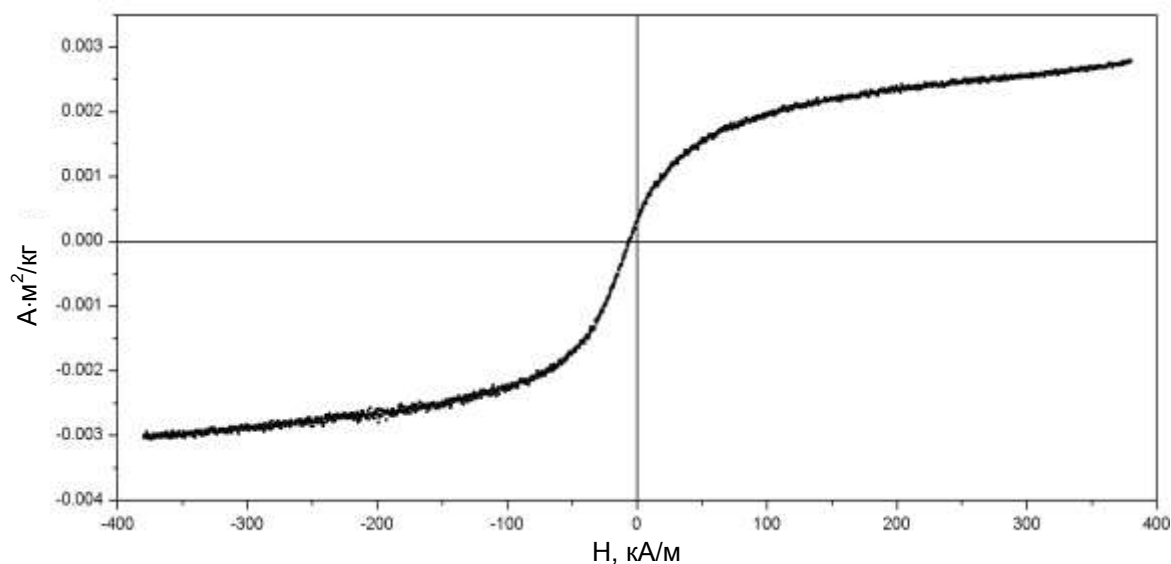


Рис. 8. Зависимость намагниченности образца № 2 от внешнего магнитного поля при комнатной температуре

В случае ансамбля неоднородных по размерам частиц выражение (1) принимает вид:

$$M = M_s \int_0^{\infty} f(m) L\left(\frac{m\mu_0 H}{kT}\right) dm, \quad (2)$$

где  $f(m)$  – функция распределения частиц по значениям магнитного момента частиц.

Функции Ланжевена  $L(x)$  при  $x \rightarrow$  (бесконечность) ведет себя как  $1-1/x$ . Тогда из выражения (1) получаем:

$$M = M_s \left( 1 - \frac{kT}{m\mu_0 H} \right). \quad (3)$$

Таким образом, величина  $m$  может быть определена из наклона кривой зависимости  $M(1/(\mu_0 H))$ , при  $1/H \rightarrow 0$ . Для случая неоднородных частиц из наклона зависимости  $M(1/(\mu_0 H))$  может быть определен средний эффективный магнитный момент частиц  $m_{eff}$ . Используя уравнение (2), мы можем получить выражение для данной величины:

$$\frac{1}{m_{eff}} = \int_0^{\infty} \frac{f(m)dm}{m}. \quad (4)$$

Для образца № 2 средний эффективный момент, полученный из линейной аппроксимации участка зависимости  $M(1/(\mu_0 H))$ , построенной для полей выше 300 кА/м, равен 7000  $\mu_B$  (магнетонам Бора). Если считать, что значения удельного магнитного момента и плотности частиц совпадают со значениями для кристаллической формы материала (57 Ам<sup>2</sup>/кг и 5240 кг/м<sup>3</sup> соответственно), то объем частиц равен  $0,22 \cdot 10^{-24}$  м<sup>3</sup>. Полученное значение объема соответствует диаметру частиц около 7,5 нм.

Следует отметить, что размер частиц, определенный из магнитных измерений, обычно заметно меньше размеров, определенных методами электронной микроскопии или рентгеновской дифракции. Основной причиной этого является уменьшение намагниченности в поверхностном слое вследствие разупорядочения магнитных моментов и нарушения химической структуры частиц.

#### **Выводы.**

1. Получены микрогранулы оксида кремния методом Штобера – Финка, установлен их размер.

2. Получены железосодержащие наночастицы, стабилизированные на поверхности синтезированных микрогранул SiO<sub>2</sub>, равномерно покрывающие поверхность микрогранул.

3. Установлены размер и состав синтезированных железосодержащих наночастиц в синтезированных образцах. Показано, что наночастицы в образце № 1 имеют структуру ядро-оболочка, где  $\alpha$ -Fe – ядро, а Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на поверхности, в то же время в образце № 2 находятся частицы со структурой маггемита Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Средний размер частиц в образце № 1 составляет  $\approx 15 \pm 5$  нм, а в образце № 2  $\approx 30$  нм.

4. Методом ЭМР установлено, что железосодержащие наночастицы в образце № 1 суперпарамагнитны при температурах выше комнатной, что согласуется с данными ПЭМ.

5. Различие в ширине сигналов ЭМР в исследуемых образцах свидетельствует о заметно меньшем разбросе размеров наночастиц в случае синтеза по методу Штобера-Финка.

6. Большое различие величин размеров частиц, полученных с помощью ПЭМ и статической магнитометрии, свидетельствует о существенном подавлении магнетизма в наночастицах, полученных на аэросиле.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 10-08-00616 и 10-08-90421-Укр\_а).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Stober W. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range / W. Stober, A. Fink, E. Bohn // Journal of Colloid and Interface Sciences. 1968. Vol. 26. P. 62-69.
2. Nanometric dry powder coatings using a novel process / J.M. Fitz-Gerald, R.K. Singh, H. Gao, S.J. Pennycook // Kona. Powder and Particles. 1999. Vol. 17. P. 173-182.



3. Degradation Proof Modification of ZnS-Based Phosphors with ZnO Nanoparticles / T. Igarashi, T. Kusunoki, K. Ohno et al. // *Materials Research Bulletin*. 2001. Vol. 36. P. 1317-1324.

4. Ramesh S. Synthesis and characterization of submicrospherical silica particles uniformly coated with nanocrystalline yttria stabilized zirconia / S. Ramesh, E. Sominska, A. Gedanken // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2002. Vol. 9. P. 61-64.

5. 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 // *Electrochemical and solid-state letters*. 2002. Vol. 5. P. A99-A102.

6. Fu X. Synthesis of titania-coated silica nanoparticles using onco-ionic water-in-oil / X. Fu, S. Qutubuddin // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001. Vol. 178. P. 151-156.

7. Diaz G. CuO-SiO<sub>2</sub> Sol-Gel Catalysts: Characterization and Catalytic Properties for NO Reduction / G. Diaz, R. Perez-Hernandez, A. Gomez-Cortes // *Journal of Catalysis*. 1999. Vol. 187. P. 1-14.

8. Nasr-Allah M. Deraz. Surface and catalytic properties of Cu/Zn mixed oxide catalysts / M. Deraz Nasr-Allah // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001. Vol. 190. P. 251-260.

9. Butter K. Synthesis and properties of iron ferrofluids / K. Butter, A.P. Philipse, G.J. Vroege // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2002. Vol. 252. P. 1-3.

10. Characterization of a Nanosized Iron Powder by Comparative Methods / L.J. Kecskes, R.H. Woodman, S.F. Trevino et al. // *Kona. Powder and Particles*. 2003. Vol. 21. P. 143-150.

**Юрков Глеб Юрьевич –**

доктор технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
Института металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

**Yurkov Gleb Yuriyevich –**

Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor, Head Researcher  
of the Institute of Metallurgy  
and Material Science named after A.A. Baikov

**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

**Волков Андрей Николаевич –**

аспирант  
Института металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

**Volkov Andrey Nikolayevich –**

Post-graduate Student  
of the Institute of Metallurgy and Material  
Science named after A.A. Baikov

**Овченков Евгений Анатольевич –**

кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник кафедры  
«Физика низких температур»  
Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова

**Ovchenkov Evgeniy Anatoliyevich –**

Candidate of Physical-Mathematical Sciences,  
Researcher of the Department  
of «Low Temperature Physics»  
of Moscow State University  
named after M.V. Lomonosov

**Кокшаров Юрий Алексеевич –**

кандидат физико-математических наук,

**Koksharov Yuriy Alekseyevich –**

Candidate of Physical-Mathematical Sciences,

старший преподаватель  
кафедры «Общая физика»  
Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова

Senior Lector of the Department  
of «General Physics»  
of Moscow State University  
named after M.V. Lomonosov

**Попков Олег Владимирович** –  
аспирант  
Института металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

**Popkov Oleg Vladimirovich** –  
Post-graduate Student  
of the Institute of Metallurgy and Material  
Science named after A.A. Baikov

*Статья поступила в редакцию 11.05.10, принята к опубликованию 30.06.10*

---

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 519.95

**М.А. Ахмедов, В.А. Мустафаев, Ш.М. Джафарова****РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ**

*Рассматриваются постановка и анализ задачи моделирования гибких производственных систем (ГПС). Обосновываются подход к формализации решения таких задач на основе алгебраических сетей Петри (СП) и создание инструментальных программных средств для проведения имитационных экспериментов предполагаемых ГПС на этапе предварительного проектирования.*

Гибкая производственная система, модель функционирования.

**M.A. Akhmedov, V.A. Mustafayev, Sh.M. Jafarova****THE DEVELOPMENT OF FUNCTIONING MODEL  
OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM ACTIVE ELEMENTS**

*Simulation problem of flexible manufacturing system (FMS) is considered in the article. The method of such problems solution on the base of Petri algebra net and software for experiment imitation of flexible manufacturing module on the stage of initial design is under research.*

Flexible manufacturing system, functioning model.

Методы создания моделей ГПС и их исследования предполагают представление имеющихся данных в виде специальных формальных объектов, удобных для проведения над ними вычислительных и имитационных экспериментов на компьютере. Решение таких задач связано с применением специальных методов построения синхронных и асинхронных моделей дискретных систем. При моделировании асинхронных систем [1, с.79] в качестве базовой информации используются данные о логической взаимосвязи событий в системе. Данные о моментах времени наступления событий, интервалах реализации, тактированных временных шкалах и шкалах опорных моментов не используются. При необходимости включения в модели данных, связанных с моментами и интервалами времени, эти моменты и интервалы представляют в виде событий, а их взаимосвязь с другими событиями описывают в виде логических отношений. Причинно-следственная связь событий в асинхронных системах задается множеством отношений, представляющих собой пары «ситуация → действие», «причина → следствие» и т.п. Построение

полной структуры таких отношений для ГПС является сложной задачей. Использование структурированной информации о предметной области моделирования ГПС позволяет существенно упростить эту работу. Среди этих методов наибольшую известность получил математической аппарат моделирования СП и их различных расширений.

В данной работе рассматриваются вопросы разработки модели гибких производственных модулей (ГПМ) с применением алгебраических СП, активным элементам которых присущи следующие основные особенности [2, с.37]: каждый активный элемент представляет собой систему, поведение которой можно описать независимо от других систем, входящих в состав ГПМ; все активные элементы имеют свои цели и способы достижения этих целей; достижение цели отдельно взятого активного элемента осуществляется целенаправленно во взаимодействии с другими активными элементами для достижения цели всего ГПМ; активный элемент функционирует с соблюдением принципа согласованности, т.е. переход из одного состояния в другое выполняется только после получения сигнала об окончании предыдущего перехода; допускаются одновременные непротиворечивые переходы в нескольких активных элементах (параллелизм); длительности переходов в различных активных элементах не регламентируются и на них отсутствуют ограничения (асинхронность); операции, выполненные в цикле, имеют свои приоритеты и выполнение операции с низшим приоритетом может осуществляться лишь после окончания операции с высшим рангом приоритета (иерархичность).

Модель активных элементов ГПМ представляется в виде алгебраических СП [3, с.19]:

$$N = (P \cup F, T, A, V, \mu_0),$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – конечное множество позиций типа  $p$ ;  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$  – конечное множество позиций типа  $f$ ;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_r\}$  – конечное множество переходов;  $A$  – конечный алфавит;  $V : [(P \cup F) \times T] \cup [T \times (P \cup F)] \rightarrow A^*$  – отображение, помечающее дуги, соединяющие позиции с переходами и переходы с позициями;  $A^*$  – множество слов;  $\mu_0 : F \cup P \rightarrow A^*$  – начальная маркировка позиций. Наличие дуг между позициями и переходами определяется следующим образом: если  $V(a, \vartheta) = \varepsilon$ , ( $\varepsilon$  – пустое слово), то дуги между  $a$  и  $\vartheta$  нет,  $a \in P \cup F$ ,  $\vartheta \in T$  или  $a \in T$ ,  $\vartheta \in P \cup F$ . Если  $V(a, \vartheta) = s$ ,  $s \in A^*$ , то имеется дуга из  $a$  в  $\vartheta$ , помеченная словом  $s$ ,  $a \in P \cup F$ ,  $\vartheta \in T$  или  $a \in T$ ,  $\vartheta \in P \cup F$ .

Для каждого элемента  $a \in P \cup F$ ,  $b \in T$  обозначим:

$$G^+(a) = \{\vartheta \in P \cup F \cup T \mid V(\vartheta, a) \neq \varepsilon\}, \quad G^-(a) = \{\vartheta \in P \cup F \cup T \mid V(a, \vartheta) \neq \varepsilon\}$$

множеством входов  $\vartheta$  и выходов  $a$ , соответственно.

Пусть  $a \in A^*$ ,  $a = a_1 a_2 \dots a_n$ ,  $a_i \in A$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Слово  $\tilde{a}$  обозначает зеркальное слово по отношению к  $a$ :  $\tilde{a} = a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1$ .

Состояние алгебраических СП определяется словами в позициях типа  $p$  и  $f$ . При срабатывании некоторого перехода  $t$  слова, находящиеся в позициях  $G^-(t) \cup G^+(t)$ , модифицируются. Правила срабатывания переходов обеспечивают динамику алгебраических СП и уточняют условия изменения состояния сети. Состояние сети определяется отображением

$$\mu : P \cup F \rightarrow A^*, \quad \mu : \in (A^*)^{n+m},$$

где  $n+m = \text{card}(P \cup F)$ . Слово  $\mu(a)$ ,  $a \in P \cup F$  маркирует позицию  $a$  и маркировка сети представляется вектором размерности  $[1 \times (n+m)]$ :

$$\mu = (\mu(f_1), \mu(f_2), \dots, \mu(f_m), \mu(p_1), \dots, \mu(p_n)),$$

где на первых  $m$  местах находятся маркировки позиций типа  $f$  и на местах с  $(m+1)$  по  $(m+n)$  – маркировки позиций типа  $p$ . Начальная маркировка позиций описывается аналогичным образом:

$$\mu_0 = (\mu_0(f_1), \dots, \mu_0(f_m), \dots, \mu_0(p_1), \dots, \mu_0(p_n)).$$

Переход  $t$  разрешен для маркировки  $\mu$ , если для всех позиций типа  $f$ , таких, что  $f_i \in G^+(t)$ ,  $V(f_i, t)$ , есть левый множитель  $\mu(f_i)$ , и для всех позиций типа  $p$ , таких, что  $p_i \in G^+(t)$ ,  $V(p_i, t)$ , есть левый множитель  $\tilde{\mu}(p_i)$ . Случай, когда переход  $t$  разрешен для маркировки  $\mu$ , обозначим  $\mu(t)$ .

Срабатывание перехода  $t$ , разрешенного для маркировки  $\mu$ , приводит к новой маркировке,  $\mu'$ ,  $\mu(t)\mu'$ , если

$$\begin{aligned} \forall f_i \in F, \mu'(f_i) &= g[V(f_i, t), \mu(f_i) \circ V(t, f_i)]; \\ \forall p_j \in P, \mu'(p_j) &= d[V(p_j, t), \mu(p_j) \circ V(t, p_j)], \end{aligned}$$

где  $g(a, a\varepsilon) = \varepsilon$  и  $d(a, va) = \varepsilon$ ,  $\circ$  – операция конкатенации.

Другими словами, в словах позиций типа  $f$ , имеющих дуги с переходом  $t$ , помеченные словами  $V(f_i, t)$ , происходит поглощение левого множителя  $V(f_i, t)$  в словах  $\mu(f_i)$  и добавление справа в результате конкатенации множителя  $V(t, f_i)$ . В свою очередь, в словах позиций типа  $p$ , имеющих дуги с переходом  $t$ , полученные словами  $V(p_j, t)$ , происходит поглощение правого множителя  $V(p_j, t)$  и добавление справа в результате конкатенации множителя  $V(t, p_j)$ .

Учитывая вышеизложенное, разработан алгоритм функционирования алгебраических СП, позволяющий гибкое программирование сетей средствами компьютерной алгебры символьного исчисления, обеспечивающий автоматизацию моделирования и анализа функционирования активных элементов ГПС.

Алгоритм:

**Шаг 1.** Создание входной матрицы инцидентности множеств переходов  $G^- = [(F \cup P) \times T]$  с размерностью  $(m+n) \times r$ :

$$g_{ji}^- = \begin{cases} s, & \text{если имеется дуга от } j\text{-й позиции} \\ & \text{к } i\text{-му переходу;} \\ \varepsilon, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

где  $i = \overline{1, r}$ ,  $j = \overline{1, m+n}$ . При  $j = \overline{1, m}$  обозначены дуги от позиций типа  $f$ , при  $j = \overline{m+1, m+n}$  обозначены дуги от позиций типа  $p$ .

**Шаг 2.** Создание выходной матрицы инцидентности множеств переходов  $G^+ = [T \times (F \cup P)]$  с размерностью  $r \times (m+n)$ :

$$g_{ij}^+ = \begin{cases} s, & \text{если имеется дуга от } i\text{-го перехода} \\ & \text{к } j\text{-й позиции;} \\ \varepsilon, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

где  $i = \overline{1, r}$ ,  $j = \overline{1, m+n}$ . При  $j = \overline{1, m}$  обозначены дуги к позициям типа  $f$ , при  $j = \overline{m+1, m+n}$  обозначены дуги к позициям типа  $p$ .

**Шаг 3.** Создание матрицы начальной маркировки  $\mu$  с размерностью  $1 \times (m+n)$ :

$$\mu_j = \begin{cases} s, & \text{если позиция маркирована словом } s; \\ \varepsilon, & \text{если позиция не маркирована;} \end{cases}$$

где  $j = \overline{1, m+n}$ . Элементы  $\mu_j (j = \overline{1, m})$  определяют маркировки позиций типа  $f$ , а элементы  $\mu_j (j = \overline{m+1, m+n})$  определяют маркировки позиций типа  $p$ .

**Шаг 4.** Поиск разрешенного перехода. Для каждого перехода  $t_i (i = \overline{1, r})$  проверяется условие срабатывания:

а) из матрицы  $G^-$  определяются все входные позиции перехода  $t_i$ . Для всех  $g_{ji} \neq \varepsilon$  ( $j = \overline{1, m}$ ) проверяется условие, является ли  $g_{ji}$  левым множителем  $\mu_j$ : вычисляется длина этих элементов  $n1 = \text{card}(g_{ji}^-)$ , выделяется слово  $p = \text{copy}(\mu_j, 1, n1)$  из столько же символов с первой позиции из элемента маркировки  $\mu_j$ . Если  $p \neq g_{ji}^-$ , то индекс  $i$  увеличивается на единицу  $i = i+1$  и осуществляется переход к пункту а) шага 4;

б) для всех  $g_{ji} \neq \varepsilon$  ( $j = \overline{m+1, m+n}$ ) составляется зеркальное слово: принимается  $\tilde{\mu}_j = \varepsilon$  и  $n1 = \text{card}(\mu_j)$ , производится перемещение символов по формуле

$$\tilde{\mu}_j = \tilde{\mu}_j \circ \text{copy}(\mu_j, k, 1), \text{ при } k = \overline{n1, 1};$$

в) проверяется условие, является ли  $g_{ji}$  ( $j = \overline{m+1, m+n}$ ) левым множителем зеркального слова: выделяется слово  $p = \text{copy}(\mu_j, 1, n1)$  из  $n1 = \text{card}(g_{ji}^-)$  числа символов с первой позиции из зеркального слова  $\tilde{\mu}_j$ . Если  $p \neq g_{ji}^-$ , то индекс  $i$  увеличивается на единицу  $i = i+1$ .

**Шаг 5.** Если  $i > r$ , выдается сообщение о тупиковой ситуации.

**Шаг 6.** Осуществляется переход к пункту а) шага 4.

**Шаг 7.** Вычисление элементов матрицы новой маркировки:

$$\mu'_j = \begin{cases} \text{copy}(\mu_j, n1+1, m1-n1) \circ g_{ij}^+, & \text{при } j = \overline{1, m}; \\ \text{copy}(\mu_j, 1, m1-n1) \circ g_{ij}^+, & \text{при } j = \overline{m+1, m+n}, \end{cases}$$

где  $m1 = \text{card}(\mu_j)$ ,  $n1 = \text{card}(g_{ji}^-)$ .

**Шаг 8.** Новая маркировка принимается за текущую:  $\mu_j = \mu'_j$ , ( $j = \overline{1, m+n}$ ).

**Шаг 9.** Переход к шагу 4. Процесс продолжается до получения искомой маркировки.

Для реализации предложенного алгоритма разработана программа, функционирующая в среде *DELPHI 7.0*.

На примере ГПМ пакетирования и прокатки пакета рассмотрим создание ее модели с использованием СП и анализа функционирования активных элементов ГПМ.

ГПМ пакетирования и прокатки пакета включает (рис. 1): 1 – транспортную систему (ТС1) для транспортировки карточек с рисунком (3) с выхода участка нанесения рисунка, к позиции специального манипулятора (СМ) для создания пакета; 2 – ТС2 для транспортировки карточек без рисунка (4) с выхода участка зачистки карточек; 5 – специальный переключательный манипулятор (СПМ) для перемещения карточек без рисунка к позиции пакетирования карточек; 6 – СМ для сдвигания передней и одной из боковых кромок карточек пакета; 7 – промышленный робот (ПР) для подачи пакета со стола, СМ для создания пакетика в валки прокатного стана; 8 – прокатный стан.

ГПМ пакетирования и прокатки пакета работает следующим образом: карточки с рисунком по ТС1 и без него по ТС2 поступают к столам СМ для создания пакета и создается пакет из двух карточек; СМ создания пакета сдвигает передние и одну из боковых кромок пакета карточек; ПР захватывает пакет, перемещает и подает его в валки прокатного стана.

Для описания функционирования ГПМ пакетирования и прокатки пакет, ситуации разобьем на события и поставим соответственно каждому событию некоторые позиции:  $f_1$  – отсутствие карточки с рисунком на столе СМ и СМ в начальном состоянии;  $f_2$  – наличие карточки с рисунком на столе СМ и СМ в начальном состоянии;  $f_3$  – ТС1 остановлена;  $f_4$  – ТС1 в движении;  $f_5$  – наличие непозиционированного пакета на столе СМ и СМ в начальном состоянии;  $f_6$  – наличие пакета на столе СМ и СМ в конечном состоянии;  $f_7$  – наличие пакета на столе СМ и СМ в начальном состоянии;  $f_8$  – отсутствие карточки без рисунка на столе

СПМ, рука СПМ в начальном состоянии и захватное устройство открыто;  $f_9$  – наличие карточки без рисунка на столе СПМ, рука СПМ в начальном состоянии и захватное устройство открыто;  $f_{10}$  – ТС2 остановлена;  $f_{11}$  – ТС2 в движении;  $f_{12}$  – наличие карточки без рисунка на столе СПМ, рука СПМ в начальном состоянии и захватное устройство закрыто;  $f_{13}$  – наличие карточки без рисунка на столе СПМ, рука СПМ в конечном состоянии и захватное устройство закрыто;  $f_{14}$  – наличие карточки без рисунка на столе СПМ, рука СПМ в конечном состоянии и захватное устройство открыто;  $p_1$  – рука, подъемное и поворотное устройства ПР в начальном состоянии и захватное устройство ПР открыто;  $p_2$  – подъемное и поворотное устройства ПР в начальном состоянии, рука ПР в конечном состоянии и захватное устройство ПР открыто;  $p_3$  – подъемное и поворотное устройства ПР в начальном состоянии, рука ПР в конечном состоянии и захватное устройство ПР закрыто;  $p_4$  – рука, подъемное и поворотное

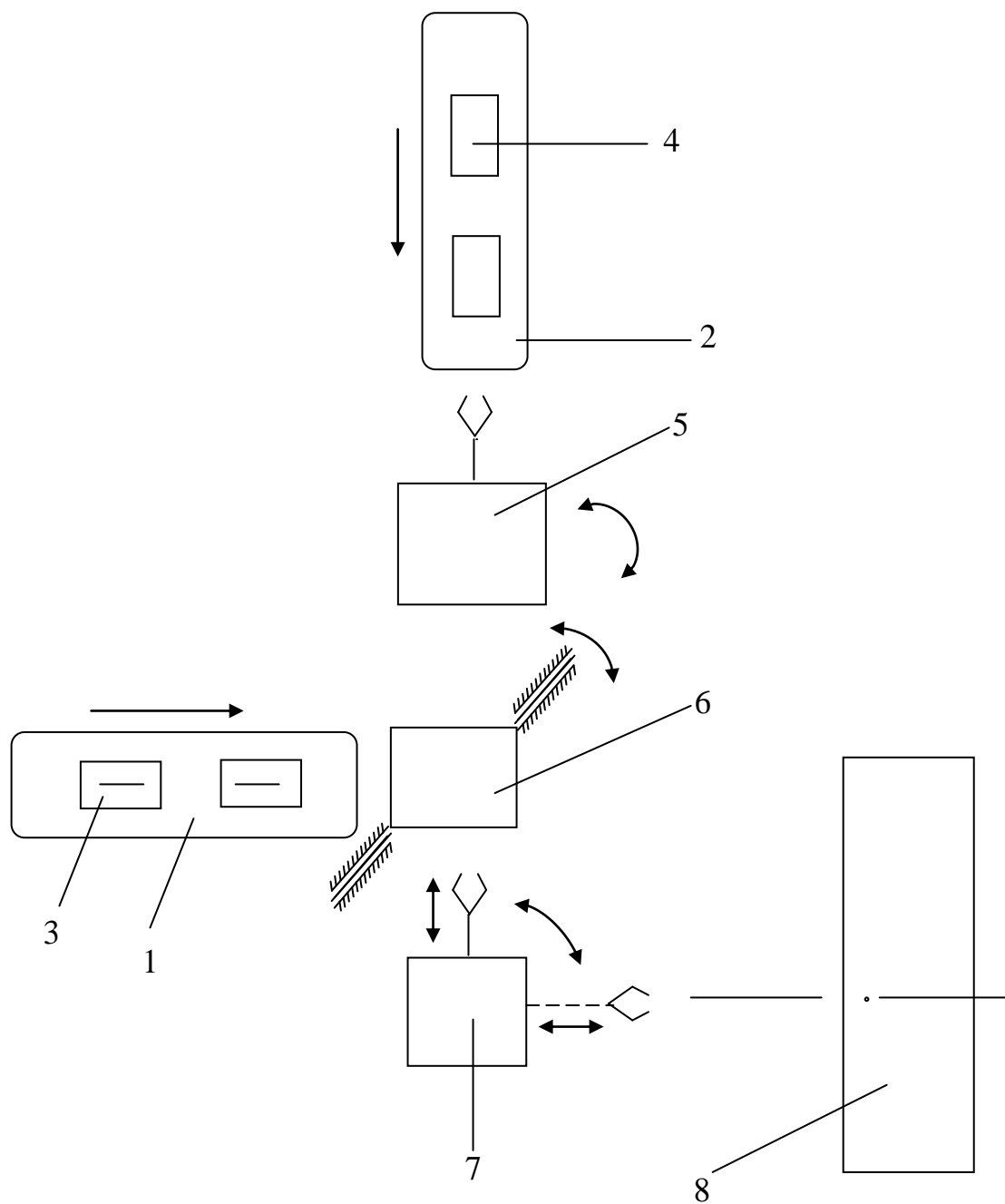


Рис. 1. ГПМ пакетирования и прокатки пакета

устройства ПР в начальном состоянии и захватное устройство ПР закрыто;  $p_5$  – рука и подъемное устройство ПР в начальном состоянии, поворотное устройство ПР в конечном состоянии и захватное устройство закрыто;  $p_6$  – рука ПР в начальном состоянии, подъемное и поворотное устройства ПР в конечном состоянии и захватное устройство ПР закрыто;  $p_7$  – рука, подъемное и поворотное устройства ПР в конечном состоянии и захватное устройство закрыто;  $p_8$  – рука, подъемное и поворотное устройства ПР в конечном состоянии и захватное устройство ПР открыто;  $p_9$  – рука ПР в начальном состоянии, подъемное и поворотное устройства ПР в конечном состоянии и захватное устройство открыто;  $p_{10}$  – рука и подъемное устройство в начальном состоянии, поворотное устройство ПР в конечном состоянии и захватное устройство ПР открыто.

Указанным позициям соответствуют следующие активные действия-переходы:  $t_1$  – включение ТС1;  $t_2$  – отключение ТС1;  $t_3$  – включение ТС2;  $t_4$  – отключение ТС2;  $t_5$  – включение захватного устройства СПМ;  $t_6$  – включение руки СПМ;  $t_7$  – отключение захватного устройства СПМ;  $t_8$  – отключение руки СПМ;  $t_9$  – включение СМП;  $t_{10}$  – отключение СМП;  $t_{11}$  – включение руки ПР;  $t_{12}$  – включение захватного устройства ПР;  $t_{13}$  – отключение руки ПР;  $t_{14}$  – включение поворотного устройства ПР;  $t_{15}$  – включение подъемного устройства ПР;  $t_{16}$  – включение руки ПР справа;  $t_{17}$  – отключение захватного устройства ПР;  $t_{18}$  – отключение руки ПР справа;  $t_{19}$  – отключение подъемного устройства ПР;  $t_{20}$  – отключение поворотного устройства ПР.

С учетом  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{10}\}$  – позиции типа  $p$ ,  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_{14}\}$  – позиции типа  $f$ ,  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{20}\}$  – переходы,  $A = \{b, c, d, k, m, s, l\}$  – конечный алфавит,  $\mu_0 = (c, \varepsilon, s, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon, l, \varepsilon, a, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon, cl, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon)$  – начальная маркировка; определена структура алгебраических СП и проведен машинный эксперимент по данному примеру. Входные и выходные функции сети определяются на основе вышеописанного алгоритма.

При начальной маркировке  $\mu_0$  последовательность срабатываемых переходов принимает вид  $\sigma = (t_1, t_2, \dots, t_{20})$ .

Граф модели функционирования активных элементов ГПМ пакетирования и прокатки пакета представлен на рис. 2.

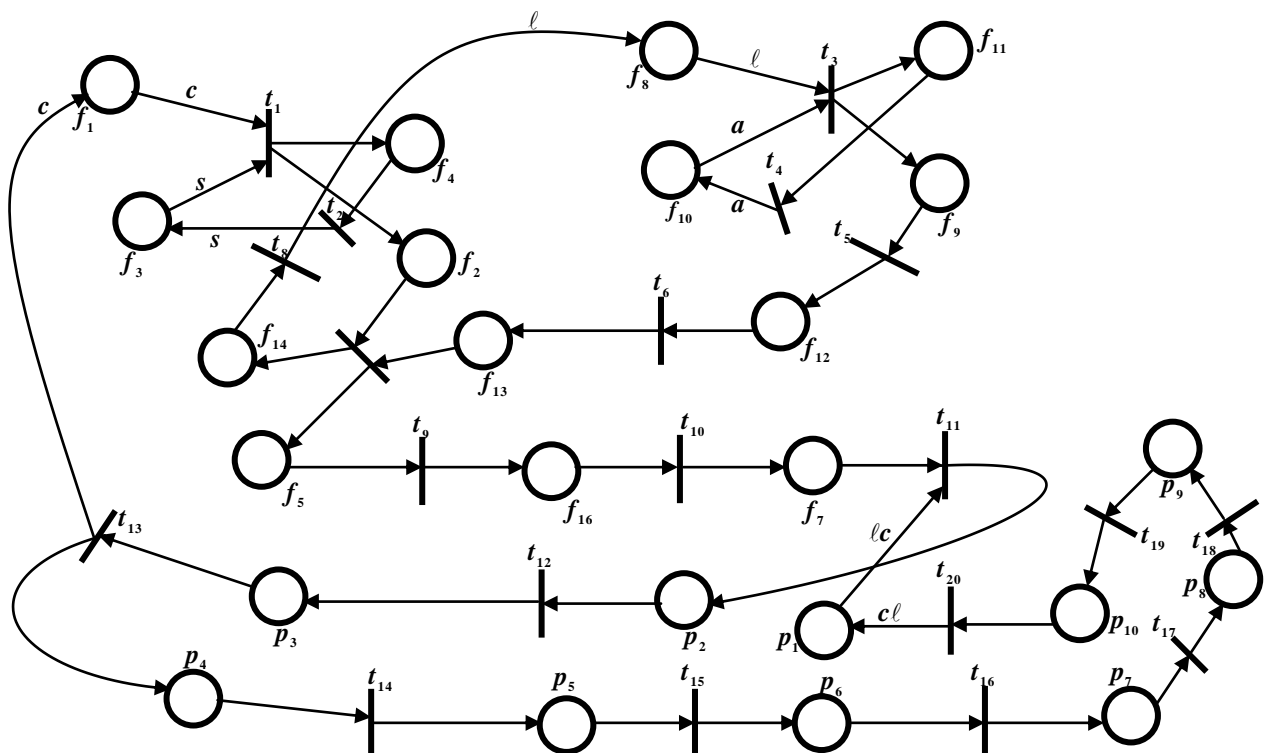




Рис. 2. Граф модели функционирования ГПМ пакетирования и прокатки пакета

Применением вышеуказанного алгоритма и использованием современных компьютерных ресурсов разработаны и исследованы модели функционирования активных элементов ГПС алюминиевых испарителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Управление ГПС: модели и алгоритмы / под общ. ред. С.В. Емельянова. М.: Машиностроение, 1987. 368 с.
2. Моделирование ГАП / Р.А. Алиев, Н.М. Казимов, М.А. Ахмедов, В.А. Мустафаев // Технология. Сер. Гибкие производственные системы и робототехника. М.: Машиностроение, 1991. Вып. 5. С. 28-42.
3. Лескин А.А. Сети Петри в моделировании и управлении / А.А. Лескин, П.А. Мальцев, А.М. Спиридонов. Л.: Наука, 1989. 133 с.

**Ахмедов Магомед Айдын оглы** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «САПР и программирование» Сумгаитского государственного университета, Республика Азербайджан

**Akhmedov Magomed Aydyn ogly** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Automated Design and Programming» of Sumgait State University

**Мустафаев Валех Азад оглы** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика» Сумгаитского государственного университета, Республика Азербайджан

**Mustafayev Valekh Azad ogly** – Candidate of technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Information Theory» of Sumgait State University

**Джафарова Шалала Мехти кызы** – аспирант кафедры «САПР и программирование» Сумгаитского государственного университета, Республика Азербайджан

**Jafarova Shalala Mekhti kyzy** – Post-graduate Student of the Department of «Automated Design and Programming» of Sumgait State University

*Статья поступила в редакцию 11.03.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 681.51

**Д.А. Гривенев**

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ГЕНЕРАТОРА

*Работа посвящена построению математических моделей электрогидравлической системы регулирования скорости вращения вала генератора переменного тока. Данные модели могут быть использованы при синтезе законов регуляторов и проведения анализа изменения интересующих переменных, которые на реальном объекте не доступны для прямого наблюдения.*

Электрогидравлическая система регулирования, математическая модель, безразмерная математическая модель, модель в отклонениях от стационарного режима, линеаризованная модель, анализ переходных процессов.

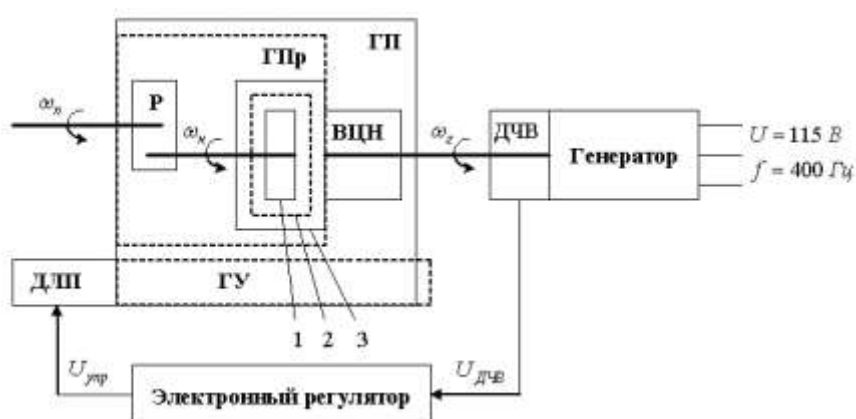
**D.A. Grivenev**

## MATHEMATICAL MODEL OF GENERATOR ELECTRO HYDRAULIC CONTROL SYSTEM

*This work is dedicated to the construction of electro hydraulic control system mathematical models of alternating current generator shaft rotation speed. The given models can be used in the synthesis of control laws and carrying out of the change analysis, interesting variables which object are not accessible for the direct supervision.*

Electro hydraulic control system, mathematical model, dimensionless mathematical model, stationary mode deviation model, linearization model, transients analysis.

За последние 20 лет при разработке систем автоматического управления электро-снабжением и силовой установкой летательных аппаратов произошел переход к электронно-гидравлическим комплексным агрегатам. Данные системы управления обеспечивают минимальные габариты и массы исполнительных механизмов при максимальной их выходной мощности и быстродействии в сочетании с удобством управления. Основным этапом при разработке таких систем является построение их математической модели, которая адекватно описывает процессы, протекающие в объекте управления. Помимо этого, с помощью полученной модели можно синтезировать закон управления для конкретного объекта и провести анализ изменения интересующих параметров, которые на реальном объекте не доступны для прямого наблюдения, так как не всегда имеется возможность установки соответствующих датчиков. Данная работа посвящена построению математических моделей электрогидравлической системы регулирования скорости вращения вала генератора переменного тока.



Функциональная схема системы управления: ГП – гидромеханический привод; ГПр – гидропреобразователь; Р – редуктор; ГУ – гидроусилитель; ВЦН – вспомогательный центробежный насос; ДЛП – двигатель линейного перемещения; ДЧВ – датчик частоты вращения

Для построения математической модели опишем все узлы функциональной схемы системы управления, приведенной на рисунке.

*Гидропреобразователь.* Момент, развиваемый турбиной ГПр, и функция от перемещения рейки поворотных лопаток описываются следующими уравнениями:

$$M_m = (f(h) - a_1 \cdot \omega_z / \omega_n) \cdot \omega_n^2, \quad f(h) = b_0 \cdot h^3 + d_0 \cdot h^2 + c_0 \cdot h + a_0, \quad (1)$$

где  $M_m$ , Н·м – момент, развиваемый внешней турбиной ГПр;  $\omega_n$ , рад/с – угловая скорость внутренней турбины (насоса ГПр);  $\omega_z$ , рад/с – угловая скорость внешней турбины ГПр (вала генератора);  $h$ , м – перемещение рейки поворотных лопаток, которое изменяется в пределах  $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$ ;  $f(h)$ , кг·м<sup>2</sup>/рад<sup>2</sup> – функция перемещения рейки поворотных лопаток;  $a_1$ , кг·м<sup>2</sup>/рад<sup>2</sup> – коэффициент пропорциональности;  $a_0$ , кг·м<sup>2</sup>/рад<sup>2</sup>,  $c_0$ , кг·м/рад<sup>2</sup>,  $d_0$ , кг/рад<sup>2</sup> и  $b_0$ , кг/(м·рад<sup>2</sup>) – коэффициенты уравнения, описывающего зависимость момента, развиваемого турбиной от положения рейки поворотных лопаток.

Угловая скорость внутренней турбины ГПр определяется следующим выражением:

$$\omega_n = k_p \cdot \omega_n, \quad (2)$$

где  $\omega_n$ , рад/с – угловая скорость приводного вала, которая лежит в пределах  $\omega_{n \min} \leq \omega_n \leq \omega_{n \max}$ ;  $k_p$  – коэффициент преобразования редуктора.

*Вспомогательный центробежный насос.* Данный узел описывается уравнениями момента сопротивления и перепада давления на ВЦН:

$$M_{\text{вцн}} = a_2 \cdot \omega_z^2, \quad \Delta p_{\text{вцн}} = b_1 \cdot \omega_z^2, \quad (3)$$

где  $M_{\text{вцн}}$ , Н·м – момент сопротивления ВЦН;  $\Delta p_{\text{вцн}}$ , Па – перепад давления на ВЦН;  $a_2$ , кг·м<sup>2</sup>/рад<sup>2</sup> и  $b_1$ , кг/(м·рад<sup>2</sup>) – коэффициенты пропорциональности.

*Генератор.* Уравнение, описывающее угловое ускорение ротора генератора:

$$d\omega_z / dt = (M_m - M_z - M_{\text{вцн}}) / J_z, \quad (4)$$

где  $M_z$ , Н·м – момент сопротивления генератора;  $J_z$ , Н·м·с<sup>2</sup> – момент инерции ротора генератора.

Момент сопротивления генератора определяется следующим уравнением:

$$M_z = (k_3 \cdot N_3 + k_o \cdot N_o) / \omega_z, \quad (5)$$

где  $N_3$ , Вт – электрическая нагрузка генератора;  $N_o$ , Вт – номинальная мощность генератора;  $k_3$ ,  $k_o$  – коэффициенты пропорциональности, определяющие зависимость момента сопротивления генератора от электрической нагрузки и мощности генератора.

Частота тока генератора определяется следующим уравнением:

$$f = \omega_z \cdot f_o / \omega_{zo}, \quad (6)$$

где  $f_o$ , Гц – номинальная частота тока;  $\omega_{zo}$ , рад/с – номинальное значение угловой скорости вала генератора, соответствующее номинальной частоте тока.

*Электрогидроусилитель* состоит из двигателя линейного перемещения и гидроусилителя.

*Двигатель линейного перемещения* применяется в качестве исполнительного механизма для линейного реверсивного перемещения золотника с усилием, пропорциональным току управления. Тяговое усилие ДЛП  $F_a$ , Н определяется по следующей формуле:

$$F_a = k_a \cdot I, \quad (7)$$

где  $k_a$ , Н/А – коэффициент, который рассчитывается исходя из заданного тягового усилия электромагнита ДЛП при заданном токе;  $I$ , А – управляющий ток в катушке электромагнита ДЛП, определяемый по следующей формуле:

$$L \cdot \dot{I} = -r \cdot I + U, \quad (8)$$

где  $L$ , Гн – индуктивность катушки электромагнита;  $r$ , Ом – внутреннее сопротивление катушки;  $U$ , В – управляющее напряжение ШИМ-сигнала.

*Гидроусилитель* включает золотник и сервопоршень. Перемещение золотника с якорем  $x$  ограничено упорами и лежит в пределах  $-x_{\max} \leq x \leq x_{\max}$ , м. Суммарная подвижная масса золотника с якорем  $m$ , кг.

Сила, необходимая для преодоления гидравлического сопротивления, определяется следующей формулой:

$$F_m = m \cdot d^2 x / dt^2 = F_a - F_d - F_z - F_{mp} \cdot \text{sign}(dx/dt), \quad (9)$$

где  $F_d$ , Н – сила динамического трения золотника с якорем;  $F_z$ , Н – сила, действующая на золотник;  $F_{mp}$ , Н – сила трения движения золотника, значение которой может быть в пределах  $F_{mp \min} \leq F_{mp} \leq F_{mp \max}$  Н;  $\text{sign}(x)$  – функция, определяемая следующим образом:  $\text{sign}(x) = -1$  при  $x < 0$ ,  $\text{sign}(x) = 0$  при  $x = 0$ ,  $\text{sign}(x) = 1$  при  $x > 0$ .

На якорь также действует сила трения покоя, которая соответствует началу движения якоря. Эта сила является малой величиной и для упрощения записи математической модели ее учитывать не будем.

Сила динамического трения определяется следующим соотношением:

$$F_d = d \cdot dx/dt, \quad (10)$$

где  $d$ , кг/с – коэффициент динамического трения.

Сила, действующая на золотник, определяется следующей формулой:

$$F_z = k_z \cdot (p_p + (p_1 - p_2) \text{sign}(x)) \cdot x, \quad (11)$$

где  $k_z$ , м – коэффициент пропорциональности;  $p_p$ , Па – давление рабочей жидкости на входе в гидроусилитель (давление на сливе мало и принимается равным нулю):

$$p_p = \Delta p_{\text{ин}} + \Delta p_{\text{вн}} = b_2 \cdot \omega_n^2 + \Delta p_{\text{вн}}; \quad (12)$$

где  $b_2$ , кг/(м·рад<sup>2</sup>) – коэффициент пропорциональности;  $p_1$  и  $p_2$ , Па – давление в полостях сервопоршня:

$$\begin{aligned} \text{при } x < 0: p_1 &= k_{p1} \cdot p_p - k_{p1} \cdot p_{01}, p_2 = k_{p1} \cdot p_1 / k_{p2} + p_{01}; \\ \text{при } x \geq 0: p_2 &= k_{p2} \cdot p_p - k_{p2} \cdot p_{02}, p_1 = k_{p2} \cdot p_2 / k_{p1} + p_{02}, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $k_{p1}$  и  $k_{p2}$  – коэффициенты пропорциональности;  $p_{01}$  и  $p_{02}$ , Па – начальные давления в соответствующих полостях.

Скорость перемещения сервопоршня определяется следующими формулами:

$$\text{при } x < 0: dh/dt = k_1 \cdot x \cdot \sqrt{p_1}; \quad \text{при } x \geq 0: dh/dt = k_2 \cdot x \cdot \sqrt{p_2}, \quad (14)$$

где  $k_1$  и  $k_2$ , м<sup>1/2</sup>·кг<sup>-1/2</sup> – коэффициенты пропорциональности, определяющие связь давления в полостях со скоростью перемещения сервопоршня.

Учитывая вышеприведенные уравнения и проведя несложные преобразования, запишем математическую модель гидроусилителя:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = F_a - F_d - F_z - F_{mp} \cdot \text{sign}(dx/dt); \\ F_d = d \cdot \dot{x}; \\ p_p = b_2 \cdot \omega_n^2 + \Delta p_{\text{вн}}; \\ F_z = \begin{cases} k_z \cdot (k'_p \cdot p_p + k_{01} \cdot p_{01}) \cdot x, & x < 0; \\ k_z \cdot (k''_p \cdot p_p + k_{02} \cdot p_{02}) \cdot x, & x \geq 0; \end{cases} \\ \dot{h} = \begin{cases} k'_1 \cdot \sqrt{p_p - p_{01}} \cdot x, & x < 0; \\ k'_2 \cdot \sqrt{p_p - p_{02}} \cdot x, & x \geq 0; \end{cases} \end{cases} \quad (15)$$

где  $k'_p$ ,  $k''_p$ ,  $k_{01}$ ,  $k_{02}$ ,  $k'_1$  и  $k'_2$  – постоянные коэффициенты, рассчитываемые следующим образом:

$$\begin{aligned} k'_p &= k_{p1}^2 / k_{p2} - k_{p1} + 1, \quad k''_p = k_{p2}^2 / k_{p1} - k_{p2} + 1, \quad k_{01} = -k_{p1}^2 / k_{p2} + k_{p1} + 1, \\ k_{02} &= -k_{p2}^2 / k_{p1} + k_{p2} + 1, \quad k'_1 = k_1 \cdot \sqrt{k_{p1}}, \quad k'_2 = k_2 \cdot \sqrt{k_{p2}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, полная математическая модель электрогидромеханической части объекта управления описывается уравнениями (1)-(16). Как видно из этих уравнений, она имеет

переменную структуру и существенно нелинейна. Для моделирования и анализа поведения рассматриваемых объектов управления, а также для синтеза законов управления регуляторов удобно использовать безразмерную модель, переход к которой осуществляется за счет введения безразмерных переменных:

$$\begin{aligned}
 m_m &= M_m/M_o; \quad m_z = M_z/M_o; \quad m_{\text{вци}} = M_{\text{вци}}/M_o; \quad n_n = \omega_n/\omega_{n\max}; \quad n_z = \omega_z/\omega_{z0}; \\
 \tilde{h} &= h/h_{\max}; \quad \tilde{x} = x/x_o; \quad \tilde{N}_3 = N_3/N_o; \quad \tilde{f} = f/f_o; \quad \tilde{p}_p = p_p/p_{po}; \quad \Delta\tilde{p}_{\text{вци}} = \Delta p_{\text{вци}}/p_{po}; \\
 \Delta\tilde{p}_{\text{вци}} &= \Delta p_{\text{вци}}/p_{po}; \quad \tilde{p}_{01} = p_{01}/p_{po}; \quad \tilde{p}_{02} = p_{02}/p_{po}; \quad \tilde{F}_a = F_a/F_{a\max}; \quad \tilde{F}_d = F_d/F_{a\max}; \\
 \tilde{F}_z &= F_z/F_{a\max}; \quad \tilde{F}_{mp} = F_{mp}/F_{a\max}; \quad i_{cp} = I/I_{\max} = r \cdot I/U_o; \quad u_{cp} = U_o \cdot \tau/T_o = U_o \cdot q,
 \end{aligned} \tag{17}$$

где  $M_o = M_m(\omega_{n\max}, \omega_{z0}, h_{\max})$ ;  $p_{po} = p_p(\omega_{n\max}, \omega_{z0})$ ,  $\omega_{n\max}$ ,  $\omega_{z0}$ ,  $h_{\max}$ ,  $x_o$ ,  $N_o$ ,  $f_o$ ,  $F_{a\max} = k_a \cdot I_{\max}$ ,  $I_{\max} = U_o/r$  – известные величины, максимальные или номинальные значения параметров;  $i_{cp}$  и  $u_{cp}$  – средние значения управляющего тока и напряжения ШИМ-сигнала;  $q$  – управляющая скважность ШИМ-сигнала.

В связи с тем, что большинство алгоритмов синтеза основываются на использовании линейных моделей, нам необходимо линеаризовать полученную безразмерную математическую модель электрогидравлической системы регулирования угловой скорости вращения вала генератора переменного тока. Для этого необходимо построить безразмерную математическую модель в отклонениях от стационарного режима. Стационарным режимом будем считать режим, при котором гидромеханический привод и генератор работают в номинальном режиме, т.е.  $n_z^* = 1$ ,  $\tilde{h}^* = 0,5$ ,  $\tilde{N}_3^* = 1$ . Линеаризацию проведем путем выделения линейной части разложения в степенной ряд в стационарной точке. Проведя несложные преобразования, получим линеаризованную математическую модель электрогидравлической системы стабилизации скорости вращения вала генератора:

$$\begin{cases}
 \tilde{J}_z \cdot \Delta \dot{n}_z = -(\tilde{a}_1 \cdot n_{no} - \tilde{k}_0) \Delta n_z + \tilde{k}_p \cdot n_{no}^2 \cdot \tilde{c}_0 \cdot \Delta \tilde{h} - \tilde{k}_3 \cdot \Delta \tilde{N}_3; \\
 \Delta \dot{\tilde{h}} = \tilde{k}_h \cdot \Delta \tilde{x}; \\
 \tilde{m} \cdot \Delta \ddot{\tilde{x}} = -\tilde{d} \cdot \Delta \dot{\tilde{x}} - \tilde{k}'_z \cdot \Delta \tilde{x} + \Delta i_{cp}; \\
 d\Delta i_{cp}/dt = -r \cdot \Delta i_{cp}/L + r \cdot q/L; \\
 \Delta \tilde{f} = \Delta n_z.
 \end{cases} \tag{18}$$

Коэффициенты в этих уравнениях получаются при переходе к безразмерной модели.

По уравнениям (18) можно составить структурную схему линеаризованной безразмерной модели, которая может быть реализована в среде «Simulink» программного комплекса «Matlab», для анализа переходных процессов основных переменных. Также полученную модель можно реализовать с помощью операционных усилителей при создании стенда для полунатурного моделирования. Отметим, что в этой схеме может быть предусмотрен блок, осуществляющий изменение нагрузки генератора переменного тока.

Основным назначением построенных в данной работе моделей является синтез регулятора, обеспечивающего стабилизацию скорости вращения вала генератора переменного тока. Тем не менее, эти модели могут быть использованы и в задачах анализа работы всей системы стабилизации. При этом полученными математическими моделями описывается целый ряд объектов управления электрогидромеханических приводов постоянных оборотов с генераторами переменного тока, отличающихся лишь числовыми значениями коэффициентов в уравнениях модели. Например, в качестве составной части объекта управления могут выбираться генераторы различной мощности, при этом для каждого генератора пределы из-

менения угловой скорости приводного вала, номинальное значение угловой скорости вала генератора, а также остальные параметры будут различными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987. 712 с.
2. Нагорный В.С. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем / В.С. Нагорный, А.А. Денисов. М.: Высшая школа, 1991. 367 с.
3. Рябиков А.С. Математическая модель электрогидроусилителя гидропривода авиационного генератора переменного тока / А.С. Рябиков, Д.А. Гривенев // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-20: сб. трудов XX Междунар. науч. конф.: в 10 т. Ярославль: ЯГТУ, 2007. Т. 4. С. 207.
4. Гривенев Д.А. Электрогидравлическая система регулирования частоты вращения электрического генератора / Д.А. Гривенев, А.С. Рябиков // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-21: сб. трудов XXI Междунар. науч. конф.: в 10 т. Саратов: СГТУ, 2008. Т. 6. С. 280-283.

**Гривенев Дмитрий Анатольевич** –  
аспирант кафедры  
«Техническая кибернетика и информатика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Grivenev Dmitriy Anatoliyevich** –  
Post-graduate Student  
of the Department  
of «Technical Cybernetics and Informatics»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 08.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 658.562.011.012

**С.В. Мурин, В. П. Бирюков**

#### РОБАСТНЫЙ РЕГУЛЯТОР ВЯЗКОСТИ ВИСКОЗЫ

*Путем синтеза робастного регулятора решена задача обеспечения эффективной работы системы управления вязкостью вискозы при неустойчивости коэффициента передачи объекта управления по управляющему воздействию.*

Робастный регулятор, вискозные волокна, управление вязкостью.

**S.V. Murin, V.P. Biryukov**

#### ROBUST REGULATOR OF VISCOSE TENACITY

*In this work the problem of viscose tenacity effective work control system at the unstable transfer coefficient of object control according to operating influence is solved by the synthesis of robust regulator.*

Robust regulator, viscose fibres, tenacity control.

Вязкость вискозы во многом определяет устойчивость процесса формования и качественные показатели вискозных волокон и нитей. Поэтому стабилизация данного параметра является актуальной задачей. Известны работы по разработке систем управления вязкостью вискозы [1-4]. Но в данных работах задача стабилизации вязкости вискозы рассматривается без учета изменения коэффициента передачи по температуре щелочной целлюлозы на вязкость вискозы.

**Структурная схема предлагаемой системы управления** вязкостью вискозы представлена на рис. 1 [3, 4]. Схема включает технологические переходы химического цеха: мерсеризацию М, предсозревание в двухтрубных аппаратах ДТА, бункер-весы БВ, ксантогенирование КС, растворение Р [3, 4].

В качестве управляемого параметра рассматривается вязкость вискозы  $\eta$  на выходе из растворителей. В качестве управляющего воздействия используется температура процесса предсозревания щелочной целлюлозы в верхней трубе ДТА  $u$ .

Математическая модель по каналу температура щелочной целлюлозы – вязкость вискозы построена экспериментальным путем [5] и имеет вид:  $W(p) = k_u e^{-p\tau} = 4,8e^{-420p}$ .

Транспортное запаздывание объекта управления определяется временными задержками на технологических переходах: на ДТА 2 часа; на бункер-весах и ксантогенаторе – 3 часа; в растворителе – 2 часа. Полное время транспортного запаздывания по каналу температура щелочной целлюлозы в верхней трубе ДТА – вязкость вискозы на выходе из растворителя составляет  $\tau = 7 \text{ ч} = 420 \text{ мин}$ .

Рис. 1. Схема управления вязкостью вискозы

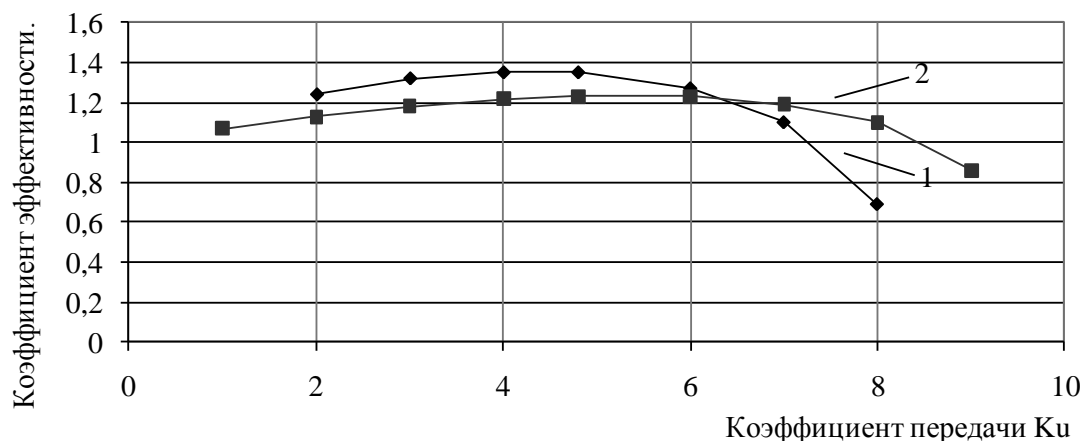


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности системы от коэффициента передачи по вязкости с ЛКГ (1) и робастным (2) регуляторами

Особенностью объекта управления вязкостью вискозы является изменение коэффициента передачи по температуре щелочной целлюлозы на вязкость вискозы при изменении типа перерабатываемой целлюлозы, содержания солей кобальта и гемицеллюлозы в щелочной целлюлозе. При этом коэффициент по управляющему воздействию может изменяться в пределах  $4 \div 8$  с/°С. На рис. 2 приведен график изменения коэффициента эффективности ЛКГ регулятора (линия 1), равного отношению дисперсии разомкнутой системы к дисперсии замкнутой системы, при изменении коэффициента передачи по управляющему воздействию. При значении коэффициента передачи  $k_u > 6$  с/°С эффективность системы падает, а при  $k_u > 8$  система становится неустойчивой.

Обеспечение грубости системы управления при имеющемся на производстве изменении коэффициента по управляющему воздействию произведено путем синтеза робастного  $H^\infty$  регулятора. Синтез произведен методом весовых функций для структурной схемы, приведенной на рис. 3 [7].

На схеме обозначено:  $W_o$  – объект управления;  $W_p$  – регулятор;  $g$  – задание;  $f$  – возмущение, приложенное к объекту;  $v$  – помеха измерения;  $e$  – ошибка регулирования;  $u$  – управляющее воздействие;  $W_1, W_2, W_3$  – частотно зависимые весовые функции.

Для данной схемы рассматриваются следующие величины.

$S = (I + W_p W_o)^{-1}$  – матричная передаточная функция системы по ошибке, определяющая связь между  $g, f, v$  и ошибкой  $e$ ;

$R = W_p (I + W_p W_o)^{-1}$  – матричная функция чувствительности управления;

$T = W_p W_o (I + W_p W_o)^{-1}$  – матричная передаточная функция замкнутой системы.

Границы сингулярных чисел функции чувствительности, задаются в виде [6, 7]:

$$\sigma_1(S(j\omega)) \leq |W_1^{-1}(j\omega)| ; \tag{1}$$

$$\sigma_1(R(j\omega)) \leq |W_2^{-1}(j\omega)| ; \tag{2}$$

$$\sigma_1(T(j\omega)) \leq |W_3^{-1}(j\omega)| . \tag{3}$$

При этом должно выполняться условие  $\sigma_1(W_1^{-1}(j\omega)) + \sigma_1(W_3^{-1}(j\omega)) > 1$ .

Все требования к системе по ослаблению возмущений и обеспечению запаса устойчивости сводятся к единственному требованию к норме [6]:

$$\|T_{yu}\|_\infty \leq 1 ,$$

где

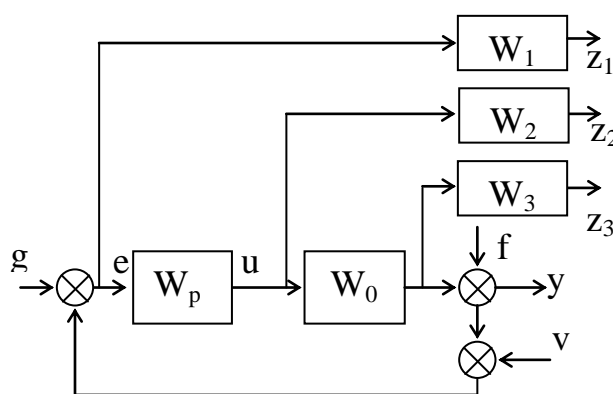


Рис. 3. Структурная схема расширенной номинальной системы



$$T_{yu} = \begin{bmatrix} W_1 S \\ W_2 R \\ W_3 T \end{bmatrix} \quad (4)$$

– так называемая функция стоимости метода смешанной чувствительности.

В дальнейшем ищется регулятор, минимизирующий норму  $\|z_1; z_2; z_3\|$ .

Синтез регулятора произведен в пакете Robust Control System в системе MatLab [8].

Характеристика  $W_1$  в процессе синтеза регулятора с целью обеспечения малого веса ошибки в области действия возмущающих воздействий низкой частоты и большего веса в области средних и высоких частот выбрана в виде

$$W_1 = K_f \frac{b(as^2 + 2z_1\omega_0\sqrt{as + \omega_0^2})}{bs^2 + 2z_1\omega_0\sqrt{bs + \omega_0^2}}.$$

Характеристика  $W_2$  выбрана в процессе синтеза регулятора в виде постоянной величины. Ее величина  $W_2 = [0, 2]$  выбрана из условия вывода значения управляющего воздействия на уровень ограничений.

Характеристика  $W_3$  выбрана в процессе синтеза регулятора в виде  $W_3 = K_f s^2 / 100$  (где  $K_f$  – настраиваемый параметр), что обеспечивает меньшее значение  $y$  в высокочастотном диапазоне.

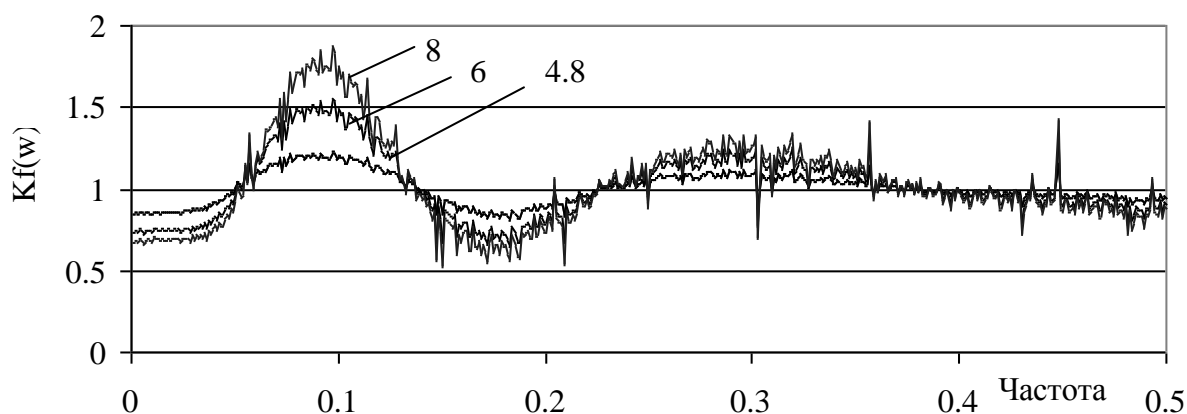


Рис. 4. АЧХ замкнутых систем по возмущению с робастным регулятором

Для оценки грубости системы произведено компьютерное моделирование работы системы при различных значениях коэффициента объекта управления. На рис. 4 приведены АЧХ замкнутой системы с робастным регулятором по возмущению при разных коэффициентах передачи объекта управления. Особенностью робастного регулятора является большее значение модуля АЧХ в области эффективной работы регулятора и меньшее значение в области положительной обратной связи по сравнению с ЛКГ регулятором.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента эффективности робастного  $H^\infty$  регулятора (линия 2) от коэффициента передачи объекта управления. Из рис. 2 видно, что робастный  $H^\infty$  регулятор расширяет коридор стабильной работы системы и обеспечивает требуемую эффективность при имеющемся на технологическом процессе изменении коэффициента передачи по управляющему воздействию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сириус Т.Г. Стабилизация вязкости в производстве искусственных волокон / Т.Г. Сириус // Химические волокна. 1986. № 5. С. 25-26.
2. Ковальчук А.В. Адаптивная система управления вязкостью вискозы / А.В. Ковальчук // Химические волокна. 1986. № 5. С. 22-25.
3. Мурин С.В. Многосвязная система управления составом и вязкостью вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков, С.Е. Артеменко // Химические волокна. 2008. № 4. С. 57-60.
4. Мурин С.В. Разработка и исследование системы управления составом и вязкостью вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. № 2 (32). Вып. 1. С. 78-86.
5. Мурин С.В. Анализ статистических характеристик временного ряда вязкости вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Перспективные полимерные композитные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: докл. Междунар. конф. «Композит-2007». Саратов: СГТУ, 2007. С. 422-426.
6. Перемутьер В.М. Пакеты расширения Matlab. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox / В.М. Перемутьер. М.: САЛОН-ПРЕСС, 2008. 224 с.
7. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления: учебник / под ред. Н.Д. Егупова; изд. 2-е, стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 744 с.
8. Дьяконов В. MATLAB 6/6.1/6.5 Simulink 4/5 в математике и моделировании / В. Дьяконов. М.: Салон-пресс, 2003. 576 с.

**Мурин Сергей Валерьевич** –  
доцент кафедры «Технология  
и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники,  
технологии и управления (филиала)  
Саратовского государственного  
технического университета

**Murin Sergey Valeriyevich** –  
Associate professor  
of the Department of «Technology  
and Automation of Machine Building»  
of Balakovo Institute of Engineering,  
Technology and Management (branch)  
of Saratov State Technical University)

**Бирюков Владимир Петрович** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология  
и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники,  
технологии и управления (филиала)  
Саратовского государственного  
технического университета

**Biryukov Vladimir Petrovich** –  
Doctor of technical Sciences, Professor,  
Head of the Department  
of «Technology and Automation  
of Machine Building»  
of Balakovo Institute of Engineering,  
Technology and Management (branch)  
of Saratov State Technical University)

*Статья поступила в редакцию 24.06.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 531.73

**Г.М. Садчикова**

**АНАЛИЗ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА ПО КРИТЕРИЮ A1**

*Обосновано применение информационного критерия A1 для прогнозирования возможной точности, а также корректировки конструкции преобразователя расхода на стадии проектирования. Приведен анализ преобразователей расхода различного типа по информационному критерию A1, показана корреляция между информационным критерием и погрешностью измерения.*

Информационный критерий, преобразователь расхода, точность измерения, оптимизация конструкции.

**G.M. Sadchikova**

## **THE ANALYSIS OF EXPENDITURE CONVERTERS BY A1 CRITERION**

*In the current work there is a substantiation of informational A1 criterion application for possible precision prediction and as adjustment of expenditure converter construction at the design stage. There is an analysis of expenditure converters of various types by informational A1 criterion. There is a point to correlation between the informational criterion and a lapse of measurement.*

Informational criterion, expenditure converter, measurement precision, optimization of construction.

В настоящее время существует большое количество разновидностей гидрогазоэлектрических (ГЭП) преобразователей расхода. В частности, в справочнике [1] описано более 300 расходомеров и счетчиков различных конструкций. Необходимы точные критерии, по которым можно выбрать наиболее подходящую модель. Сейчас основным признаком классификации ГЭПР – это принцип, на котором основано его действие. Проработка патентной документации США, Германии, Франции, Японии подтвердила, что аналогичный подход к классификации принят и зарубежными коллегами. Профессором В.В. Власовым [2] был предложен новый подход к классификации ГЭП. Суть подхода состоит в следующем.

Для измерения расхода энергоносителей необходимо измерять скорость  $V_c(S)$  в каждой точке контрольного сечения  $S_m$ :

$$Q = \iint_{S_m} V_c(S) dS. \quad (1)$$

На практике соотношение (1) применения не нашло, поскольку измерить скорость в каждой точке сечения невозможно. Для оценки качества приближения к соотношению (1) был предложен подход с критерием:

$$A1 = \frac{S_k}{S_{нк}}, \quad (2)$$

где  $S_k$ ,  $S_{нк}$  – контролируемая и неконтролируемая датчиками скорости соответствующей части сечения,  $m^2$ .

Для практического анализа более приемлемым является его модификация, исключающая возникновения математической неопределенности:

$$A1 = \frac{S_k}{S}, \quad (3)$$

где  $S_k$  – площадь контролируемого сечения потока,  $m^2$ ;  $S$  – общая площадь сечения потока,  $m^2$ .

В идеале критерий  $A1$  должен быть равен единице, т.е. все сечение потока должно быть под контролем ГЭП, только в этом случае можно уверенно судить о расходе жидкости или газа. Проведен анализ по данному критерию ряда типов расходомеров, представленных в справочнике [1] и патентных разработках различных стран.

**Акустические расходомеры.** Принцип действия таких расходомеров основан на измерении скорости звуковых волн, зависящей от расхода жидкости или газа, через которые эти волны пропускаются. Рассмотрим фазовый одноканальный расходомер. Контролируемой принимаем ту часть сечения потока, которая попадает непосредственно в зоны действия излучателей-приемников, в данном случае контролируемая площадь пропорциональна площади сечения излучателя, перпендикулярной направлению потока.

$$A1 = \frac{4ab}{\pi D^2}, \quad (4)$$

где  $a$  – высота пьезоэлемента;  $b$  – ширина пьезоэлемента;  $D$  – диаметр внутреннего сечения трубы.

**Частотный ультразвуковой расходомер.**

$$A1 = \frac{bD}{\pi D^2 / 4} = \frac{4b}{\pi D}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина пьезоэлемента;  $D$  – внутренний диаметр трубы.

**Одноканальный ультразвуковой расходомер.** В данном расходомере применяются кольцевые пьезопреобразователи, создающие сферическое излучение. В данном случае  $A1 = 1$ , т.е. вследствие сферического излучения контролируемым является все сечение потока.

**Ротаметры** (рис. 1). В ротаметрах величина контролируемого сечения потока является переменной и зависит от положения поплавка в трубке, если трубка имеет конусную форму. В этом случае значение критерия  $A1$  является усредненным и может определяться по следующей формуле:

$$A1 = \frac{\pi d^2 / 4}{\pi D_{cp}^2 / 4} = \frac{d^2}{D_{cp}^2} = \frac{4d^2}{(D_{max} + D_{min})^2}, \quad (6)$$

где  $d$  – диаметр поплавка в месте сечения с наибольшей площадью;  $D_{max}$  – наибольший внутренний диаметр трубки ротаметра;  $D_{min}$  – наименьший внутренний диаметр трубки ротаметра.

В том случае, если трубка ротаметра имеет цилиндрическую форму, то критерий  $A1$  определяется по формуле:

$$A1 = \frac{\pi d^2 / 4}{\pi D^2 / 4} = \frac{d^2}{D^2}, \quad (7)$$

где  $d$  – наибольший диаметр поплавка;  $D$  – внутренний диаметр трубки ротаметра.

Для ротаметра с цилиндрической трубкой критерий  $A1$  есть величина постоянная и зависит от геометрических размеров трубки и поплавка.

**Одноструйный счетчик воды с тангенциальной турбинкой и поворотными ребрами** (рис. 2). Поворотные ребра служат для изменения соотношения частоты вращения турбинки к измеряемому расходу жидкости. Положение поворотных ребер влияет на площадь сечения потока, что должно быть учтено при подсчете критерия  $A1$ .

$$A1 = \frac{dh}{DH - \alpha d \cos \alpha}, \quad (8)$$

где  $d$  – длина лопасти турбинки;  $a$  – высота поворотного ребра;  $b$  – длина поворотного ребра;  $D$  – диаметр цилиндра, в котором установлена турбинка;  $h$  – высота турбинки;  $H$  – высота цилиндра;  $\alpha$  – угол между фронтальной плоскостью ребра и плоскостью, перпендикулярной направлению потока.

**Турбинный преобразователь расхода** (рис. 3). Количество лопастей равно 6. Следовательно, при вращении турбинки меняется контролируемая площадь сечения. Она зависит от угла поворота турбинки. Контролируемое сечение имеет максимальную площадь в том случае, если одна из лопастей турбинки перпендикулярна направлению движения потока. При угле наклона лопасти турбинки по отношению к движению потока  $30^\circ$ , контролируемая площадь сечения принимает минимальное значение. В общем случае критерий  $A1$  определяется по формуле:

$$A1 = \frac{2b(DL/2 \cos \alpha L + d/2)}{(D - L - d/2)d},$$

где  $b$  – ширина лопасти турбинки;  $D$  – диаметр турбинки;  $\alpha$  – угол между лопастью и плоскостью, перпендикулярной плоскости движения потока;  $d$  – высота цилиндра, в котором расположена турбинка;  $L$  – расстояние от оси вращения турбинки до оси трубы;  $D$  – диаметр цилиндра, в котором расположена турбинка.

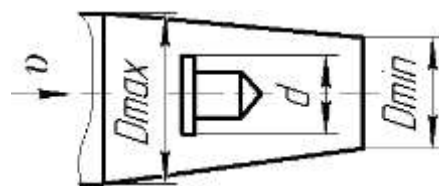


Рис. 1. Ротаметр

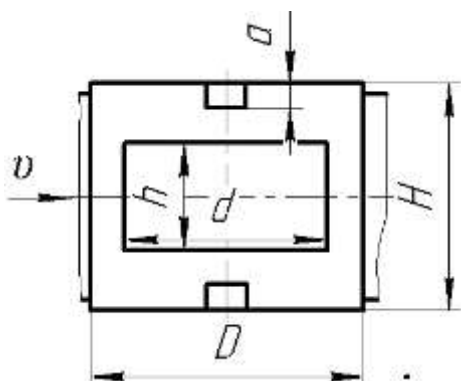


Рис. 2. Счетчик с тангенциальной турбинкой

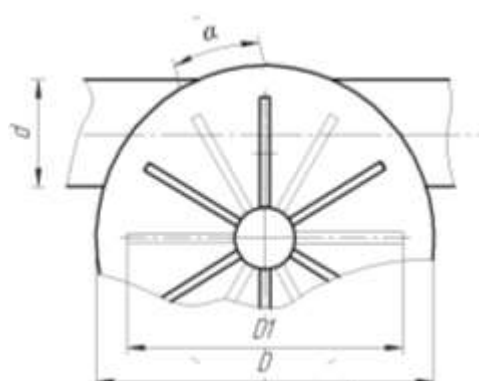


Рис. 3. Турбинный преобразователь

**Электромагнитные расходомеры.** Действие электромагнитных расходомеров основано на взаимодействии движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем. В рассматриваемом расходомере (рис. 4) измеряется разность потенциалов на электродах, которая пропорциональна объемному расходу. Разность потенциалов создается всем потоком жидкости, но вклад отдельной точки жидкости тем больше, чем ближе расположена эта точка к электроду [1], что отображается весовой функцией  $W$ . Наибольшее влияние оказывает та часть потока, которая ограничена изолиниями весовой функции  $W = 5$  и  $W = 8$ . Поэтому за площадь контролируемого сечения примем площадь сечения потока, ограниченную изолинией с  $W = 5$ .

$$A1 = \frac{2S_k}{\pi D^2 / 4} = \frac{8S_k}{\pi D^2},$$

где  $S_k$  – площадь контролируемого сечения потока, ограниченного изолинией с весовой функцией  $W = 5$ ;  $D$  – внутренний диаметр трубы.

**Поляризационный преобразователь расхода** (рис. 5). Выходным параметром является ток, величина которого пропорциональна расходу жидкости, протекающей через проточную часть. Ток поляризации зависит не только от напряженности поля в межэлектродном промежутке и скорости жидкости в проточной части, но и от градиента напряженности и скорости по длине проточной части.

Так как преобразователь расхода имеет цилиндрическую форму и скорость жидкости в проточной части не постоянная, первое слагаемое уравнения полного тока, зависящее от напряженности поля и градиента скорости, по всему объему проточной части не равно нулю. Второе слагаемое уравнения полного тока зависит от скорости жидкости и градиента напряженности по оси  $y$ . Так как поле неравномерно только на краях электродов, градиент напряженности не равен нулю примерно в 1/2 объема проточной части, так как в другой половине проточной части поле равномерно и вторая составляющая уравнения полного тока на этом участке преобразователя расхода не работает. Следовательно, можно сделать вывод, что для гидроэлектрического поляризационного преобразователя расхода с плоскопараллельными электродами критерий  $A_1 = 0,75$ , что значительно выше, чем для рассмотренных выше наиболее часто используемых турбинных, электромагнитных и акустических преобразователей расхода.

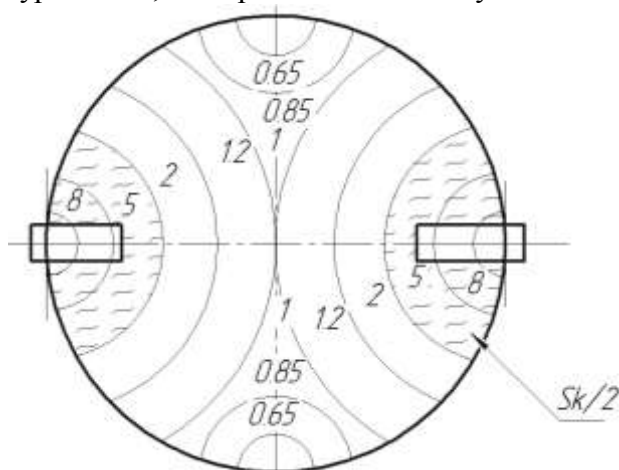


Рис. 4. Электромагнитный ПР

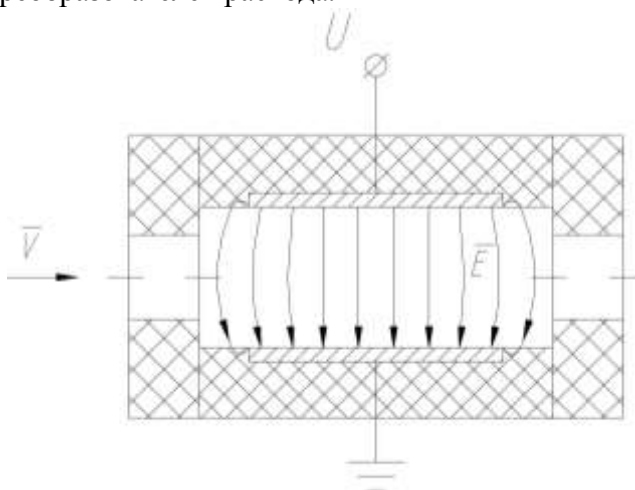


Рис. 5. Поляризационный ПР

Количественные значения критерия для различных типов расходомеров сведены в таблицу. Коэффициент корреляции между величиной критерия  $A_1$  и погрешностью (в % от измеряемой величины) составил  $(-0,69)$ . При подсчете коэффициента корреляции не учтены оптические расходомеры, так как высокая точность измерения (0,2%-1%) может быть обеспечена лишь в лабораторных условиях, в промышленности такие преобразователи расхода не применяются. Величину корреляции можно считать достаточно высокой с учетом того, что на точность измерения влияет не только конструкция ПР, но и вторичный преобразователь.

Количественные значения критерия  $A_1$

Тип расходомера	Критерий $A_1$ (максимальный)	Погрешность измерения (средняя)
Вихревые с обтекаемым телом	0,2	2
Тепловые	0,3	4
Парциальные	0,3	5
Корреляционные	0,3	4
Концентрационные	0,4	3
Меточные с физико-химическими метками	0,4	3
Шариковые	0,4	2,5
Акустические	0,5	2,5
Переменного перепада давления	0,5	2,5

Электромагнитный	0,5	2,5
Турбинные	0,6	2
Постоянного перепада давления	0,6	2
Турбосиловой	0,7	2
Меточные с ионизационной меткой	0,9	1,5
Гироскопические	1	1,5

Применение критерия А1 позволяет прогнозировать возможную точность преобразователя расхода, а также вносить корректировку в конструкцию преобразователя на стадии проектирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества / П.П. Кремлевский. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.

2. Анализ первичных измерителей гидроэлектрических преобразователей расхода в системах управления по первому векторно-рейтинговому критерию Власова / В.В. Власов, Г.М. Садчикова; СГТУ. Саратов, 1994. 48 с. Библиогр.: с. 46-47. Деп. в ВИНТИ 22.02.94. № 453-В94.

**Садчикова Галина Михайловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Sadchikova Galina Mikhailovna** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Technology and Automation of Machine Building» of Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (branch) of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 17.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК.519.6

**Н.Н. Клеванский, С.С. Кашин**

### **ФОРМИРОВАНИЕ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ УНИВЕРСИТЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ РАНЖИРОВАНИЯ**

*Рассматривается применение методов многовекторного и многокритериального ранжирования для решения задачи составления расписания занятий университета.*

Многовекторное и многокритериальное ранжирование, формирование расписания занятий, «жесткое» ранжирование, эффективность по Парето.

**N.N. Klevanskiy, S.S. Kashin**

### **SOLVING THE UNIVERSITY COURSE TIMETABLING PROBLEMS BY THE USE OF RANKING METHODS**

*The article examines the use of multi-vectorial and multi-criteria ranking methods for the university course timetabling problem.*

Multi-vectorial and multi-criteria ranking, timetabling, hard ranking, Pareto efficiency.

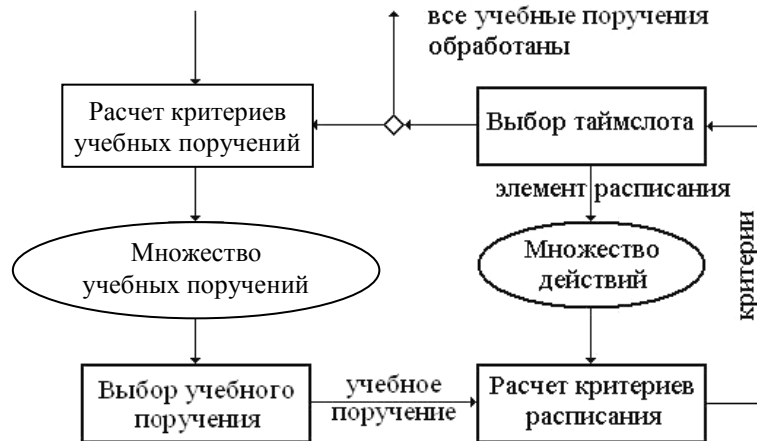
Расписание занятий формируется на основе учебных поручений для проведения занятий. Учебные поручения включают дисциплину, присущие ей особенности (вид занятия и требования к аудитории), студенческий контингент и преподавателя. Задача составления расписания занятий университета формулируется следующим образом: для множеств учебных поручений на проведение занятий, таймслотов и аудиторий составить расписание, которое удовлетворяет всем обязательным ограничениям и минимизирует количество нарушений желательных ограничений [1].

Алгоритм составления расписания занятий можно представить в виде рисунка.

Рассмотрим подробнее содержание учебного поручения, взяв за основу тестовые задания, разработанные Беном Пэйчером для International Timetabling Competition [2, 3]. Этим заданиям присуще следующее:

- отсутствие сведений о преподавателях;
- индивидуальные планы обучения для каждого студента, а не для групп студентов;
- наличие обязательных и желательных ограничений.





Алгоритм формирования расписания занятий

Пусть  $E = \{e_i | i = 1.. \bar{I}\}$  – множество учебных поручений, где  $\bar{I}$  – количество поручений, каждое из которых характеризуется следующими множествами:

–  $\forall e_i \in E \exists S^i \subseteq S \cup \emptyset$  – подмножество студентов учебного поручения  $e_i$ , где  $S = \{s_j | j = 1.. \bar{J}\}$  – множество всех студентов,  $\bar{J}$  – общее количество студентов;

–  $\forall e_i \in E \exists \{\phi^i | \phi_1^i.. \phi_z^i\} \subseteq F \cup \emptyset$  подмножество особенностей учебного поручения, где  $F = \{f_n | n = 1.. \bar{N}\}$  – множество особенностей, характеризующих учебные поручения и аудитории,  $\bar{N}$  – общее количество особенностей. В качестве особенностей, как правило, выступает различное оборудование, необходимое для проведения занятий, например проекторы, лабораторное оборудование и т.п.;

–  $R = \{r_k | k = 1.. \bar{K}\}$  – множество аудиторий, в которых будут проводиться занятия,  $\bar{K}$  – общее число аудиторий. Каждая аудитория характеризуется следующими данными:

–  $\rho_k$  – количество учебных мест (вместимость) аудитории  $r_k$ ;

–  $\forall r_k \in R \exists \{\phi^k | \phi_1^k.. \phi_Y^k\} \subseteq F \cup \emptyset$  подмножество особенностей аудитории.

Определено множество таймслотов  $T = \{t_m | m = 1.. \bar{M}\}$  – временных интервалов проведения занятий,  $\bar{M}$  – общее число таймслотов интервала расписания (для тестовых заданий [2,3] интервал расписания равен одной неделе).

На основании введенных определений каждому учебному поручению соответствует множество допустимых аудиторий, т.е. аудиторий, в которых возможно проведение занятия данного поручения:

$$\forall e_i \in E \exists R'_i \subseteq R \cup \emptyset, \quad (1)$$

$$\forall e_i \in E \forall r_k \in R \quad r_k \in R'_i \leftrightarrow \rho_k \geq |S^i| \wedge \phi_i \subseteq \phi_k. \quad (2)$$

Каждое учебное поручение характеризуется вектором загруженности, содержащим две векторные компоненты – критерии загруженности поручения по студентам  $Q1$  и аудиториям  $Q2$ .

Критерий загруженности  $Q1_i$ , компонентами которого являются текущие оценки загруженности студентов учебного поручения  $e_i$ , определяется выражением:

$$\forall e_i \in E, \exists Q1_i = \{Q1_i^x | x = 1..|S^i|\} \quad (3)$$

Число компонент данного вектора определяется числом студентов учебного поручения. Оценка загруженности студента  $s_j$  определяется выражением:

$$\forall e_i, \forall s_j \in S^i, \exists Q1_i^j = \frac{\bar{U}_j - U_j^{sched}}{M - U_j^{sched}}, \quad (4)$$

где  $\bar{U}_j$  – количество учебных поручений студента  $s_j$ ;  $U_j^{sched}$  – количество включенных в расписание занятий студентов  $s_j$ .

Критерий загруженности  $Q2_i$  учебного поручения  $e_i$ , компонентами которого являются текущие оценки загруженности допустимых аудиторий, в которых можно провести занятие, определяется выражением:

$$\forall e_i \in E, \exists Q2_i = \{Q2_i^y | y = 1..|R^i|\} \quad (5)$$

Число компонент данного вектора определяется числом допустимых аудиторий учебного поручения, с учетом степени их соответствия учебному поручению. Оценка загруженности аудитории  $r_k$  определяется следующим выражением:

$$\forall e_i \in E, \forall r_k \in R, \exists Q2_i^k = \frac{\bar{\eta}_k - \eta_k^{sched}}{\bar{I} - \eta_k^{sched}} \times q_{ik}, \quad (6)$$

где  $\bar{I}$  – количество учебных поручений;  $\bar{\eta}_k$  – количество учебных поручений, претендующих на аудиторию  $r_k$ ;  $\eta_k^{sched}$  – количество включенных в расписание занятий в аудитории  $r_k$ ;  $q_{ik}$  – коэффициент соответствия аудитории  $r_k$  учебному поручению  $e_i$ , определяемый выражением:

$$q_{ik} = \frac{|S^i|}{\rho_k} \times \frac{|\phi_i| + 1}{|\phi_k| + 1}. \quad (7)$$

Циклический выбор наиболее загруженного учебного поручения (см. рисунок) осуществляется с помощью многовекторного ранжирования [4]. В качестве численного примера рассмотрим 10 наиболее загруженных учебных поручений в очередном цикле формирования расписания.

Таблица 1

Первый векторный критерий с включением нулевых загруженностей студентов

	№ учебных поручений									
	16	25	40	64	96	147	207	214	238	273
Q1(1)	0,635	0,625	0,633	0,625	0,625	0,625	0,635	0,633	0,625	0,633
Q1(2)	0,635	0,617	0,625	0,625	0,625	0,625	0,635	0,625	0,625	0,625
Q1(3)	0,635	0,608	0	0,625	0,617	0,625	0,635	0,625	0,625	0,625
Q1(4)	0,635	0,598	0	0,617	0,617	0,625	0,635	0,617	0,625	0,625
Q1(5)	0,625	0	0	0,617	0,617	0,625	0,635	0	0,617	0,625
Q1(6)	0,625	0	0	0,617	0,608	0,617	0,625	0	0,617	0,617
Q1(7)	0,625	0	0	0,608	0,608	0,617	0,625	0	0,617	0,617
Q1(8)	0,617	0	0	0,608	0,608	0,617	0,617	0	0,608	0,617
Q1(9)	0,617	0	0	0,598	0,598	0,617	0,617	0	0,6	0,617
Q1(10)	0,617	0	0	0,598	0,598	0	0,617	0	0	0,617

Скалярные данные первого векторного критерия (табл. 1) отсортированы в убывающем порядке для каждого учебного поручения. Для последующего ранжирования учебных поручений недостающие значения представлены нулем. Это определяется характером выражений, используемых для расчета оценок загруженности студентов. Нулевые значения моделируют студентов с нулевым значением оценки загруженности.

Для выбора наиболее загруженного поручения применяется метод «жесткого» ранжирования [4]. В ходе его применения попарно анализируются все поручения. Результаты анализа заносятся в оценочную матрицу  $\|C_{kl}\|$  ( $k=1..\bar{l}; l=1..\bar{l}; k \neq l$ ), элементы  $C_{kl}$  которой однозначно определяют соотношение между  $k$ -м и  $l$ -м поручениями и подбираются таким образом, чтобы отсеять неэффективные варианты.

Попарное сравнение учебных поручений  $e_k, e_l$  осуществляется на основе анализа критериев  $Q_k(j), Q_l(j)$ ,  $j=1, a$ , где  $a$  – количество компонент векторного критерия  $Q$ . Для возможных значений подмножеств поручений  $N_{kl}^+, N_{kl}^-, N_{kl}^-$  (соответственно подмножества номеров лучших, худших и равных критериев) введем следующие значения элементов оценочной матрицы  $\|C_{kl}\|$ :

- если  $N_{kl}^+ = \Pi N_{kl}^- = \Pi N_{kl}^- = \{1, a\}$ , то  $C_{kl} = 1, C_{lk} = 1$ ;
- если  $N_{kl}^+ = \{1, a\}, N_{kl}^- = \Pi N_{kl}^- = \Pi$ , то  $C_{kl} = N_2, C_{lk} = 0, N_2 \gg 1$ ;
- если  $N_{kl}^+ = \Pi N_{kl}^- = \{1, a\}, N_{kl}^- = \Pi$ , то  $C_{kl} = 0, C_{lk} = N_2$ ;
- если  $N_{kl}^+ \neq \Pi N_{kl}^- = \Pi N_{kl}^- \neq \Pi$ , то  $C_{kl} = N_3, C_{lk} = 0, 1 \ll N_3 < N_2$ ;
- если  $N_{kl}^+ = \Pi N_{kl}^- \neq \Pi N_{kl}^- \neq \Pi$ , то  $C_{kl} = 0, C_{lk} = N_3$ ;
- если  $N_{kl}^+ \neq \Pi N_{kl}^- \neq \Pi |N_{kl}^-| \geq 0$ , то  $C_{kl}$  определяется в виде:

$$C_{kl} = \sum_{j \in N_{kl}^+} \alpha_j \left( \sum_{j \in N_{kl}^-} \alpha_j \right)^{-1}, \quad C_{lk} = C_{kl}^{-1}, \quad (8)$$

где  $\alpha_j$  – коэффициенты важности критериев.

Первая оценочная матрица представлена в табл. 2.

Таблица 2

Оценочная матрица

	16	25	40	64	96	147	207	214	238	273
16		$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_3$	0	$N_2$	$N_2$	$N_2$
25	0		2/2	0	0	0	0	0	0	0
40	0	2/2		1/8	1/8	1/8	0	0	1/8	0
64	0	$N_3$	8/1		$N_3$	1/5	0	6/1	1/3	0
96	0	$N_3$	8/1	0		1/7	0	6/2	1/5	0
147	0	$N_3$	8/1	5/1	7/1		0	6/1	$N_3$	0
207	$N_3$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_3$		$N_2$	$N_2$	$N_3$
214	0	$N_3$	$N_3$	1/6	2/6	1/6	0		1/6	0
238	0	$N_3$	8/1	3/1	5/1	0	0	6/1		0
273	0	$N_2$	$N_3$	$N_3$	$N_3$	$N_3$	0	$N_3$	$N_3$	

Для формулировки разрешающих правил (специальных неформальных правил, зависящих от специфики задачи и позволяющих провести ранжирование систем) вводятся характерные числа [4]:  $H_l$  – число элементов в  $l$ -м столбце оценочной матрицы, значение которых больше единицы;  $M_l$  – число элементов в  $l$ -м столбце той же матрицы, значение которых

меньше единицы;  $C_{kl \max}$  – максимальное значение элемента в  $l$ -м столбце матрицы  $\|C_{kl}\|$ . Физический смысл характерных чисел:

–  $H_l$  показывает количество вариантов из рассматриваемого множества, превышающих  $l$ -й;

–  $M_l$  показывает, над сколькими вариантами доминирует  $l$ -й вариант;

–  $C_{kl \max}$  определяет, сколько раз  $k$ -е поручение доминирует над  $l$ -м ( $k \in \{\overline{1, a}\}, k \neq l$ ).

Характерные числа для оценочной матрицы (табл. 2) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характерные числа

	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>96</b>	<b>147</b>	<b>207</b>	<b>214</b>	<b>238</b>	<b>273</b>
$H_l^{(1)}$	1	8	8	5	6	3	0	7	4	2
$M_l^{(1)}$	8	0	0	4	3	6	9	2	5	7
$C_{kl \max}^{(1)}$	$N_3$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_3$	0	$N_2$	$N_2$	$N_2$

Варианты, для которых  $C_{ki \max}^{(1)} \geq N_2$ , не могут принадлежать множеству эффективных решений, поэтому столбцы и строки, соответствующие учебным поручениям № 25, 40, 64, 96, 214, 238 и 273, исключаются из оценочной матрицы. Исходя из данных табл. 3, можно сделать вывод, что лучшим является учебное поручение № 207. Оно включается в частный кортеж Парето, а столбцы и строки, соответствующие этому поручению, исключаются из оценочной матрицы. Результат представлен в табл. 4.

Таблица 4

Оценочная матрица

	<b>16</b>	<b>147</b>
<b>16</b>		$N_3$
<b>147</b>	0	

Анализ оценочной матрицы (табл.4) позволяет получить характерные числа  $H_i^{(2)}$ ,  $M_i^{(2)}$  и  $C_{ki \max}^{(2)}$ , которые приведены в табл. 5.

Таблица 5

Характерные числа

	<b>16</b>	<b>147</b>
$H_l^{(1)}$	0	1
$M_l^{(1)}$	1	0
$C_{kl \max}^{(1)}$	0	$N_3$

Из табл. 5 видно, что учебное поручение № 16 является более эффективным, чем учебное поручение № 147. Оба учебных поручения включаются в частный кортеж Парето с соответствующими рангами (табл. 6). Таким образом, частный кортеж Парето по первому критерию:  $P_1 = \langle 207, 16, 147 \rangle$ .

Таблица 6

Ранги первого векторного критерия

	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>96</b>	<b>147</b>	<b>207</b>	<b>214</b>	<b>238</b>	<b>273</b>
$R_1$	2	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	3	1	$N_2$	$N_2$	$N_2$

Выполнение аналогичных расчетов по второму векторному критерию дает следующие ранги второго критерия (табл. 7).

Таблица 7

Ранги второго векторного критерия

	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>96</b>	<b>147</b>	<b>207</b>	<b>214</b>	<b>238</b>	<b>273</b>
$R_2$	3	8	$N_2$	5	2	7	6	$N_2$	4	1

Для дальнейшего ранжирования будут использованы результаты ранжирования по векторным критериям. В табл. 8 представлены полученные значения псевдокритериев (рангов  $R_1, R_2$ ).

Таблица 8

Ранги обоих критериев

	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>96</b>	<b>147</b>	<b>207</b>	<b>214</b>	<b>238</b>	<b>273</b>
$R_1$	2	$N_2$	$N_2$	$N_2$	$N_2$	3	1	$N_2$	$N_2$	$N_2$
$R_2$	3	8	$N_2$	5	2	7	6	$N_2$	4	1

Исходя из данных табл. 8, можно сделать вывод об эффективности учебных поручений № 16, 147 и 207. Остальные неэффективные поручения исключаются из рассмотрения. Исходные данные для ранжирования приобретут следующий вид (табл. 9).

Таблица 9

Ранги обоих критериев после исключения неэффективных вариантов

	<b>16</b>	<b>147</b>	<b>207</b>
$R_1$	2	3	1
$R_2$	3	7	6

Получаем оценочную матрицу (табл. 10).

Таблица 10

Оценочная матрица

	<b>16</b>	<b>147</b>	<b>207</b>
<b>16</b>		$N_2$	1/1
<b>147</b>	0		0
<b>207</b>	1/1	$N_2$	

Таблица 11

Характерные числа

	<b>16</b>	<b>147</b>	<b>207</b>
$H_l$	0	2	0
$M_l$	1	0	1
$C_{kl \max}$	1	$N_2$	1

Таким образом, учебное поручение № 147 – неэффективно, а учебные поручения № 16 и № 207 – равнозначны и войдут в кортеж Парето с одинаковыми рангами, то есть может быть выбрано любое из них.

После выбора наиболее загруженного учебного поручения необходимо выбрать аудиторию и таймслот (см. рисунок) для проведения занятия. При выборе необходимо учесть все обязательные ограничения и свести к минимуму нарушения желательных ограничений. Пусть выбрано учебное поручение № 207. Для него в формируемом расписании существует конечное число  $X$  вариантов пар аудитория/таймслот, в которых возможно проведение занятия. Необходимо оценить получающиеся расписания и выбрать оптимальное. Каждое расписание оценивается векторным критерием со следующими компонентами:

- количество занятий, проводимых в последнем таймслоте учебного дня для каждого студента;
- количество студентов, имеющих одно занятие в течение учебного дня;
- количество «блоков» из трех и более занятий подряд в течение учебного дня для каждого студента.

Выбор оптимального варианта расписания является многокритериальной задачей и производится при помощи метода «жесткого» ранжирования.

В табл. 12 приведены компоненты векторов, оценивающих все возможные варианты расписаний для выбранного учебного поручения № 207.

Таблица 12

Векторная компонента оценки возможных расписаний

	№ пар аудитория / таймслот, в которых может проводиться занятие		
	<b>7/30</b>	<b>7/37</b>	<b>7/44</b>
$K_1$	21	21	24
$K_2$	59	58	56
$K_3$	512	507	503

Оптимальный вариант определяется после проведения расчетов, аналогичных описанным выше. В данном примере это аудитория 7 и таймслот 44.

### Заключение

Для решения задачи формирования расписания занятий университета применены многовекторное и многокритериальное ранжирования. Это позволяет достаточно быстро выбрать оптимальный вариант на множестве допустимых значений, что крайне актуально для решения NP-полных задач.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клеванский Н.Н. Метод формирования расписания занятий университета / Н.Н. Клеванский, С.С. Кашин // Образовательные технологии: научно-технический журнал № 2. Воронеж: Научная книга, 2006. С. 83-87.
2. <http://www.idsia.ch/Files/ttcomp2002/>
3. Клеванский Н.Н. Анализ заданий РАТАТ / Н.Н. Клеванский, С.С. Кашин // Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления: материалы VIII Всерос. науч. конф. студентов и аспирантов. Таганрог: ТРТУ, 2006. С. 81-82.
4. Сафронов В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования / В.В. Сафронов. Саратов: Научная книга, 2009. 329 с.

**Клеванский Николай Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

**Klevanskiy Nikolay Nikolayevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Software for Computing Engineering and Automated Systems» of Saratov State Technical University

**Кашин Станислав Сергеевич** – аспирант кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

**Kashin Stanislav Sergeyeovich** – Post-graduate Student of the Department of «Software for Computing Engineering and Automated Systems» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 22.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 51-77: 004.65

**И.И. Семенова, А.О. Мишурин**

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЯМИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА**

*Описываются разработанные математические модели в области информационного противоборства и подход к построению системы управления моделями, которые можно использовать для прогноза потребности регионов в специалистах в сфере информационной безопасности.*

Система управления, математическое моделирование, база моделей, информационное противоборство, проектирование систем.

**I.I. Semenova, A.O. Mishurin**

### **MANAGEMENT SYSTEM MODEL OF INFORMATION COUNTERFORCE**

*The paper describes mathematical models of information counterforce and also an approach to building model management system which can be used for forecasting of the regional needs for information security specialists.*

Control system, mathematical modeling, model base, information counterforce, systems design.

#### **Введение**

Развитие мирового сообщества наглядно демонстрирует, что в последнее время критически важным государственным ресурсом, оказывающим все большее влияние на национальную безопасность, становится информация, циркулирующая в автоматизированных си-

стемах управления и связи. Ускоренное развитие информационных технологий открыло дополнительные возможности для преднамеренного деструктивного воздействия на них противоположной стороны.

Исследование процессов информационного противоборства рождает такие вопросы: «Какова общая картина поведения сторон, в каком конечном состоянии окажется данное общество, если известно его состояние на текущий момент времени? Как предсказать поведение системы информационного противоборства? Как выяснить влияние различных параметров системы информационного противоборства на ее динамику?»

Для ответа на эти и многие другие вопросы проводятся исследования в области информационного противоборства сторон, разрабатываются математические модели противоборствующих сторон, этим проблемам посвящены работы [1, 2, 4, 6, 10, 12 и др.].

В данной статье предложен вариант математической модели противоборств, разработанный на основании гипотез математической теории популяций, математической модели «хищник-жертва» В. Вольтерра и математической модели сражения Ланкастера, а именно: «защитники информационных ресурсов – нарушители»; «защитники информационных ресурсов – нарушители – нейтральная сторона». Также предлагается использовать разработанную систему управления моделями для повышения эффективности работы с этими моделями.

### Математические модели противоборств

Рассмотрим базовую математическую модель противоборства В. Вольтерра, содержащую два вида: один вид – хищники  $N_2$ , другой – добыча  $N_1$ . Согласно [3], рассмотрим динамику популяций как систему:

$$\begin{cases} \frac{\partial N_1}{\partial t} = (a - b \cdot N_2) \cdot N_1 \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} = (-c + d \cdot N_1) \cdot N_2 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $a > 0$  – скорость размножения при отсутствии хищников;  $c > 0$  – интенсивность вымирания хищников при отсутствии жертв;  $b > 0$  – коэффициент потери биомассы жертв хищников;  $d > 0$  – коэффициент увеличения биомассы хищников в случае удачной охоты (чем больше жертв, тем больше биомасса хищников).

Проводя аналогию с математической моделью В. Вольтерра (1) для разработки моделей информационного противоборства, определим, что в роли жертв выступают нарушители, а в роли хищников выступают защитники информационных ресурсов, противостоящие в сфере информационных технологий (ИТ).

Определим математическую модель противоборства «защитник информационных ресурсов – нарушитель» с учетом социально-экономических условий в исследуемом регионе страны. После изучения предметной области информационного противоборства в сфере ИТ, выдвижения гипотез и проведения эмпирических исследований были определены факторы, влияющие на численность противоборствующих сторон:

1) рост числа нарушителей неизбежен, если доходы от преступных операций  $D$  превышают расходы на подготовку и проведение операций по несанкционированному доступу к информации  $P$  (параметры измеряются в рублях за единицу модельного времени (неделя, месяц, квартал),  $D \geq 0$ ,  $P \geq 0$ );

2) уровень конкуренции  $\gamma_1$  между нарушителями за общий информационный ресурс сдерживает прирост их численности,  $0 \leq \gamma_1 \leq 1$ ;

3) коэффициент  $R$  отражает строгость законодательства – риски, связанные с поимкой нарушителя (административное, уголовное наказание),  $R \geq 0$ . Данный фактор отражает сдерживание прироста нарушителей и выражается как:



$R = \sum_{i=1}^{|A|} (a_i / |A|) \cdot b_i$ , где  $A$  – множество категорированных мер ответственностей по каждой статье уголовного и административного кодексов за нарушения в сфере ИТ,  $a_i \in A$ ;  $b_i$  – отношение количества обвинительных приговоров по  $i$ -й статье к общему количеству рассмотренных в судах дел по  $i$ -й статье;

4) коэффициент  $\alpha$  отражает качество подготовки специалистов по защите информационных ресурсов ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) и включает:

– качество полученного основного образования в высшем учебном заведении, оценить которое возможно по среднему баллу во время обучения или по специальным тестам;

– периодичность и качество повышения квалификации, прохождения курсов по современным информационным технологиям и продуктам по защите информации, оценить которое возможно по среднему баллу во время обучения или по специальным тестам.

5) уровень общедоступности информации в глобальной сети Интернет  $G$ . В связи с ростом информационных ресурсов со сведениями об угрозах безопасности, методах, способах и инструментарии по реализации этих угроз, совершить информационные преступления становится все проще, что вызывает увеличение числа нарушителей и рост компьютерной преступности,  $0 \leq G \leq 1$ ;

б) затраты общества на содержание защитников  $Z$ , параметр измеряется в рублях за единицу моделированного времени (неделя, месяц, квартал), чем больше убытков несет общество от преступлений, тем больше денег оно готово вкладывать в защитников информации,  $Z \geq 0$ .

После определения факторов, влияющих на численность нарушителей, и основываясь на идеологии работы [3] по составлению первого уравнения системы (1), получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = k \cdot \frac{D}{P} \cdot N_1 - \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 - R \cdot N_1 + (1 - \eta) \cdot (D - Z) \cdot N_2 - \gamma_1 \cdot N_1^2 + G \cdot N_1, \quad (2)$$

где  $k$  – нормирующий коэффициент,  $0 \leq k \leq 1$ ;  $\eta$  – уровень нравственного здоровья общества.

Численность защитников зависит от следующих факторов:

1) затраты общества на содержание защитников  $Z$ ;

2) уровень полезности защитников  $V$  рассматривается как отношение числа раскрытых компьютерных преступлений  $K_1$  к общему числу совершенных преступлений  $K_2$ ,  $0 \leq V \leq 1$ ;

3) уровень нравственного здоровья общества  $\eta$ , влияющий на переход защитников на сторону нарушителей, чем выше этот уровень, тем меньше таких переходов (определяется согласно [5, 8, 11] на основании количественной оценки и влияния данного параметра на процессы, протекающие в обществе);

4) конкуренция между защитниками  $\gamma_2$ , которая может сдерживать прирост их численности,  $0 \leq \gamma_2 \leq 1$ .

После определения факторов, влияющих на численность защитников, и основываясь на идеологии работы [3] по составлению второго уравнения системы (1), получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = b \cdot D \cdot N_2 - \gamma_2 \cdot N_2^2 - (1 - \eta) \cdot (D - Z) \cdot N_2 + c \cdot (1 - V) \cdot N_2, \quad (3)$$

где  $b, c$  – нормирующие коэффициенты,  $0 \leq b \leq 1, 0 \leq c \leq 1$ .

Численность нарушителей может увеличиваться за счет защитников информации. Если доходы злоумышленника от правонарушений  $D$  будут заметно превышать затраты общества на подготовку и содержание защитников  $Z$ , то последние начнут переходить на сторону нарушителей, в противном случае они будут противодействовать росту числа нарушителей.

Определим незначительные факторы и внесем завершающие изменения в модель:

- 1) учитывая скрытый характер деятельности нарушителей и отсутствие взаимодействий между ними, исключим из модели уровень конкуренции  $\gamma_1$  между нарушителями;
- 2) введем коэффициент  $\tau_1$  – интенсивность естественного сокращения защитников информации в случае отсутствия в них потребности,  $0 \leq \tau_1 \leq 1$ .

После определения факторов, которые влияют на численность противоборствующих сторон, получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial N_1}{\partial t} = k \cdot \frac{D}{P} \cdot N_1 - \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 - R \cdot N_1 + (1-\eta) \cdot (D-Z) \cdot N_2 + G \cdot N_1 \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} = b \cdot D \cdot N_2 - \gamma_2 \cdot N_2^2 - (1-\eta) \cdot (D-Z) \cdot N_2 + c \cdot (1-V) \cdot N_2 - \tau_1 \cdot N_2. \end{cases} \quad (4)$$

После детального изучения процессов, влияющих на информационное противоборство в сфере ИТ, была определена третья сторона  $N_3$ , которая является нейтральной по отношению к двум другим, но может значительно влиять на исход исследуемого противоборства. Нейтральная сторона является донором для противоборствующих сторон, так как численность противоборствующих сторон не может пополняться людьми, не обладающими достаточными знаниями в сфере ИТ.

Под  $N_3$  будем понимать опытных пользователей, в том числе работников сферы ИТ, студентов факультетов соответствующего направления; защитники информационных ресурсов и нарушители в данную категорию не входят.

Взаимодействие данных группировок рассматривается в некотором обществе, задаваемом определенными параметрами. Определим явные факторы, влияющие на численность нейтральной стороны:

- 1)  $\gamma_3$  – конкуренция в среде работников сферы ИТ,  $0 \leq \gamma_3 \leq 1$ ;
- 2)  $\tau_2$  – коэффициент естественного сокращения работников сферы ИТ,  $0 \leq \tau_2 \leq 1$ ;
- 3)  $\varphi$  – уровень информационной развитости общества, доля процента населения, работающего в сфере ИТ ( $0 \leq \varphi \leq 1$ ).

Между противостоящими сторонами и нейтральной стороной возможны переходы, направленность которых представлена на рис. 1. Переходы отражаются в дифференциальных уравнениях следующим образом: если направление фактора выходит из противоборствующей стороны, то этот фактор уменьшает численность этой стороны и, соответственно, в уравнение входит со знаком «минус», в противном случае входит со знаком «плюс».

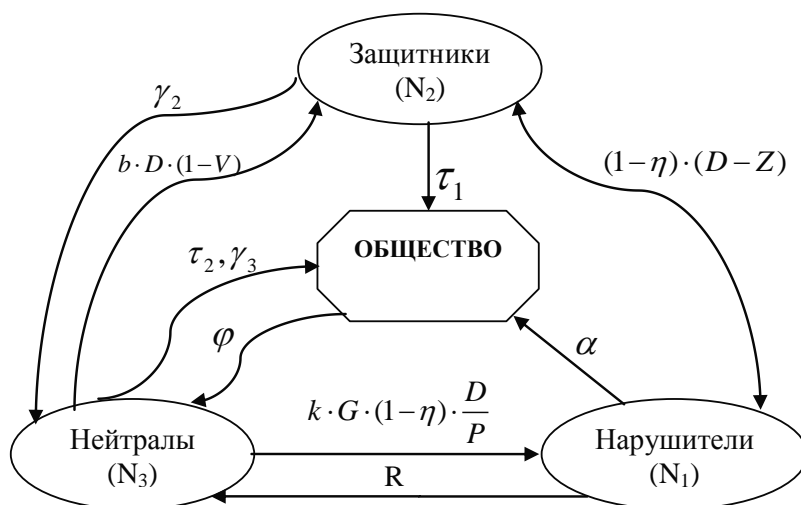


Рис. 1. Схема переходов между противоборствующими сторонами

После определения факторов и схемы переходов между сторонами, влияющих на противоборство двух сторон с участием нейтральной стороны, внесем изменения в систему (4) и получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial N_1}{\partial t} = k \cdot G \cdot (1-\eta) \cdot \frac{D}{P} \cdot N_3 - \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 - R \cdot N_1 + (1-\eta) \cdot (D-Z) \cdot N_2 \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} = b \cdot D \cdot (1-V) \cdot N_3 - \gamma_2 \cdot N_2^2 - (1-\eta) \cdot (D-Z) \cdot N_2 - \tau_1 \cdot N_2 \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} = \varphi \cdot N_3 - \gamma_3 \cdot N_3^2 - \tau_2 \cdot N_3 + \gamma_2 \cdot N_2^2 - b \cdot D \cdot (1-V) \cdot N_3 - k \cdot G \cdot (1-\eta) \cdot \frac{D}{P} \cdot N_3 + R \cdot N_1, \end{cases} \quad (5)$$

где под  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  подразумевается  $N_1(t)$ ,  $N_2(t)$ ,  $N_3(t)$  соответственно, но функциональная форма записи опущена для сокращения описания (5).

Следующими этапами разработки математических моделей информационного противоборства являются: определение стационарных точек, проведение исследований по проверке устойчивости системы дифференциальных уравнений, проведение численных экспериментов с целью выявления ограничений на входные параметры модели, проверка адекватности модели, построение прогнозов развития процессов информационного противоборства сторон.

Для работы с математическими моделями на рынке информационных технологий представлен широкий спектр систем математического моделирования (MatLab, MathCad, Mathematica, WebMathematica, Maple, AnyLogic и др.) и автоматизированного моделирования и инженерного анализа (САЕ-системы).

Но в ходе разработки математических моделей информационного противоборства неизбежны итерационные доработки компонентов самой системы, определения диапазонов входных параметров, где необходимо отслеживать историю внесения изменений с целью получения максимально приближенной к предметной области модели исследуемого информационного противоборства для дальнейшего ее использования при принятии решений.

Системы математического моделирования не ставят перед собой задачи сравнения результатов моделирования и хранения версий. Точнее, понятие версионности поддерживается, но в контексте работы коллектива из нескольких человек над одной моделью (например, в AnyLogic – режим *shared work*). Кроме того, целью разработки математических моделей противоборств является их последующее использование в системах поддержки принятия решений (СППР), созданных для силовых и образовательных структур, активно влияющих на соотношение описанных противоборствующих сторон. Следовательно, целесообразно строить работу с моделями противоборств параллельно с проектированием СППР.

На сегодняшний день существует несколько классификаций СППР по различным признакам, учитывая специфику работы. Интерес представляют так называемые Model-driven DSS или моделируемые СППР. Ключевым звеном в архитектуре СППР данного класса выступает система управления моделями (СУМ). Согласно работе [14], типовая структура включает в себя такие блоки, как:

– *База моделей* представляет собой набор компьютерных моделей принятия решений. Ее функции подобны функциям базы данных, отличается лишь тем, что хранимые объекты – модели. Модели в базе моделей можно разделить на несколько категорий по их характеру: стратегические, тактические, оперативные и аналитические.

– *Справочник моделей* представляет собой каталог всех моделей и другого программного обеспечения в базе моделей. Он содержит определения моделей, а также их основные функции, чтобы ответить на вопросы о доступности и совместимости этих моделей.

– *Среда разработки моделей (СРМ)* поддерживает процесс построения модели, чтобы сделать ее максимально полезной. Она должна включать язык определения модели (ЯОМ),

чтобы модели были представлены надлежащим образом и сохранены в базе моделей для исполнения. Она также обеспечивает платформу, на которой модели могут быть созданы, сохранены, интегрированы, выбраны и поддержаны при необходимости.

– *Среда исполнения модели (СИМ)* включает в себя язык *манипулирования моделями (ЯММ)*, который запускает на исполнение существующие модели, чтобы получить оптимальное решение. Она также содержит интерфейс пользователя для управления выбранными моделями и ссылки на решающие программы и модули управления данными.

– *Решающие программы* (решатели или solver-системы) являются программным инструментом, который помогает пользователям управлять моделями и найти решение (в том числе, оптимальное) для поставленной задачи, следуя определенной процедуре. Например, обзор средств, реализующих методы линейного программирования, представлен в [13].

Описанные элементы связаны с СППР соответствующими *подсистемами управления данными и знаниями* и доступны лицам, принимающим решения (ЛПР), через *пользовательский интерфейс* СППР.

*Система управления моделями* представляет собой программный комплекс, который обеспечивает доступ к базе моделей и организует связи с другими компонентами. В работах также вместо СУМ используют понятие системы управления базами моделей (СУБМ).

При проектировании СУМ необходимо учесть следующие аспекты: структура справочника моделей и базы моделей должна поддерживать версиюность моделей противоборств, накапливать результаты экспериментов и позволять их сравнивать, а также использовать их при принятии решений и выборе варианта модели с использованием методов оптимизации; система должна быть открыта для пополнения новыми алгоритмами и готовыми модулями принятия решений и оптимизации, а, следовательно, должна решать проблему совместимости на уровне структур данных, которые могут быть получены из выбранной СИМ или являться исходными для используемого в системе на данный момент решателя.

При описании архитектуры СУМ выделим информационную, программную и техническую составляющие. В данной работе рассмотрим информационную архитектуру СУМ.

Для хранения моделей противоборства необходимо определить внутренний формат хранения и способы преобразования их в совместимые форматы для СРМ, СИМ и решателей. В связи с тем, что при проектировании СУМ у заказчика могут оказаться готовые программные решения для реализации отдельных блоков, возникает необходимость интегрировать готовые решения с проектируемой СУМ и выбрать такой формат представления моделей и данных, который обеспечивал бы совместимость блоков.

Если в качестве СИМ рассмотреть MatLab, MathCad, Mathematica, WebMathematica, Maple, AnyLogic, то в качестве ЯОМ могут служить либо Java, либо С, т.к. в представленных средах реализуются поддержка и импорт/экспорт моделей в формате представленных языков программирования. Но так как полной совместимости нет, то для поддержки работы в рамках СУМ различных СИМ, необходим транслятор моделей из внутреннего представления в базе моделей.

Кроме того, необходимо учитывать многовариантность, т.е. модель, форма которой заранее предусматривает те или иные способы её «настройки» на конкретные структурные модификации, соответствующие единичным объектам моделирования.

Используем для представления моделей с учетом их многовариантности морфологический граф в форме И-ИЛИ дерева [7, 9].

В данном способе И-компонентом будет выступать варьируемый параметр, для которого обязательно нужно выбрать вариант функции, по которой он будет определяться, а ИЛИ-компонентом будет функция или константа, которые играют роль варианта для определяемого родительского параметра. Любой возможный вариант сборки модели однозначно задаётся поддеревом, включающим корневую вершину, всех её потомков (И-типа) и последующим присоединением к каждому И-потомку одного из его ИЛИ-потомков, и к каждому

ИЛИ-потомку – всех его И-потомков. Выбор поддерева продолжается до тех пор, пока все включённые в него потомки самого нижнего уровня не окажутся листьями, т. е. известными функциями времени или константами.

Подобное И-ИЛИ дерево на различных уровнях абстрагирования (схемное, структурное, математическое, алгоритмическое, процедурное представления) в узлах содержит соответствующую интерпретацию компонента модели, обобщенный пример формирования модели в форме И-ИЛИ дерева представлен на рис. 2.

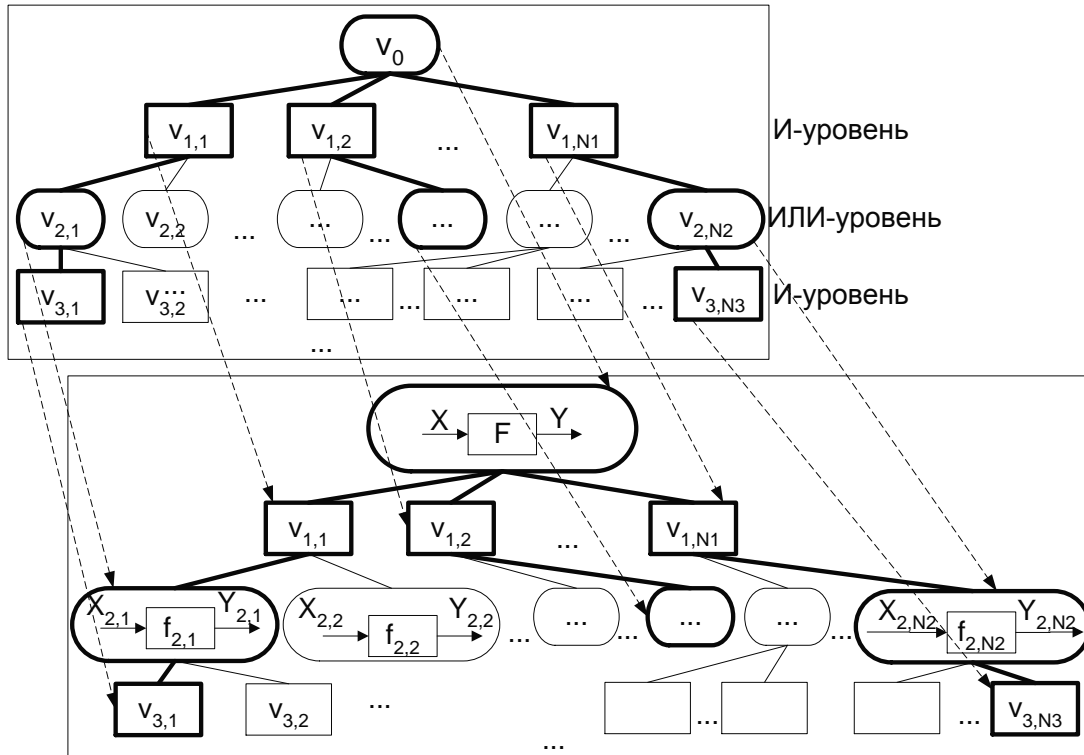


Рис. 2. Пример представления модели на математическом и схемном уровнях

На рис. 2  $v_0$  – корень И-ИЛИ дерева;  $v_{i,j}$  – узел дерева с логикой «И» при  $i = 1, 3, \dots, L-1$  и узел дерева с логикой «ИЛИ» при  $i = 2, 4, \dots, L$ ;  $j$  – порядковый номер узла на  $i$ -м уровне;  $L$  – максимальная длина пути от корня до листа дерева;  $j = 1, 2, \dots, N_i$ ;  $N_i$  – количество узлов на  $i$ -м уровне;  $\forall v_{i,j} \in V_{i+1,j} \Rightarrow v_{i,j} = \{X_{i+1,k}, f_{i+1,k}, Y_{i+1,k}\}$  и  $X_{i-1,j} = X'_{i-1,j} \cup Y_{i,1} \cup Y_{i,2} \cup \dots \cup Y_{i,N_i}$  при  $i = 1, 3, \dots, L-1$ ;  $X'_{i-1,j}$  – множество входных параметров, определяемых только на уровне узла  $v_{i-1,j}$ ;  $V_{i+1,j} = \{v_{i+1,k} \mid l(v_{i,j}, v_{i+1,k}) = 1\}$ .

На рис. 2 пунктиром показана связь узлов между уровнями представления, для демонстрации выбора варианта модели жирным выделены узлы и связи, из которых складывается этот вариант, при этом выбор варианта может осуществляться на любом уровне представления в зависимости от предпочтений ЛППР.

Если рассматривать систему (5), то она в качестве аргументов включает только простые параметры, не зависящие от времени (кроме самих  $N_1(t), N_2(t), N_3(t)$ ), которые требуют только определения начальных значений. Поэтому в данном случае И-ИЛИ дерево вырождается и хранится только в виде одного узла. Но при проведении дальнейших исследований предметной области появление новых версий модели требует централизованного управления ими.

Для организации хранения моделей с учетом их многовариантности и версионности используем следующую структуру базы моделей с обозначением первичного ключа как

*PK(перечень атрибутов)*, внешнего ключа как *FK(перечень атрибутов) REF таблица (перечень атрибутов)*: **единицы измерения** (код единицы измерения, единица измерения, *PK(код единицы измерения)*); **объекты/процессы** (код объекта, название объекта, дата создания, код автора, *PK(код объекта)*); **узлы** (код узла, тип узла, структурный слой, схемный слой, математический слой, слой алгоритма, процедурный слой, *PK(код узла)*); **параметры** (код параметра, название, код единицы измерения, *PK(код параметра)*, *FK(код единицы измерения) REF единицы измерения (код единицы измерения)*); **модели** (код модели, название модели, код объекта, дата создания, условие останова, код автора, код корневого узла, *PK(код модели)*, *FK(код объекта) REF объекты/процессы (код объекта)*, *FK(код корневого узла) REF узлы (код узла)*); **параметры узла** (код параметра узла, код узла, код параметра, тип параметра, размерность, *PK(код параметра узла)*, *FK(код параметра) REF параметры (код параметра)*, *FK(код узла) REF узлы (код узла)*); **И\_ИЛИ дерево** (код связи, код модели, код базового узла, код узла, код родительской связи, уровень, *PK(код связи)*, *FK(код родительской связи) REF И\_ИЛИ дерево (код связи)*, *FK(код модели) REF модели (код модели)*, *FK(код узла) REF узлы (код узла)*, *FK(код базового узла) REF узлы (код узла)*); **версии** (код версии, код модели, код базовой версии, дата создания, название версии, *PK(код версии)*, *FK(код базовой версии) REF версии (код версии)*, *FK(код модели) REF модели (код модели)*); **операции** (код операции, код версии, код связи, операция, *PK(код операции)*, *FK(код версии) REF версии (код версии)*, *FK(код связи) REF И\_ИЛИ дерево (код связи)*); **собранные варианты** (код варианта, дата создания, код автора, код версии, *PK(код варианта)*, *FK(код версии) REF версии (код версии)*); **эксперименты** (код эксперимента, дата эксперимента, код автора, название эксперимента, код варианта, *PK(код эксперимента)*, *FK(код варианта) REF собранные варианты (код варианта)*); **значения параметров** (код значения, код параметра узла, код эксперимента, значение, *PK(код значения)*, *FK(код параметра узла) REF параметры узла (код параметра узла)*, *FK(код эксперимента) REF эксперименты (код эксперимента)*); **правила несовместности** (код связи, код несовместной связи, *PK(код связи, код несовместной связи)*, *FK(код связи) REF И\_ИЛИ дерево (код связи)*, *FK(код несовместной связи) REF И\_ИЛИ дерево (код связи)*); **структуры варианта** (код варианта, код связи, *PK(код варианта, код связи)*, *FK(код связи) REF И\_ИЛИ дерево (код связи)*, *FK(код варианта) REF собранные варианты (код варианта)*).

При этом данная структура может быть легко трансформирована в объектно-ориентированную структуру, что позволит реализовать систему управления моделями как Web-приложение.

Пример интерфейса системы управления моделями представлен на рис. 3, в которой на данный момент реализованы такие функции, как: формирование новой модели с описанием ее на схемном, математическом, алгоритмическом, процедурном уровнях представления; хранение и навигация по версиям моделей; выбор варианта модели для проведения эксперимента; организация хранения значений входных параметров для наборов экспериментов и поиск данных эксперимента; трансляция варианта модели в программный код для работы в AnyLogic (в дальнейшем предполагается расширение возможностей за счет других СИМ, описанных выше).

Рассмотрим пример процесса информационного противоборства двух сторон с участием нейтральной стороны через проведение вычислительного эксперимента на базе системы (5) со следующими входными параметрами:  $G = 0,5$ ;  $\eta = 0,65$  при  $t \in [0; 30]$  и  $\eta = 0,5$  при  $t \in (30; 80]$ ;  $D = 41$ ;  $P = 26$ ;  $\alpha = 0,1$ ;  $R = 0,1$ ;  $Z = 33$ ;  $b = 0,09$ ;  $V = 0,68$  при  $t \in [0; 42]$  и  $V = 0,8$  при  $t \in [42; 80]$ ;  $\gamma_2 = 0,01$ ;  $\tau_1 = 0,1$ ;  $\varphi = 1$ ;  $\gamma_3 = 0,04$ ;  $\tau_2 = 0$ ;  $N_1$  (начальное значение) = 20;  $N_2$  (начальное значение) = 9;  $N_3$  (начальное значение) = 500;  $t \in [0; 80]$ .

Вычислительный эксперимент проводился на базе системы математического моделирования AnyLogic 6 после трансляции программного кода из СУМ, общая схема зависимостей динамических переменных от параметров представлена на рис. 4.

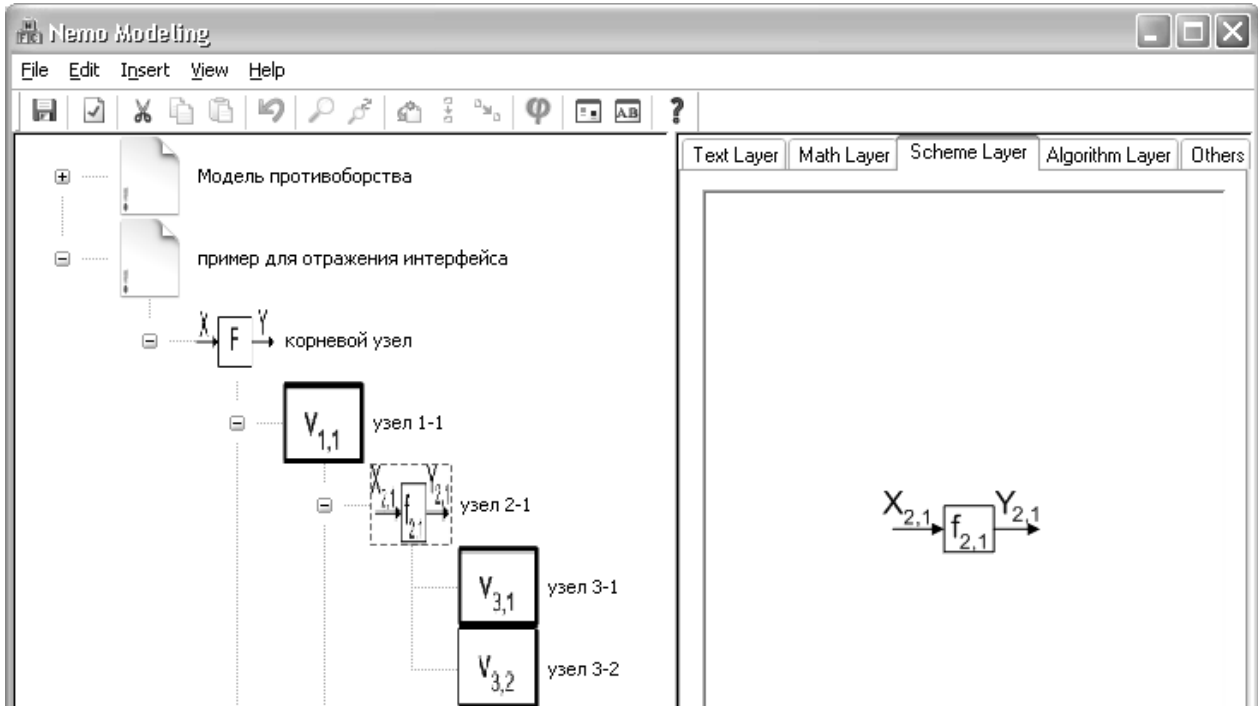


Рис. 3. Пример интерфейса системы управления моделями

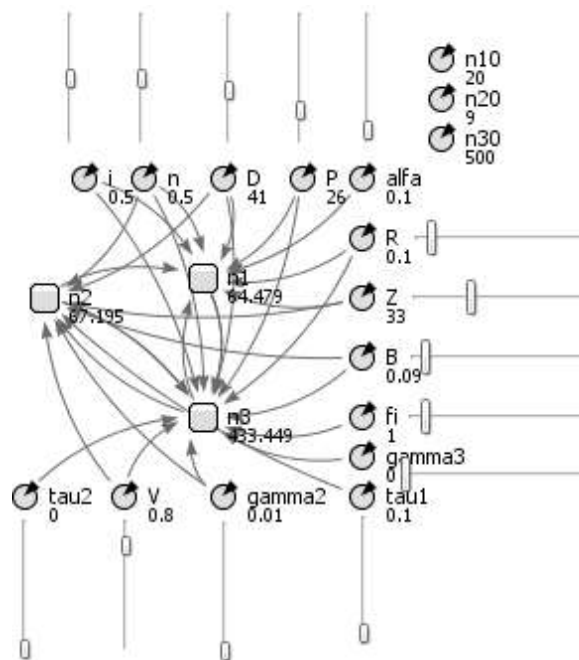


Рис. 4. Схема зависимостей динамических переменных от параметров

Построим графики поведения системы (5) на основе входных параметров (рис. 5). Как видно из поведения графиков динамики численности противоборствующих сторон во времени, при увеличении параметра  $V$  (уровень полезности защитников) в модельный момент времени, равный 10, наблюдаются спад численности нарушителей и значительный рост нейтральной стороны (населения, овладевшего компьютерной грамотностью). Это означает процесс перехода части нарушителей на нейтральную сторону и вовлечения в эту группу населения, ранее не знакомого со сферой информационных технологий.

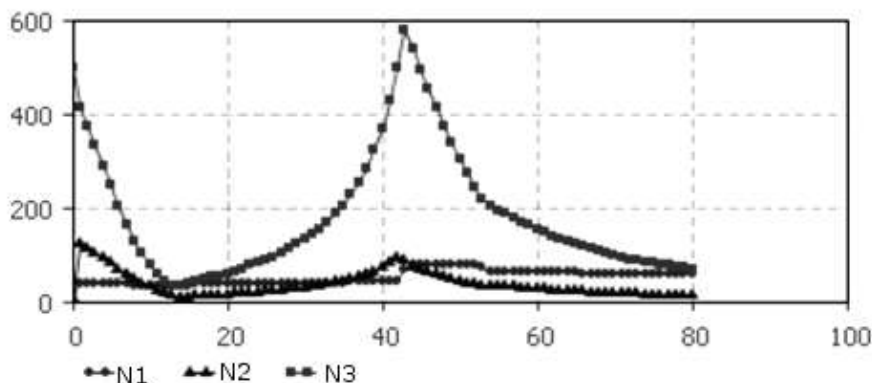


Рис. 5. Динамика численности противоборствующих сторон во времени (ось ординат – численность противоборствующих сторон, ось абсцисс – модельное время)

При уменьшении параметра  $\eta$  (уровень нравственного здоровья общества ухудшается) в момент  $t = 42$  наблюдается резкий спад численности нейтральной стороны, защитников и увеличение численности нарушителей. Это означает, что нарушители пополняются за счет части двух других сторон, также происходит перекалфикация на другие специальности, не связанные со сферой информационных технологий, что ведет к потенциальному увеличению числа компьютерных преступлений.

### Заключение

В результате исследований не было обнаружено разработанных методов, позволяющих прогнозировать потребность региона в специалистах в области информационной безопасности. В качестве решения данного вопроса была предложена математическая модель, использование которой поможет определить необходимое количество специалистов в области информационной безопасности, следовательно, позволит корректировать численность обучающихся студентов в высших учебных заведениях. Прогнозирование потребности в специалистах поможет сократить количество компьютерных преступлений, а также позволит частично снять проблему невостребованности на рынке труда в случае излишнего выпуска подготовленных студентов, которые теоретически могут пополнить ряды нарушителей.

Представленная структура системы управления моделями доказала свою работоспособность и универсальность для класса задач выбора варианта модели с организацией хранения данных по серии экспериментов выбранного варианта. Централизованное хранение моделей, их версий и наборов экспериментов с гибкой системой навигации и поиска позволит накапливать знания о моделируемом процессе и снять проблему «стирания знаний» о проведенных экспериментах в случае периодической работы с моделями.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» по направлению «Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф» и в рамках программы «Развитие научного потенциала высшей школы» по мероприятию «Проведение фундаментальных исследований в рамках тематических планов» по теме «Развитие теории проектирования систем управления базами моделей в системах поддержки принятия решений».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Буравлев А.И. Агрегированная модель противоборства боевых систем / А.И. Буравлев // Вооружение и экономика. 2009. № 6. С. 20-25.
2. Буравлев А.И. Модель динамики противоборства неоднородных группировок сил / А.И. Буравлев, С.В. Гордеев // Вооружение и экономика. 2009. № 5. С. 13-25.



3. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра; под ред. Ю.М. Свириженева. М.: Наука, 1976. 286 с.
4. Выпасняк В.И. Моделирование вооруженного противоборства: перспективы развития / В.И. Выпасняк, Д.Б. Калиновский, О.В. Тиханычев // Военная мысль. 2009. № 7. С. 12-20.
5. Гриценко С.В. Статистический анализ уровня социально-экономического развития муниципальных районов / С.В. Гриценко // Экономический анализ: теория и практика. 2009. № 22. С. 15-22.
6. Губанов Д.А. Об одной модели информационного противоборства в социальной сети / Д.А. Губанов, А.Г. Чхартишвили // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 3(37). С. 13-16.
7. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И.П. Норенков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 360 с.
8. Патронов К.С. Нравственное здоровье общества: количественная оценка / К.С. Патронов // Омский научный вестник. 2001. Вып.17. С. 60-61.
9. Семенова И.И. Способ формирования моделей сложных технических объектов в системах управления базами моделей / И.И. Семенова // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4(30). С. 77-81.
10. Смирнов В.В. Технология имитационного моделирования процессов информационного противоборства / В.В. Смирнов, С.В. Николаев, С.В. Киниченко // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 5. С. 48-52.
11. Лядова Н.В. Формирование здорового образа жизни и профилактика социально значимых заболеваний: учеб.-метод. пособие / Н.В. Лядова. Пермь: ПОИПКРО, 2002. 274 с.
12. Цыбулин А.М. Многоагентная модель для исследования противоборства службы безопасности и ассоциации злоумышленников / А.М. Цыбулин // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15. № 4. С. 682-683.
13. Linear programming software survey // OR/MS Today Journal. 2009. <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/LP/LP-surveymain.html>.
14. Decision Support and Business Intelligent System / E. Turban, J.E. Aronson, T.P. Liang, R. Sharda. NJ: Prentice Hall, 2007. 850 p.

**Семенова Ирина Ивановна** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информационная безопасность»  
Сибирской государственной  
автомобильно-дорожной академии, г. Омск

**Semenova Irina Ivanovna** –  
candidate of technical sciences,  
Associate professor of the department  
of «Information Safety»  
of Siberian state automobile and Road academy

**Мишурин Александр Олегович** –  
аспирант кафедры  
«Информационная безопасность»  
Сибирской государственной  
автомобильно-дорожной академии, г. Омск

**Mishurin Aleksandr Olegovich** –  
post-graduate Student of the department  
of «Information Safety»  
of Siberian state automobile and Road academy

*Статья поступила в редакцию 22.03.10, принята к опубликованию 30.09.10*

## ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

---

УДК 537.533

А.С. Белов, Г.В. Сахаджи, Ж.Н. Бабанов, И.А. Попов

### КАТОДНО-СЕТОЧНЫЕ УЗЛЫ

*Рассмотрены конструкции и технология изготовления катодно-сеточных узлов для электровакуумных приборов СВЧ. Показано, что электроискровой способ изготовления сеток, специальным электродом за один технологический прием, позволяет добиться оптимального «совмещения» перемычек теневой и управляющей сеток в узле. Приспособление, описанное в статье, позволяет выставить с точностью  $\pm 0,01$  катод относительно сетки. Описан метод оценки эмиссионной способности катода в составе узла.*

Катодно-сеточные узлы, электроискровой способ, лазерная технология, оценка эмиссионной способности.

A.S. Belov, G.V. Sakhadzhi, G.N. Babanov, I.A. Popov

### CATHODE-GRID KNOTS

*Design and production technology of cathode-grid knots for electro vacuum EHF-devices are considered in the article. The paper proves that electric spark method of grids manufacturing with a special electrode in one technological operation allows the optimal crosspieces superposition of shadow and signal grids to be reached. The described facility provides the precision  $\pm 0,01$  of cathode-grid superposition. The technique of cathode emission ability estimation in unit composition is described.*

Cathode-grid knots, electric spark method, laser technology, estimation of emission ability.

### Введение

В электровакуумных приборах СВЧ (ЭВП СВЧ) для формирования электронного луча используются катодно-сеточные узлы (КСУ), к которым предъявляются следующие основные требования:

1. Катод должен обеспечивать необходимую величину электронного луча (для мощных приборов удельный токооборот с катода может достигать десятков А/см<sup>2</sup>).

2. Управляющая сетка не должна иметь токоперехвата или токоперехват должен быть минимальным, который бы не приводил к потере сеточного управления.

3. Материал сетки для мощного прибора должен обладать антиэмиссионными свойствами в условиях напыления на его поверхность продуктов испарения с катода.

В работе приведены конструктивные особенности КСУ с двумя сетками (с теневой и управляющей), КСУ с одной управляющей сеткой, описаны основные элементы технологии их изготовления и даны характеристики КСУ

### Особенности конструкции и технология изготовления КСУ

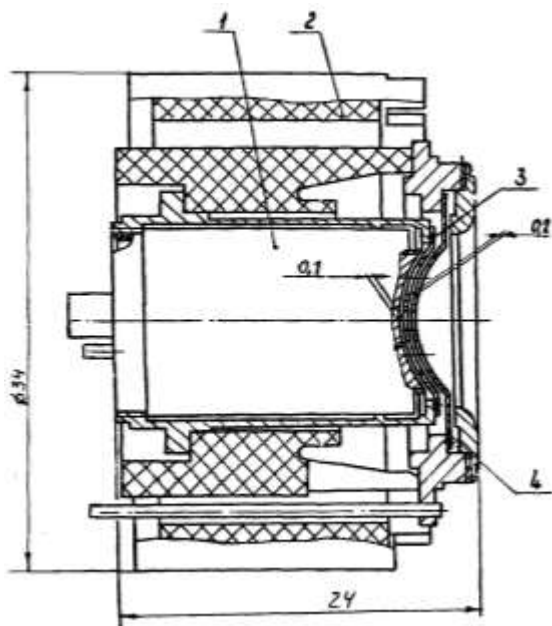


Рис. 1. КСУ: 1 – катод; 2 – блок электродов; 3 – сетка теневая; 4 – сетка управляющая

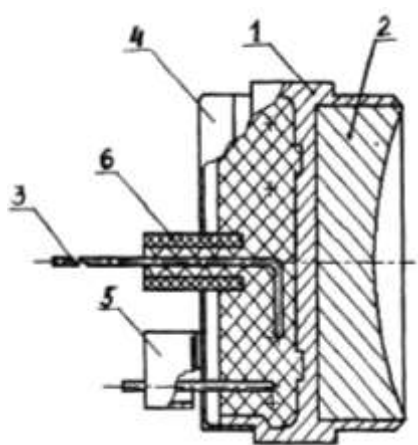


Рис. 2. КПУ: 1 – корпус катода; 2 – эмиттер; 3 – подогреватель; 4 – экран; 5 – хомутик; 6 – трубка керамическая

Одна из конструкций КСУ для ЭВП СВЧ изображена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, КСУ состоит из металлокерамического блока, катодно-подогревательного узла (КПУ), теневой и управляющей сеток. В блоке электродов размещаются КПУ, теневая и управляющая сетки, чем обеспечивается изоляция этих деталей от корпуса прибора. Конструкция КПУ представлена на рис. 2. Корпус катода изготавливается сверлением и точением из пруткового молибдена. Эмиттер представляет собой губку, которая обычно изготавливается из порошкообразных тугоплавких металлов или их смесей. В нашем случае губка изготовлена из вольфрамового порошка марки ВЧДК фракции А методом порошковой металлургии. Открытая пористость спеченной вольфрамовой губки составляет 21-23%. Активное вещество, которым пропитаны поры губки, представляет собой химическое соединение на основе алюмосилката бария, кальция состава  $3\text{BaO} \cdot 0,5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{SiO}_2$ . После механической обработки эмиттер припаивается к молибденовому корпусу припоем на основе вольфрама, кобальта, молибдена при температуре пайки 1430-1450°C [1]. Благодаря пайке обеспечивается механически прочный и надежный тепловой контакт эмиттера с корпусом катода. Подогреватель для металлопористого катода изготавливается из тугоплавких материалов или их сплавов, таких, как сплав вольфрама с рением (ВР-20). Подогреватели покрывают алундом, помещают в корпус катода и заливают безусадочным составом из смеси порошков (зерна размером  $\approx 50$  мкм и 30% – порошок с размером  $\leq 1$  мкм). Это обеспечивает эффективную передачу тепла к корпусу и эмиттеру за счет теплопроводности, что повышает надежность и экономичность подогревательного узла.

В ходе механической обработки эмиттера резцом происходит «завальцовка» пор на поверхности, что приводит к неоднородной эмиссии. Для устранения этого нежелательного фактора проводится глубокое травление приповерхностного слоя эмиттера на глубину 3-5 мкм путем бомбардировки ионами азота [2]. Известно, что долговечность катода опреде-

ляется в том числе и его рабочей температурой. Для этого на поверхность катода, методом катодного распыления в азоте, наносится пленка состава OsJrAl [3]. Благодаря этому, снижается работа выхода приблизительно на 0,1-0,15 эВ, что снижает рабочую температуру на 50-80°C. Наличие в пленке Jг позволяет замедлить химическое взаимодействие осмия с материалом губки катода, тем самым увеличивается время положительного влияния осмия на эмиссионную способность катода, что повышает долговечность катода. Алюминий увеличивает адгезионную способность пленки, и это позволяет практически исключить брак по ее отслаиванию. Для снижения скорости испарения активного вещества в составе прибора, после изготовления катода, проводится его прокатка в вакууме при температуре 1200-1230°C в течение нескольких часов.

КПУ крепится в КСУ с помощью держателя из танталовой фольги толщиной 0,02 или 0,03 или 0,05 мм, что, в отличие от применяемого крепления катода с помощью держателя из тантала толщиной 0,1-0,2 мм со щелями для отвода тепла, позволяет существенно стабилизировать теплоотвод от катода, следовательно, снизить разброс рабочей температуры от узла к узлу.

### Материалы и конструкции сеток

При выборе конструкции КСУ для использования в приборе необходимо учитывать допустимую величину токоперехвата. В приборах, где значительно ограничена величина токоперехвата, используют КСУ с двумя сетками – теневой и управляющей. Назначение управляющей сетки – управление электронным пучком. Потенциал управляющей сетки оказывает непосредственное влияние на электрическое поле у катода. При изменении потенциала сетки поле у катода меняется; в соответствии с этим изменяется и число электронов, движущихся от катода по направлению к аноду. При отрицательном потенциале поле сетки тормозит выходящие с поверхности катода электроны; отрицательный пространственный заряд увеличивается и число электронов, проходящих между перемычками сетки к аноду, уменьшается и может приводить к запиранию электронного потока. Если сетка находится под положительным потенциалом, то электроны устремляются к аноду. Теневая сетка располагается ближе к катоду и имеет одинаковый с ним потенциал. Радиальные перемычки теневой и управляющей сеток расположены точно одна под другой, а ширина кольцевой перемычки теневой сетки больше, чем управляющей, что обеспечивает отсутствие токоперехвата. В приборах, где токоперехват допустим, используется только управляющая сетка, на рис. 3 представлен КСУ с одной сеткой.

Как показано в работе [4], при использовании металлопористых катодов целесообразно в качестве материала сеток применять гафний, который среди исследуемых материалов обладает самой низкой термоэмиссией в условиях напыления на его поверхность продуктов испарения с металлопористого катода при рабочей температуре 1000°C (порядка  $2,5 \cdot 10^{-4}$  А/см<sup>2</sup>, в отличие от титана с  $7 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>, молибдена  $1 \cdot 10^{-1}$  А/см<sup>2</sup>). Сетки КСУ изготавливаются из фольги гафния (толщиной 0,1 мм для теневой сетки; 0,15 или 0,3 мм для управляющей сетки) методом штамповки заготовок сеток определенной конфигурации с центральным отверстием.

Приварка заготовок сеток к блоку проводится с помощью лазерного луча. Для изготовления сеточных структур узла была разработана технология электроискровой прошивки загото-

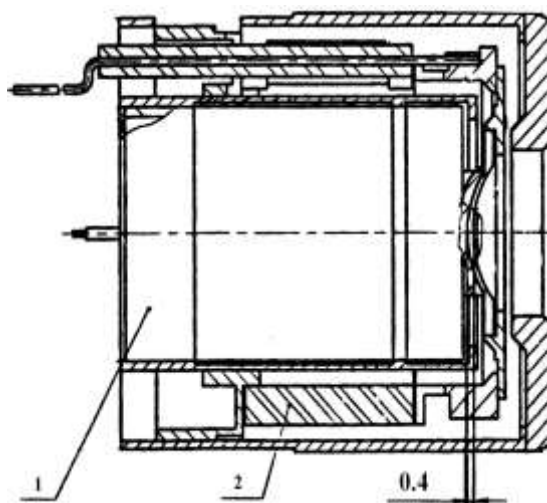


Рис. 3. КСУ с одной сеткой:  
1 – катод; 2 – блок

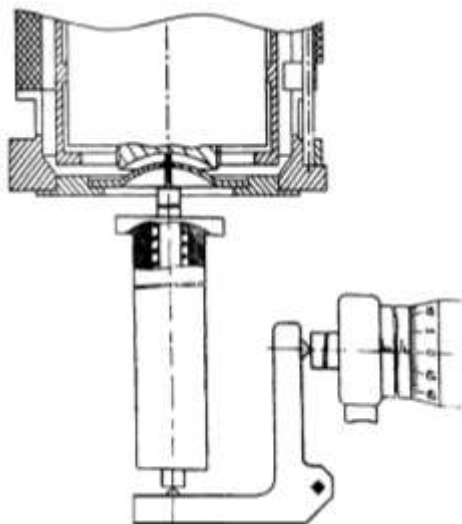


Рис. 4. Приспособление для выставления расстояния катод – сетка

вок сеток в среде керосина специальным электродом за один технологический прием. Затем проводится химическая очистка блока, которая удаляет остатки продуктов электроискровой прошивки с сеток. После химической очистки узел поступает на сборку с КПУ. Важно соблюдать расстояние между катодом и теневогой сеткой в случае, если КСУ с двумя сетками, или управляющей сеткой и катодом в случае, если КСУ с одной сеткой. Для обеспечения точности заданного расстояния разработана технология выставки катода относительно сетки с точностью до 0,01 мм. На рис. 4 представлено приспособление для выставки определенного расстояния катод-сетка, в котором игла может перемещаться в вертикальной плоскости с помощью микрометра с точностью 0,01 мм.

На приспособление помещают блок с сетками, на иглу помещается КПУ и при помощи микрометра игла опускается с катодом до момента касания катода сетки, которое фиксируется по электрическому контакту; катод на игле, перемещаемой с помощью микрометра, поднимается относительно сетки на определенную величину. КПУ закрепляется в блоке с помощью лазерной сварки.

#### Характеристики катодно-сеточных узлов

После сборки КСУ его помещают в стеклянную колбу и проводят обработку на откачном посту. Обработка на откачном посту обеспечивает чистоту электродов и необходимую активность катода. Индикатором чистоты электродов является эмиссионная активность катода, точнее, изменение эмиссионной активности катода при отборе рабочего тока на электрод. Чем грязнее электрод, тем сильнее будет отравляться катод и тем сильнее уменьшается эмиссия при отборе тока. Отбор тока на чистый электрод не вызывает отравления катода. Среди методов оценки чистоты электродов по эмиссионной активности катода широкое применение нашел также метод, основанный на определении эмиссионной активности катода из недокальных характеристик, снятых в импульсном и статическом режимах при равенстве величин импульсного и статического напряжений, приложенных к электроду. Если скважность импульсов будет больше 100, то при снятии недокальной импульсной характеристики отравление практически отсутствует и поэтому будет зафиксирована эмиссионная активность катода без отравления. Снятие недокальной характеристики в статическом режиме сопровождается отравлением катода при наличии отравляющих загрязнений на испытуемом электроде, что приводит к возрастанию характеристической температуры катода в статическом режиме по сравнению с характеристической температурой в импульсном режиме [5]. Еще один часто применяемый метод определения активности катода основан на измерении тока катода при пониженной температуре. При этом понижение температуры осуществляется путем кратковременного, строго установленного для каждого типа катода выключения накала. Отсутствие напряжения накала в течение времени по-разному сказывается на катодах с разной эмиссионной активностью. Спад тока у катодов с низкой эмиссионной активностью будет больше, чем у катодов с высокой эмиссионной активностью [6]. Проводят измерение температуры катода и снимают вольт-амперные характеристики катода, которые тоже соответствуют определенным нормам для различных катодов. После всех проведенных измерений КСУ поступает на сборку в прибор.

### Заключение

Рассмотренные конструкции КСУ и технология их изготовления обеспечивают необходимое взаимное расположение рабочих электродов в узле (катода, теневого, управляющей сетки), выставку катода относительно сеточных структур с высокой точностью, отсутствие токоперехвата на управляющую сетку и подавление термоэмиссии в КСУ с двумя сетками.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2079922. Способ изготовления термокатода для электронного прибора и состав для изготовления катода / И.П. Мельникова, В.И. Козлов, Д.А. Усанов.
2. А.с. СССР № 476835. Способ изготовления металлопористого катода / В.И. Козлов, А.А. Андреев, А.А. Осипов.
3. А.с. СССР № 461463. Металлопористый катод / В.И. Козлов, А.А. Андреев, В.А. Осипов.
4. К вопросу о подавлении термоэмиссии с сеток электровакуумных приборов / Ж.И. Бабанов, В.И. Козлов, В.Е. Андреев, А.А. Андреев // Электронная техника. Материалы. 1980. Вып. 8 (145). С. 14-17.
5. Выбор режимов обработки электродов ЭВП в процессе их откочки и тренировки / В.Г. Ворожейкин, Ю.И. Набоков, В.Н. Дудкин, В.И. Козлов // Электронная техника. Материалы. 1979. Вып. 10. С. 54-61.
6. Термоэлектронные катоды / Г.А. Кудинцева, А.И. Мельникова, А.В. Морозов, Б.П. Никонов. М.: Энергия, 1966. 260 с.

**Белов Антон Сергеевич** –  
Инженер ФГУП «НПП «Алмаз»  
НПЦ «Электронные системы»

**Belov Anton Sergeyevich** –  
Engineer of FSUE «Almaz»  
RPC «Electronic systems»

**Сахаджи Георгий Владиславович** –  
заместитель начальника отдела ФГУП  
НПП «Алмаз» НПЦ «Электронные системы»

**Sakhardzhi Georgiy Vladislavovich**–  
Deputy Head of the Department of FSUE  
«Almaz» RPC «Electronic systems»

**Бабанов Жорж Николаевич** –  
кандидат технических наук,  
начальник лаборатории ФГУП НПП «Алмаз»  
НПЦ «Электронные системы»

**Babanov Zhorzh Nikolayevich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of the Laboratory of FSUE «Almaz»  
RPC «Electronic systems»

**Попов Иван Андреевич** –  
аспирант кафедры «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Popov Ivan Andreyevich** –  
Post-graduate Student of the Department  
of «Mechanics Theory »  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 23.06.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 621.385

**А.Я. Зоркин, С.В. Семенов, Г.В. Сахаджи, А.С. Мясников**

### **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И ЭМИССИИ АЛЮМИНАТНЫХ КАТОДОВ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

*Показано, что эмиссионными центрами катода являются межфазовые границы алюмината и вольфрама в порах. Эмиссионные свойства уху-*

шаются в результате снижения активности бария по мере протекания фазовых реакций и повышения активности кислорода в приборе.

Электровacuумный прибор, алюминатный катод, эмиссия, межфазовая граница, пора.

**A.Ya. Zorkin, S.V. Semenov, G.V. Sakhadzhi, A.S. Myasnikov**

## **SPECIFIC FEATURES OF PHASE TRANSFORMATIONS AND EMISSIONS OF ALUMINATECATHODES OF ELECTRONIC VACUUM DEVICES**

*It is shown that the cathode emission centers are interphase boundaries aluminate and tungsten in the pores. Emission properties deteriorate as a result of lower activity of barium as the percolation phase reactions and improve the activity of oxygen in the device. Analysis of the percolation model of the cathode shows that in the field of operating temperatures, such a system is self-organizing, ie phase composition and temperature regime the self.*

Electronic vacuum device, aluminatecathode, emission, interphase boundaries, pore.

### **Введение**

Алюминатный катод представляет собой вольфрамовую губку, пропитанную алюминатом (рис. 1).

Эмиссионные свойства катода зависят от активности оксида бария, фазового состава, температуры, параметров пористой структуры катода. В данной работе показано, что эмиссионными центрами катода являются межфазовые границы алюмината и вольфрама в порах. Эмиссионные свойства ухудшаются в результате снижения активности бария по мере протекания фазовых реакций и повышения активности кислорода в приборе.

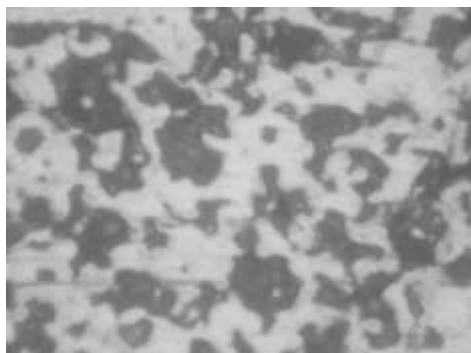


Рис. 1. Поверхность алюминатного катода (увеличение 2000×). Светлые участки – вольфрамовая губка, темные – поры, заполненные алюминатом

### **Равновесное состояние**

Рассмотрим четырехфазную четырехкомпонентную систему  $3\text{BaOAl}_2\text{O}_3 + \text{BaOWO}_3 + \text{W} + \text{газовая фаза}$ . Эта система имеет две степени свободы, то есть при заданной температуре состояние системы однозначно определяется активностью одного компонента, например, кислорода.

Активность  $\text{BaO}$  в этой системе определяется реакцией



Считая активности чистых фаз  $\text{BaOWO}_3$  и  $\text{W}$  равными единице, согласно закону действующих масс активность  $\text{BaO}$  по уравнению (1) равна:

$$a_{\text{BaO}} = a_o^{-3} \cdot K_1^{-1}, \quad (1')$$

где  $K_1$  – константа равновесия реакции (1);  $a_o$  – активность кислорода в системе, равная по определению квадратному корню из парциального давления молекулярного кислорода, выраженного в атмосферах.

Активность  $\text{Al}_2\text{O}_3$  определяется по реакции



С учетом (1') получим:  $a_{Al_2O_3} = a_o^9 \cdot K_3$ , где  $K_3 = K_1 / K_2$ ;  $K_2$  – константа равновесия реакции (2).

Активность  $WO_3$  можно определить по реакции  $WO_3 + BaO = BaOWO_3$ . С учетом (1') получим:  $a_{WO_3} = a_o^3 \cdot K_4$ , где  $K_4$  – константа равновесия реакции  $W + 1,5O_2 = WO_3$ .

Если в составе алюмината присутствует оксид кальция, то его активность определяется по реакции, аналогичной (1):  $Ca + 1,5O_2 + CaO = CaOWO_3$ . Наличие оксида кальция в алюминате снижает активность кислорода и увеличивает активность бария.

Если активность составляющей системы больше единицы, то термодинамически возможно образование чистой фазы из этой составляющей. Зависимости активностей составляющих от температуры и активности кислорода имеют подобный характер (рис. 2, 3).

При активности кислорода  $a_o = 10^{-10}$  и температуре ниже 1350 К возможно выделение чистой фазы  $Al_2O_3$  с разложением алюмината и образованием вольфрамата, а при температуре выше 1430 К – фазы  $BaO$  с разложением алюмината и вольфрамата и образованием сложного оксида ( $Al_2O_3 \cdot WO_3$ ). Эмиссионные свойства катода определяются активностью оксида бария. Эта активность повышается с увеличением температуры и снижением активности кислорода, однако при этом увеличиваются давление паров и скорость испарения оксида бария, что резко снижает долговечность катода.

Состав газовой фазы и скорость испарения определяются давлениями составляющих, которые определяются из выражений вида

$$p_{BaO} = a_{Ba} \cdot a_o \cdot K_{g1}, \quad p_{Al_2O_3} = a_{Al}^2 \cdot a_o^3 \cdot K_{g2}, \quad \text{где } p_{BaO}, p_{Al_2O_3}, K_{g1}, K_{g2} - \text{давления (атм) и константы равновесия образования газовых составляющих BaO(g) и Al}_2\text{O}_3\text{(g) из простых веществ. Активности компонентов равны } a_{Ba} = a_{BaO} \cdot (a_o \cdot K_{s1})^{-1},$$

$$a_{Al}^2 = a_{Al_2O_3} \cdot (a_o^3 \cdot K_{s2})^{-1}, \quad \text{где } K_{s1}, K_{s2} - \text{константы равновесия образования твердых фаз BaO(s) и Al}_2\text{O}_3\text{(s) из простых веществ.}$$

### Неравновесное состояние

Снижение активности оксида бария в алюминате происходит за счет фазовых реакций и испарения. Скорость этих реакций определяется кинетическими факторами и лимитирующей стадией. В начальном неравновесном состоянии активность  $BaO$  в алюминате выше равновесной, что является движущей силой образования новых фаз. Зависимость доли обра-

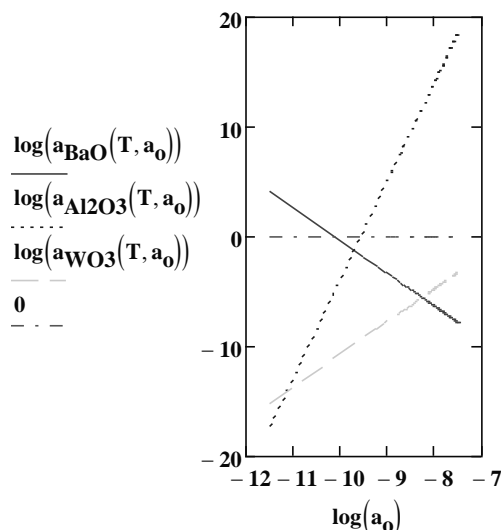


Рис. 2. Зависимость активностей составляющих алюминатного катода от активности кислорода при температуре 1400 К: 1 – BaO; 2 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 – WO<sub>3</sub>

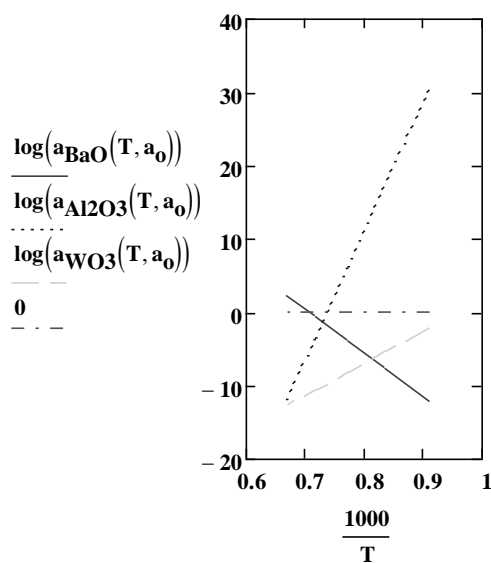


Рис. 3. Зависимость активностей составляющих алюминатного катода от температуры при  $a_o = 10^{-10}$ : 1 – BaO; 2 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 – WO<sub>3</sub>



зующейся фазы от времени определяется скоростью образования зародышей и линейной скоростью роста фазы. В начальный период степень превращения на границах зерен при постоянных скоростях оценивается по выражению [1]:

$$\xi = 1 - \exp\left(-\pi \cdot 3^{-1} \cdot I_z \cdot Y_l^3 \cdot t^4\right), \quad (3)$$

где  $I_z = I_{z1} \cdot S_v$  – скорость образования зародышей на поверхности пор в единице объема эмиттера,  $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$ ;  $I_{z1}$  – скорость образования зародышей критического размера на единице площади пор,  $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ;  $S_v$  – площадь пор в единице объема эмиттера,  $\text{м}^{-1}$ ;  $Y_l$  – линейная скорость роста фазы,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $t$  – время,  $\text{с}$ .

Скорость образования зародышей критического размера определяется из выражения [2]:

$$I_{z1} = C_1 \cdot \exp\left(C_2 \cdot T^{-1} \cdot A_r^{-1}\right), \quad (4)$$

где  $C_1, C_2$  – константы, зависящие от структуры фаз и свойств межфазовых границ;  $T$  – температура;  $A_r$  – сродство фазовой реакции.

Скорость линейного роста, контролируемая процессами на межфазной границе, равна:

$$Y_l = Y_0 \cdot [1 - \exp(-A_r / RT)], \quad (5)$$

где  $Y_0 = v \cdot \delta \cdot \exp(-E_a / RT)$  – скорость прямой реакции;  $v$  – частотный множитель;  $\delta$  – толщина межфазной границы;  $E_a$  – энергия активации.

Сродство реакции равно разности химических потенциалов исходных фаз и продуктов в данный момент времени в расчете на один пробег реакции. Образование фаз вольфрамата бария, оксида бария и оксида алюминия протекает по реакциям:  $\text{BaO}(a) = \text{BaO}(b)$ ,  $\text{BaO}(a) = \text{BaO}(s)$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3(a) = \text{Al}_2\text{O}_3(s)$ . Сродство этих реакций соответственно равно:  $A_r = R \cdot T \cdot \ln(a_{\text{BaO}(a)} / a_{\text{BaO}(b)})$ ,  $A_r = R \cdot T \cdot \ln(a_{\text{BaO}(a)} / a_{\text{BaO}(s)})$ ,  $A_r = R \cdot T \cdot \ln(a_{\text{Al}_2\text{O}_3(a)} / a_{\text{Al}_2\text{O}_3(s)})$ , где  $a_{\text{BaO}(a)}$ ,  $a_{\text{Al}_2\text{O}_3(a)}$  – активности  $\text{BaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в алюминате;  $a_{\text{BaO}(b)}$ ,  $a_{\text{BaO}(s)}$  – активности  $\text{BaO}$  в вольфрамите. Активности чистых фаз  $\text{BaO}(s)$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$  равны единице. Зависимость  $a_{\text{BaO}(a)}$  от времени определяется из уравнения баланса состава алюмината  $x\text{BaOAl}_2\text{O}_3$ : скорость изменения концентрации  $\text{BaO}$  в фазе  $x\text{BaOAl}_2\text{O}_3$  равна сумме скоростей образования новых фаз и скорости испарения  $\text{BaO}$ .

Приведенные соотношения позволяют определить зависимость активности бария или оксида бария от времени, а также от температуры и активности кислорода в системе.

#### Эмиссионные свойства катода

Вследствие повышенной активности бария и концентрации кислородных вакансий (доноров) в контакте оксида с металлом образуются положительный поверхностный заряд и потенциальные ямы. Распределение потенциала определяется из решения уравнения Пуассона. Распределение концентрации кислородных вакансий и заряда в поре в зависимости от активности кислорода и температуры определяется квазихимическим методом [3]. Поверхностный заряд и глубина потенциальных ям увеличиваются с уменьшением активности кислорода и повышением температуры. При достаточно низкой активности кислорода дно зоны проводимости оксида опускается ниже уровня Ферми и в области межзеренных контактов образуется двумерный электронный газ с металлической проводимостью (рис. 4 а). При этом работа выхода, равная энергетическому расстоянию от уровня вакуума до уровня Ферми, становится меньше сродства оксида к электрону и составляет менее 1,3 эВ. Если размер поры становится меньше дебаевского радиуса экранирования, то потенциал в поре выравнивается, потенциальные ямы исчезают и работа выхода увеличивается (рис. 4 б). С увеличением размера пор уменьшается протяженность межзеренных границ и общая эмиссия падает. Таким образом, существует оптимальный размер пор, при котором электронная эмиссия катода максимальна.

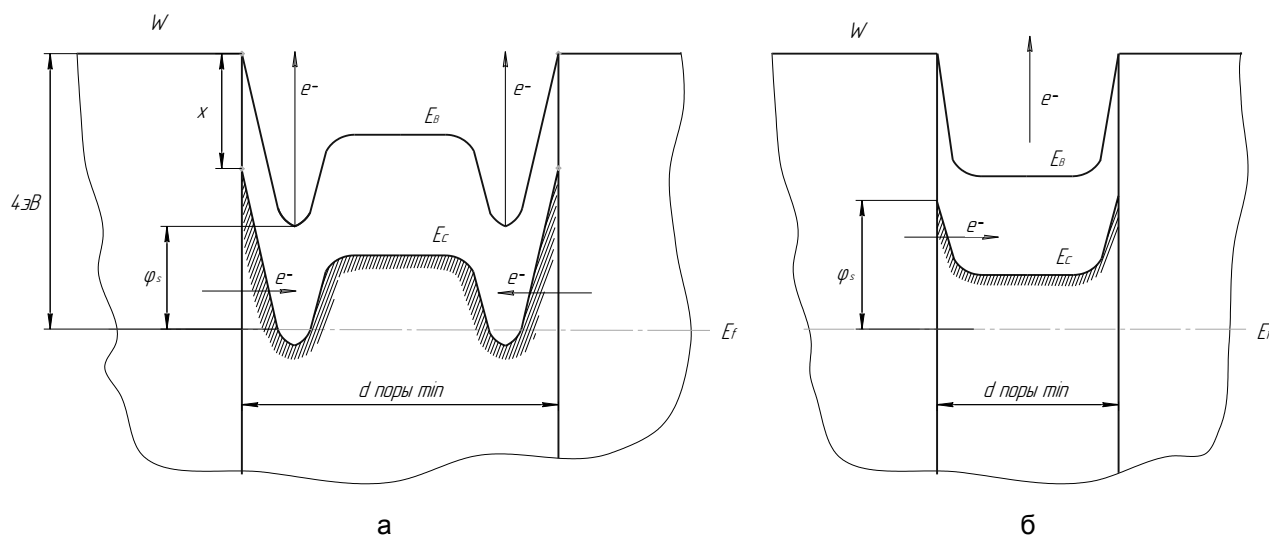


Рис. 4. Потенциальный рельеф в поре вольфрама, заполненной алюминатом:  
 $\varphi_s$  – работа выхода оксида в области межзеренных границ;  $\chi$  – сродство оксида к электрону;  
 $E_f$ ,  $E_c$ ,  $E_v$  – уровни Ферми, дна зоны проводимости оксида и вакуума

Плотность тока электронной эмиссии из потенциальных ям в контакте зерен (с единицы номинальной площади катода) равна [3]:

$$J_{2e} = 2 \cdot d_z^{-1} \cdot A_{2e} \cdot T^{3/2} \cdot N_p \cdot \exp(-\varphi_s / kT), \quad (6)$$

где  $d_z$  – средний размер сечения поры;  $A_{2e}$  – эмиссионная постоянная для двумерного электронного газа;  $T$  – абсолютная температура;  $N_p$  – число подзон в квантовой яме;  $\varphi_s$  – работа выхода оксида в области межзеренных границ. Зависимости эмиссионного тока от температуры, активности кислорода и параметров структуры пропитанного катода, рассчитанные по приведенной формуле, соответствуют экспериментальным значениям тока эмиссии насыщения алюминатных катодов.

### Заключение

Эмиссионными центрами алюминатного катода являются контактные зоны между алюминатом и вольфрамом, в которых образуются потенциальные ямы с низкой работой выхода. Работа выхода этих зон снижается с повышением активности бария или, соответственно, с понижением активности кислорода. Снижение активности бария за счет фазовых реакций и испарения ведет к ухудшению эмиссионных свойств. Образование новых фаз изменяет электрические характеристики и температурный режим системы за счет изменения свойств контактных зон. Описание такой системы возможно с помощью перколяционной модели: катод представляется трехмерной сеткой пор в вольфрамовой матрице и моделируется соответствующей сеткой сопротивлений. Анализ такой модели показывает, что в области рабочих температур такая система является самоорганизующейся, то есть фазовый состав и температурный режим самосогласуются. При пониженных температурах обратимо образуются фазы оксида алюминия и вольфрамата и активность оксида бария снижается, так как его активность в вольфрамите низкая. При повышенных температурах образуется фаза оксида бария и резко увеличивается скорость испарения последнего, что приводит к необратимому ухудшению эмиссии. Существует оптимальный размер пор в вольфрамовой матрице для получения максимальной эмиссии. При увеличении размера пор эмиссия снижается вследствие уменьшения протяженности межзеренных границ. При уменьшении размера пор увеличивается работа выхода в контактных зонах вследствие исчезновения потенциальных ям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах / Дж. Кристиан. М.: Мир, 1978. 780 с.
2. Сангвал К. Травление кристаллов / К. Сангвал. М.: Мир, 1990. 492 с.
3. Зоркин А.Я. Откачка электронных приборов / А.Я. Зоркин, Г. В. Конюшков. Саратов: СГТУ, 2006. 287 с.

**Зоркин Александр Яковлевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета

**Zorkin Aleksandr Yakovlevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Electronic Mechanical Engineering and Welding» of Saratov State Technical University

**Семенов Станислав Валерьевич** – заведующий лабораторией кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета

**Semenov Stanislav Valeriyevich** – Head of the Laboratory of the Department of «Electronic Mechanical Engineering and Welding» of Saratov State Technical University

**Сахаджи Георгий Владиславович** – аспирант кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета

**Sakhadzhi Georgiy Viktorovich** – Post-graduate Student of the Department of «Electronic Mechanical Engineering and Welding» of Saratov State Technical University

**Мясников Александр Сергеевич** – аспирант кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета

**Myasnikov Aleksandr Sergeyeovich** – Post-graduate Student of the Department of «Electronic Mechanical Engineering and Welding» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 621.3.038, 621.3.032.212

**И.А. Попов, Т.Н. Соколова, Е.Л. Сурменко, Ю.В. Чеботаревский**

**ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
МИКРООСТРИЙНЫХ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ**

*Описана технология лазерной очистки микроострийных автоэмиссионных катодов из стеклоглерода с высокой плотностью тока эмиссии. Для очистки микроструктурированной поверхности применялся маломощный волоконный лазер. Предложенная технология позволяет сократить время производства и количество операций по сравнению с использованием нелазерного оборудования. Было улучшено качество электронных компонентов с микроострийной поверхностью.*

Лазерная очистка, микроструктурированная поверхность, микроострийные автоэмиссионные катоды.

I.A. Popov, T.N. Sokolova, E.L. Surmenko, Yu.V. Chebotarevskiy

## LASER CLEANING OF MICROPEAK AUTOISSUED CATHODES MICROSTRUCTURE SURFACE

*Laser technology for cleaning the micropeak glass-carbon cathodes with high density of current emission is described in the article. The low-power fiber laser was applied for laser cleaning of microstructure surfaces. This technology will allow reducing the manufacture time. Operation amount for the same result with the other equipment will be reduced. The electronic components quality with micropeak structures will be improved.*

Laser cleaning, microstructure surface, micropeak autoissued cathodes, glass-carbon.

Одним из важных этапов изготовления катодно-сеточных узлов (КСУ) является очистка элементов КСУ, обеспечивающая эмиссионную активность катода.

Существует три основных группы технологий очистки [1]:

1) Технологии механической очистки. Они имеют следующие отрицательные свойства: присутствие механического действия на поверхность; засорение деталей абразивным агентом.

2) Химические технологии. Отрицательные свойства: процессы многостадийны из-за необходимости удаления реагентов; низкопроизводительны.

3) Термические методы, например, плазменная очистка – эти способы связаны с термическим разложением покрытия.

Известные методы лазерной очистки базируются на использовании импульсного лазерного излучения или комбинированного импульсного с непрерывным. При действии достаточно коротких лазерных импульсов излучение поглощается только в поверхностном слое, тепловая волна не успевает распространяться вглубь поверхности, поэтому возникает быстрый ударный нагрев тонкого слоя. В результате этот поверхностный слой просто испаряется или сублимируется, причем основа не подвергается существенному воздействию потоков энергии. Положительный эффект быстрой сублимации в том, что при таком процессе не успевают развиваться процессы термического горения и другие термохимические процессы и вредный эффект образования разных химических соединений также минимизирован.

В работе рассмотрены экспериментальные результаты исследования метода лазерной очистки микроструктурированной поверхности автоэмиссионных катодов из стеклоглерода. Приведены результаты сравнения с химической очисткой, выполненные методом лазерного эмиссионного микроанализа.

Известна технология изготовления микроострийных автоэмиссионных катодов (АЭК) из стеклоглерода со средней плотностью токоотбора с поверхности более  $1 \text{ A/cm}^2$ . Эта технология [2] содержит протяженный технологический маршрут, включающий фотолитографию, термохимическое травление в среде водорода в присутствии металлического катализатора, ионно-плазменное заострение, электроискровую обработку и операции тщательной очистки поверхности стеклоглерода как перед выполнением, так и после каждого из указанных технологических процессов, что затрудняет промышленное освоение АЭК. Исследования технологии производства многоострийных АЭК продолжаются с целью решения наиболее актуальных задач: повышения средней плотности токоотбора с их поверхности, снижения трудоемкости их производства.

Одним из наиболее перспективных альтернативных методов является широкое использование лазерных технологий на всех этапах изготовления многоострийных АЭК из монолитного стеклоглерода [3].

При изготовлении автоэмиссионных катодов из монолитных заготовок стеклоуглерода с помощью лазерного фрезерования и структурирования эмитирующей поверхности, продукты испарения оседают на структурированную поверхность (рис. 1). Появляется необходимость очистки поверхности. В настоящее время исследуется возможность применения технологии лазерной очистки в различных областях науки и техники: от электроники и медицины до чистки антиквариата и ювелирных изделий.

Нами предложено проводить очистку поверхности в едином технологическом процессе как завершающую часть операций структурирования поверхности. Данная технология позволит сократить время производства и количество операций, повысить качество электронных компонентов с микроострийными структурами.

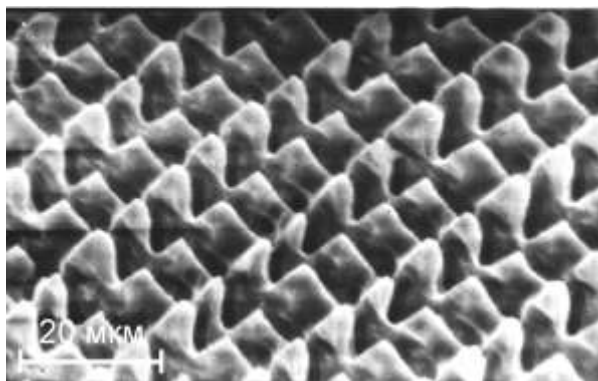


Рис. 1. Поверхность катода после нанесения структуры лазером

Взаимодействие лазерного излучения с веществом в различной степени зависит от физических свойств и состояния поверхности обрабатываемого материала, длины волны лазерного излучения  $\lambda$ , времени воздействия излучения (длительности импульса  $\tau$ ), плотности мощности  $W_p$ . Немалую роль играют шероховатость поверхности и поглощательная способность материала.

При изготовлении автоэмиссионного катода из стеклоуглерода испаренные частицы углерода оседают на поверхность в виде сажи (рис. 2), которая имеет рыхлую структуру с большей площадью поверхности и коэффициентом поглощения, больший, чем поверхность стеклоуглерода.

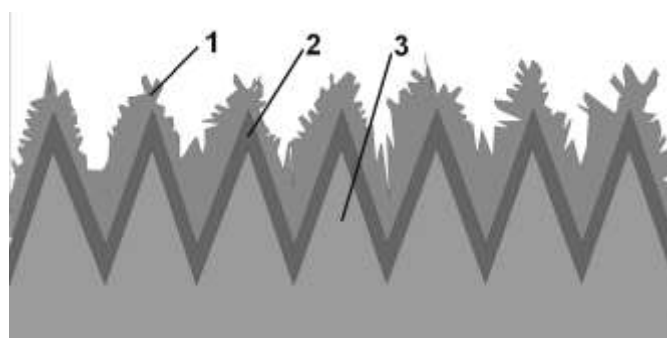


Рис. 2. Структурированная поверхность до очистки: 1 – осевшие загрязнения из сажи; 2 – приповерхностный слой; 3 – основной материал – стеклоуглерод

Для различных материалов подбираются соответствующие лазерные системы. Основным критерием отбора является длина волны излучения, соответствующая хорошему поглощению материалом.

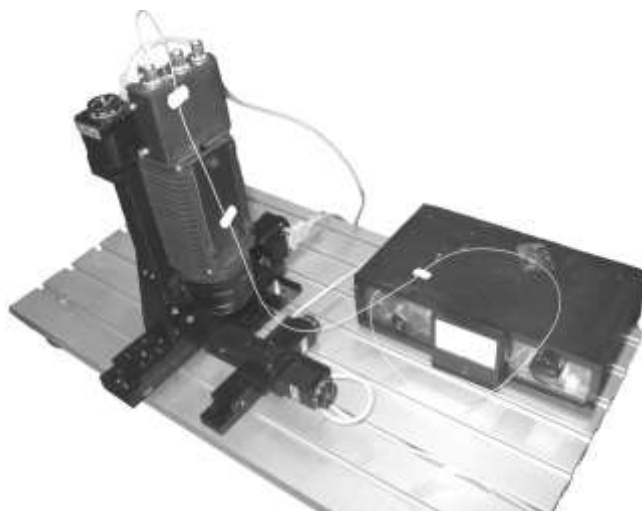


Рис. 3. Макет установки на базе волоконного лазера

В работе исследовалась возможность очистки структурированной поверхности автоэмиссионного катода из стеклоуглерода излучением иттербиевого волоконного лазера с длиной волны 1,07 мкм [4] с фокусирующей оптической системой и высокоточной трехмерной системой перемещения (рис. 3).

Технические параметры: длительность импульса  $\tau = 2 \cdot 10^{-6}$  с, частота следования импульсов  $f = 1 \div 30$  кГц, пиковая плотность мощности до  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, средняя мощность 4,5 Вт.

Испарение частиц, осажденных при фрезеровке и скрайбировании катода, с очищаемой поверхности должно происходить таким образом, чтобы вносить минимальные изменения в приповерхностный слой. Это зависит, в первую очередь, от плотности мощности, скорости перемещения луча и коэффициента перекрытия (рис. 4):

$$p = 1 - \frac{v}{f \cdot d}, \quad (1)$$

где  $p$  – коэффициент перекрытия пятен сфокусированного лазерного излучения;  $v$  – скорость перемещения луча по поверхности детали;  $f$  – частота следования импульсов;  $d$  – диаметр пятна сфокусированного лазерного излучения. Установлено, что коэффициент перекрытия должен лежать в диапазоне  $0,5 < p < 0,8$ . При глубоком фрезеровании, создающем острия до 2 мм, очистка может осуществляться в несколько проходов с последовательным изменением  $p$  от 0,5 до 0,8 и изменением направления обхода поверхности. В этом случае обеспечивается полное удаление загрязнений с поверхности АЭК.

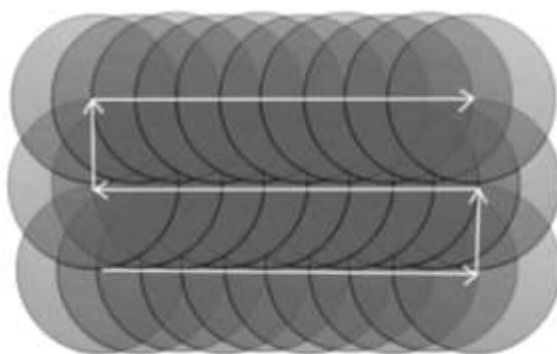


Рис. 4. Схема перемещения луча для равномерного воздействия на поверхность

Волоконный лазер, используемый в макетном исполнении установки, показал хорошие результаты. Для улучшения качества очистки использовались повторные проходы излучения по поверхности с изменяемыми параметрами, такими как: направление перемещения луча, изменение частоты и мощности, скорости перемещения, коэффициента перекрытия. Эти параметры влияют на количество теплоты, выделяемой в приповерхностном слое, что является немаловажным фактором при очистке.

Контроль степени очистки АЭК производился при помощи лазерного микроспектрального анализа (LIBS) с целью проверки по элементному составу поверхности и катода в целом.

Лазерный микроспектральный анализ проводился с помощью спектроаналитического комплекса [5], включающего в себя: лазер на Nd:YAG, длина волны 1,06 мкм, работающий в режиме гигантского импульса, и систему регистрации – дифракционный спектрограф ДФС-458С и ПЗС-приставку МИРС [6]. МИРС включает в себя блок из восьми ПЗС-приёмников производства фирмы Toshiba (Япония). Лазерный анализ осуществляется в воздушной атмосфере.

Результаты исследования поверхности исходных стеклоуглеродных заготовок показали отсутствие посторонних примесей. В катодах, изготовленных термохимическим методом [2], наблюдалось присутствие металла-катализатора (никеля). Содержание металла доходило до 1,5% в приповерхностном слое глубиной до 250 мкм; небольшое снижение количественного содержания отмечалось на глубине от 300 мкм. Присутствие посторонних примесей в катоде из стеклоуглерода может вызвать изменение эмиссионных свойств, что негативно отразится на работе АЭК в целом. В катодах, изготовленных с применением комплекса лазерных технологических операций, в том числе операции лазерной очистки, не обнаружено никаких посторонних примесей.

Компактность излучательного модуля позволяет использовать волоконный лазер в виде сменного модуля в установках лазерной фрезеровки катодов [3] без замены несущей конструкции.

Исследован процесс лазерной очистки микроструктурированной поверхности автоэмиссионных катодов из стеклоуглерода. Выявлено, что при лазерной обработке поверхности не происходит миграции примесей вглубь материала. Определено, что применение волоконного лазера мощностью 4,5 Вт обеспечивает высокое качество очистки поверхности без разрушения материала основы. Установлено, что для обеспечения качественной очистки процесс должен осуществляться в несколько этапов с последовательным увеличением коэффициента перекрытия пятен сфокусированного лазерного излучения и изменения направления проходов.

Работа поддержана ГК № П2498 от 20.11.2009 (шифр НК-423П/52) в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Laser Cleaning: prospects for industrial applications / V. Veiko, V. Smirnov, A. Kichalov, I. Smirnov // International Conference «Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies» (FLAMN). СПб.: ИТМО, 2010. С. 145-147.
2. Исследование вакуумных автоэмиссионных катодов с углеродными микро- наноструктурами / Ю.А. Григорьев, А.А. Бурцев, П.Д. Шалаев, В.Г. Пименов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. № 3 (35). Вып. 2. С. 87-94.
3. Комплекс лазерных технологических процессов для создания микроострийной эмитирующей поверхности автоэмиссионных катодов из монолитного стеклоуглерода / И.А. Попов, А.В. Конюшин, Т.Н. Соколова, Е.Л. Сурменко // Быстрозакаленные материалы и покрытия: материалы VI Всерос. с междунар. участием науч.-техн. конф. М.: МАТИ, 2007. С. 261-266.

4. All fiber Yb-Ho pulsed laser / A.S. Kurkov, E.M. Sholokhov, O.I. Medvedkov // Laser Physics Letters. 2009. Vol. 6. № 2. P. 135-138.

5. Applications of direct atomic laser spectral analysis of laser plasma for determination of inorganic components presence in biological objects / A.E. Kriger, E.L. Surmenko, L.A. Surmenko, V.V. Tuchin // Proc. SPIE. Bellingham: SPIE, 1999. Vol. 4001. P. 299-303.

6. Серт. RU.C.37.006.A №18673. Регистраторы спектров многоканальные измерительные МИРС. Рег. № 27644-0499109237; Внесён в Гос. реестр 08.10.2004.

**Попов Иван Андреевич** –  
аспирант кафедры «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Popov Ivan Andreyevich** –  
Post-graduate student  
of the Department of «Theoretical mechanics»  
of Saratov State Technical University

**Соколова Татьяна Николаевна** –  
кандидат технических наук, заведующая  
учебно-исследовательской лабораторией  
лазерной техники и технологии, доцент кафедры  
«Электронное машиностроение и сварка»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Sokolova Tatiyana Nikolayevna** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of the Educational-Research Laboratory  
of Laser Techniques and Technology,  
Associate Professor of the Department  
of «Electronic mechanical engineering  
and welding»  
of Saratov State Technical University

**Сурменко Елена Львовна** –  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры  
«Электронное машиностроение и сварка»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Surmenko Elena Lvovna** –  
Candidate of Physical-Mathematical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of «Electronic Mechanical Engineering  
and Welding»  
of Saratov State Technical University

**Чеботаревский Юрий Викторович** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Chebotarevskiy Yuriy Viktorovich** –  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head  
of the Department of «Mechanics Theory »  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*



---

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

---

УДК 621.644.8:504.05

**П.А. Козлитин**

### **ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Разработан метод анализа и количественной оценки уровня техногенной опасности тепловых электростанций, который позволяет аналитически оценить последствия аварийных выбросов серной кислоты и выделить зоны возможного токсического поражения на территории объекта.*

Авария, безопасность, серная кислота, токсическое воздействие, зоны токсической опасности.

**P.A. Kozlitiin**

### **SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF METHOD EVALUATION OF THERMAL POWER STATIONS TECHNOGENIC DANGERS**

*A method of thermal power stations technogenic dangers analysis and quantification which allows to assessing the implications of sulphuric acid accidental releases and highlighting the areas of possible toxic hazard in the territories of object.*

Accident, safety, sulfuric acid, toxic influence, toxic hazard zone.

Для большинства городов и населенных пунктов Российской Федерации важной составляющей региональной энергетической системы являются теплогенерирующие объекты, обеспечивающие теплоснабжение потребителей в период стояния низких температур наружного воздуха. Основным компонентом централизованной системы теплоснабжения стали теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые относятся к потенциально опасным объектам.

С одной стороны, ТЭЦ – источник техногенной опасности – состояния, внутренне присущего сложной технической системе, реализуемого в виде поражающих воздействий на человека и окружающую среду за счет запасенной внутри системы энергии или химически и биологически опасных веществ и материалов. Уровень техногенной опасности зависит от промышленной безопасности потенциально опасного объекта.

С другой стороны – это опасность полного или частичного разрушения тепло- и электроснабжения среды обитания, объектов и сфер жизнедеятельности населения, как в штатных, так и в чрезвычайных ситуациях. Характеризуется энергетической безопасностью со-

временного крупного промышленного города. Энергетическая безопасность города – это состояние защищенности граждан и объектов инфраструктуры от потенциальных угроз надежности обеспечения топливно-энергетическими ресурсами, формирование устойчивой работы электро- и теплогенерирующих объектов и городского сетевого хозяйства.

К техногенным опасностям ТЭЦ можно отнести взрывы, пожары и гидродинамическую волну прорыва на резервуарах мазутного хозяйства, выбросы химически опасных веществ в цехе ХВО с последующим токсическим воздействием на человека и экосистемы окружающей природной среды, взрывы природного газа при авариях на газопроводах.

Основные опасности мазутного хозяйства, в котором сконцентрирован большой объем взрыво-, пожароопасного вещества – мазута, подробно рассмотрены нами в работах [1, 2].

В рамках данной статьи рассмотрим одну из потенциально опасных составляющих ТЭЦ – цех ХВО с баками химреагентов. В цехе ХВО ТЭЦ сосредоточены химически опасные вещества – серная кислота, щелочь, соляная кислота, представляющие опасность поражения человека и загрязнения окружающей природной среды.

Одними из важных задач техногенной безопасности теплоцентралей являются количественная оценка поражающих факторов аварий в цехе ХВО и зонирование прилегающей к объекту территории по уровню поражающего воздействия на человека и природную среду. Однако в настоящее время отсутствуют методики, позволяющие аналитически оценить последствия аварийных выбросов серной кислоты на открытых технологических установках и резервуарах хранения и, на этой основе, выделить зоны повышенной опасности.

Серная кислота, являясь малолетучей жидкостью, не создает поражающих концентраций пара в воздухе за счет естественного испарения. Данное вещество обладает резко выраженным раздражающим и прижигающим действием. В случае многотонных неконтролируемых выбросов и диспергирования в окружающую среду серная кислота может вызвать тяжелые химические ожоги кожных покровов, глаз и верхних дыхательных путей с возможным смертельным исходом среди персонала.

Приведем, в качестве примера, описание крупной аварии с разливом  $H_2SO_4$  в шт. Теннесси США 16.09.2002 г.:

<p><i>Во время железнодорожной аварии в результате крушения товарного поезда компании Norfolk Southern, 20 грузовых вагонов и два локомотива сошли с рельсов в 30 км от г. Ноксвилл (штат Теннесси). Одна железнодорожная цистерна перевернулась, и из нее вылилось около 220 т серной кислоты. Над местом аварии сразу же образовалось огромное белое облако аэрозоля <math>H_2SO_4</math>. В первые часы после аварии были срочно эвакуированы 8 тыс. человек, в основном жители селений Фаррагут и Терки Крик, расположенных в радиусе 2,5 км от места аварии. К вечеру были эвакуированы уже 30 тыс. жителей из более чем 20 населенных пунктов, расположенных в радиусе 10 км от места аварии. Проживающим вне десятикилометровой зоны – в том числе и жителям Ноксвилла – рекомендовано отключить кондиционеры и по возможности не выходить из домов.</i></p>	<p><i>В больницы штата доставлены около 20 человек. Все поступили с жалобами на рези в глазах, боли в горле и легкие отравления.</i></p>
---	--

Основываясь на сказанном, определим возможные последствия развития аварий на складе серной кислоты цеха ХВО тепловой электростанции:

- интоксикация при ингаляционном воздействии паров и аэрозоля;
- химические ожоги незащищенных участков тела при кожно-резорбтивном воздействии капель и грубодисперсного аэрозоля.

Серная кислота не входит в перечень сильнодействующих ядовитых веществ Ростехнадзора и МЧС России [3]. С целью идентификации степени токсической опасности ингаля-

ционного воздействия паров  $H_2SO_4$  на производственный персонал и население при аварийных выбросах проведем анализ основных физико-химических свойств серной кислоты.

Способность ядовитых веществ создавать поражающие концентрации в атмосферном воздухе определяют во многом такие параметры, как температура кипения ( $t_{кип}$ ), давление насыщенного пара ( $p_t$ ), интенсивность испарения ( $\sigma$ ) и летучесть (максимальная концентрация пара,  $C_{max}^t$ ).

Указанные параметры, рассчитанные по формулам [4, 5], приведены в таблице.

Физические и физико-химические параметры серной кислоты

Температура кипения ( $t_{кип}$ ), °C	Максимальная концентрация пара ( $C_{max}^{20^\circ C}$ ), мг/м <sup>3</sup>		Давление насыщенного пара ( $p^{20^\circ C}$ ), Па	Интенсивность испарения ( $\sigma$ ), кг/ч·м <sup>2</sup>
	в закрытых помещениях	на открытой местности		
330	5,03	0,5	0,125	$8,8 \cdot 10^{-5}$

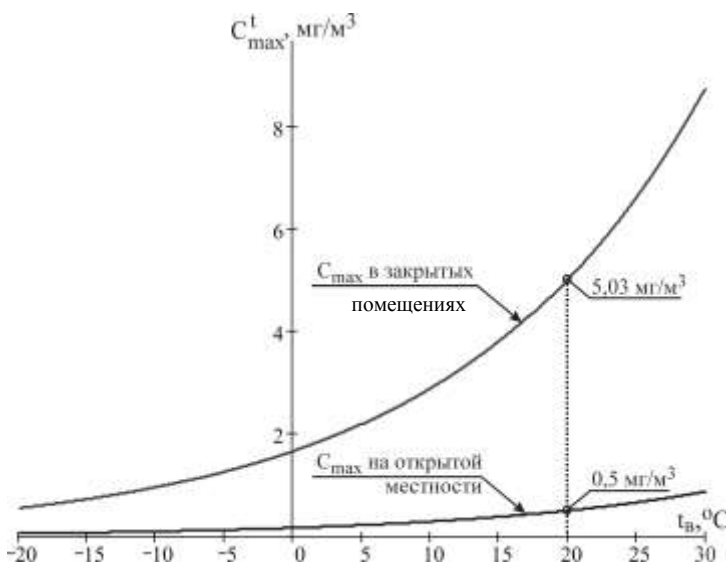


Рис. 1. Характер изменения максимальной концентрации пара серной кислоты в зависимости от температуры окружающего воздуха

Характер изменения максимальной концентрации пара серной кислоты в зависимости от температуры окружающего воздуха в закрытых помещениях и на открытой местности показан на рис. 1.

Проанализируем поражающее действие серной кислоты. Если, в соответствии с [4], относительная летучесть опасного вещества

$$F_{20^\circ C}^{H_2SO_4} = \frac{C_{max}^{20^\circ C}}{ПДК} < 10, \text{ то наличием паров в атмосферном воздухе можно пренебречь.}$$

В этой связи, при оценке поражающего воздействия опасного вещества на человека, учитывается наличие в воздухе только аэрозоля (морось, туман). Если относительная летучесть опасного вещества лежит в пределах  $10 \leq F_{20^\circ C}^{H_2SO_4} \leq 50$ , то учитыва-

ется наличие в воздухе паров и аэрозоля. При  $F_{20^\circ C}^{H_2SO_4} > 50$  учитываются только пары [4, 5].

Максимальная концентрация на открытой местности, создаваемая парами серной кислоты при атмосферном давлении и температуре кипения  $330^\circ C$ , не превышает  $0,5 \text{ мг/м}^3$  (при  $t_{возд.} = 20^\circ C$ ), то есть всего  $0,5$  ПДК  $H_2SO_4$  (ПДК серной кислоты в воздухе рабочей зоны составляет  $1 \text{ мг/м}^3$ ), а при аварийных выбросах в закрытых помещениях (при отсутствии вентиляции) около  $5 \text{ мг/м}^3$  (при  $t_{возд.} = 20^\circ C$ ), то есть  $5$  ПДК.

Таким образом, для концентрированной технической серной кислоты (92,5-94,0%), используемой на ТЭЦ, относительная летучесть не превышает  $F_{20^\circ C}^{H_2SO_4} < 10$ , рис. 2.

Следовательно, техническая серная кислота, являясь малолетучей жидкостью, не создает поражающих концентраций пара в воздухе за счет естественного испарения. Таким образом, пути воздействия паров серной кислоты при кратковременном (аварийный период)

вдыхании испарившейся кислоты не являются летально-опасными и даже опасными по условию длительного расстройств здоровья.

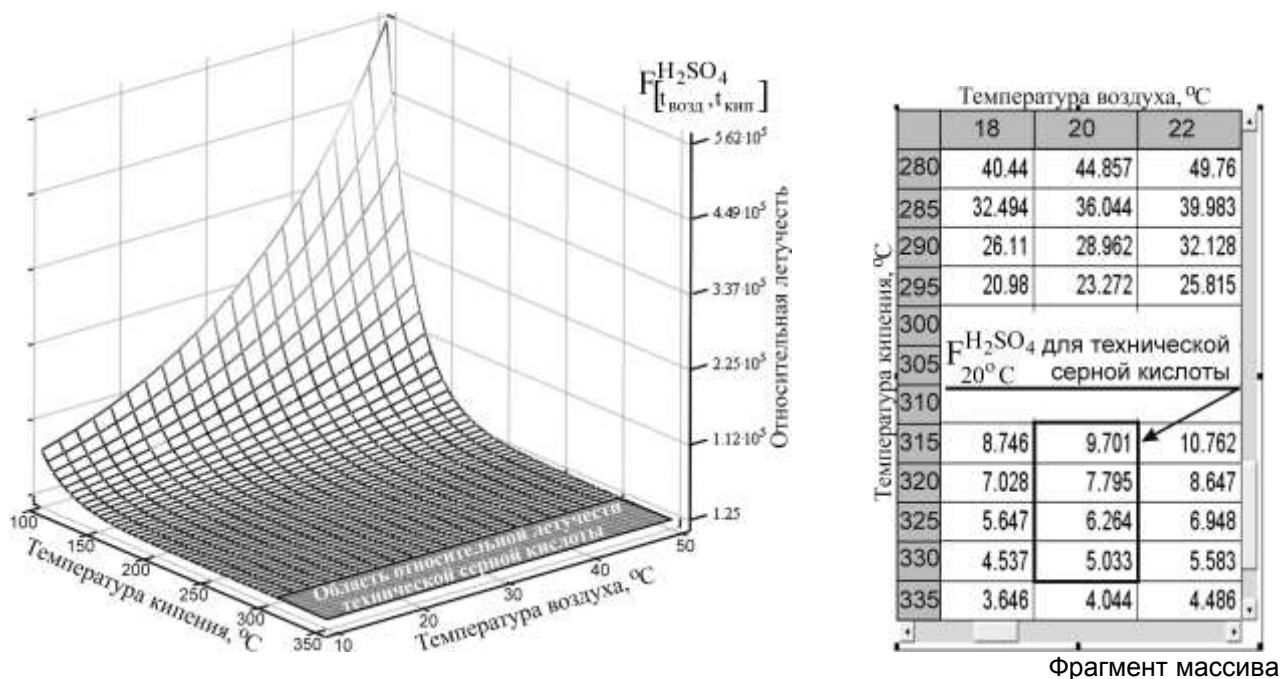


Рис. 2. Характер изменения относительной летучести серной кислоты в зависимости от температуры кипения и температуры окружающего воздуха

Аэрозольный путь воздействия серной кислоты является существенно более опасным. Ингаляционная токсичность аэрозоля серной кислоты зависит как от степени ее концентрации в объеме воздуха, так и от дисперсности – размера частиц  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Размеры частиц в аэрозолях изменяются в очень широких пределах – от  $10^{-8}$  мм до нескольких мм. Диспергирование  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с диаметрами частиц  $< 10$  мкм при аварийном выбросе в окружающее пространство может возникнуть при высоких перепадах давлений в оборудовании и среде, куда происходит истечение (до 6 МПа и выше), либо в случае разрушения емкости с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в результате взрыва. Приведем в качестве примера описание аварии с взрывом гремучей смеси внутри сернокислотного резервуара на АО «Рефлектор» г. Саратова 19.10.1997 г.:

<i>Взрыв гремучей смеси внутри сернокислотного резервуара. Сварка корпуса неопорожденного резервуара велась с нарушением техники безопасности. Внутри образовался водород (за счет прямого контакта серной кислоты с металлом при нарушении кислотостойкого покрытия).</i>	<i>Срыв емкости объемом 25 м<sup>3</sup> и перемещение ее в результате взрыва на 50 м с разливом кислоты на пол производственного помещения.</i>
--	--

Однако такие условия развития аварии на складе ХВО ТЭЦ отсутствуют и вероятность взрыва внутри резервуара с серной кислотой пренебрежимо мала.

При возможном аварийном разрушении емкости хранения серной кислоты и практически мгновенном «обрушении» столба жидкости на подстилающую поверхность поддона, происходит разбрызгивание  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с образованием сравнительно грубодисперсного аэрозоля (мороси) с диаметрами частиц от нескольких мм до 10 мкм. Максимальное число капель имеют диаметр 100-150 мкм. Образовавшееся облако жидкого аэрозоля подхватывается воздушным потоком и, двигаясь вместе с ним, достаточно быстро рассеивается в результате оседания частиц  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на поверхность земли.

Основываясь на эмпирических данных, приведенных в работах [5, 6], нами получена регрессионная модель скорости оседания частиц грубодисперсного аэрозоля  $H_2SO_4$  в функции размера этих частиц  $V_{oc}(m) = a + b \cdot m$ , где  $m$  – размер частиц аэрозоля;  $a$  и  $b$  – параметры регрессионной модели.

Глубина  $L$  распространения образовавшегося облака грубодисперсного аэрозоля  $H_2SO_4$  с учетом полученной регрессионной модели описывается предложенной нами зависимостью  $L = f(V_{oc}(m), H_{сж})|_{(P_0, t_0, v_0) = const}$ , где  $V_{oc}(m)$  – скорость оседания частиц аэрозоля в функции размера данных частиц ( $m$ ) при фиксированных значениях атмосферного давления ( $P_0$ ), температуры атмосферного воздуха ( $t_0$ ) и скорости приземного ветра ( $v_0$ );  $H_{сж}$  – средняя высота механического измельчения (диспергирования)  $H_2SO_4$  в результате «обрушения» столба жидкости на подстилающую поверхность.

Глубина распространения аэрозоля существенно зависит от размера частиц и скорости приземного ветра. Данная зависимость для рассматриваемой высоты «обрушения» столба жидкости на подстилающую поверхность показана в качестве примера на рис. 3.

Основываясь на сказанном, выделим две характерные зоны поражения человека при аварийных выбросах серной кислоты.

- *Первая зона.* На расстоянии менее  $L_{100}$ , в непосредственной близости от места разлива серной кислоты при квазимгновенном разрушении резервуара определяющим будет *капельно-жидкое* воздействие разбрызгиваемых капель серной кислоты с диаметрами частиц  $d \geq 100$  мкм, а также воздействие *потока растекающейся жидкости*. В этой зоне можно ожидать тяжелые химические ожоги кожных покровов и глаз с возможным смертельным исходом среди персонала.

- *Вторая зона.* На расстоянии, превышающем  $L_{100}$  от места разлива серной кислоты, формируется зона грубодисперсного аэрозоля (мороси) с диаметрами капель в пределах  $100 \text{ мкм} > d \geq 10 \text{ мкм}$ . По данным литературных источников [5, 6, 7], частицы размером более 10 мкм задерживаются в верхних дыхательных путях, не достигая легких. В этой зоне определяющим будет *ингаляционно-капельное* поражение человека, приводящее к химическим ожогам кожных покровов и глаз, прижиганию слизистой верхних дыхательных путей у персонала.

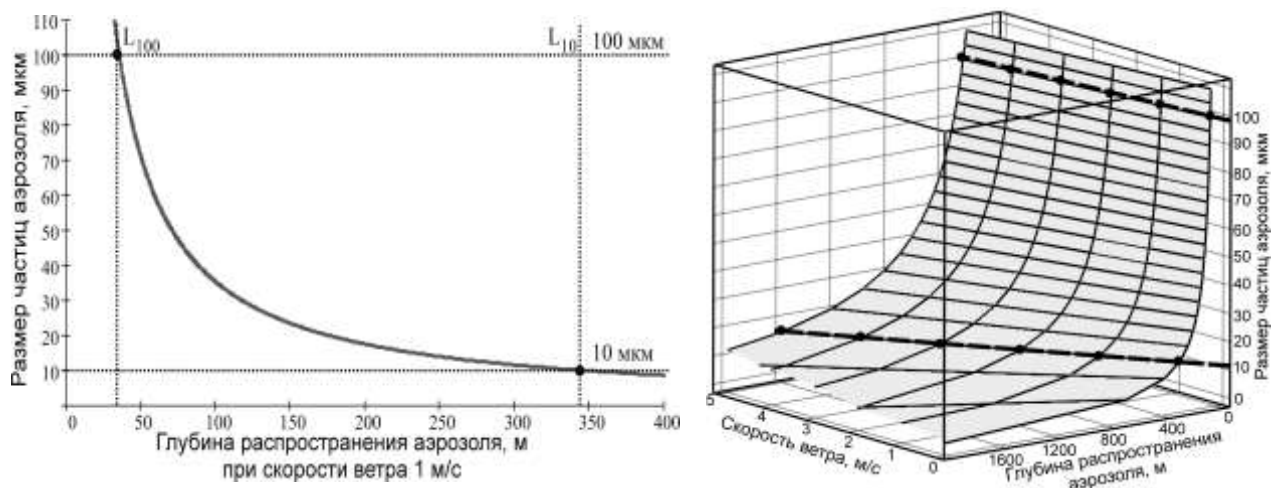


Рис. 3. Глубина распространения дисперсного аэрозоля  $H_2SO_4$  в зависимости от размеров частиц и скорости приземного ветра

Разгерметизация резервуара или трубопровода и истечение из аварийного отверстия жидкости, находящейся в оборудовании при атмосферном давлении, не приведет к разбрыз-

гиванию и формированию вне области разлития дисперсного облака взвешенных в воздухе частиц  $H_2SO_4$ , что позволяет рассматривать ингаляционно-капельное поражение человека маловероятным при развитии аварии по данному сценарию.

Зоны поражения при реализации аварии по сценарию с квазимоментальным разрушением резервуара и разлитием серной кислоты в поддон, разбрызгиванием капель и образованием грубодисперсного аэрозоля  $H_2SO_4$  показаны, в качестве примера, для конкретной ТЭЦ крупного областного города Поволжского региона на рис. 4.

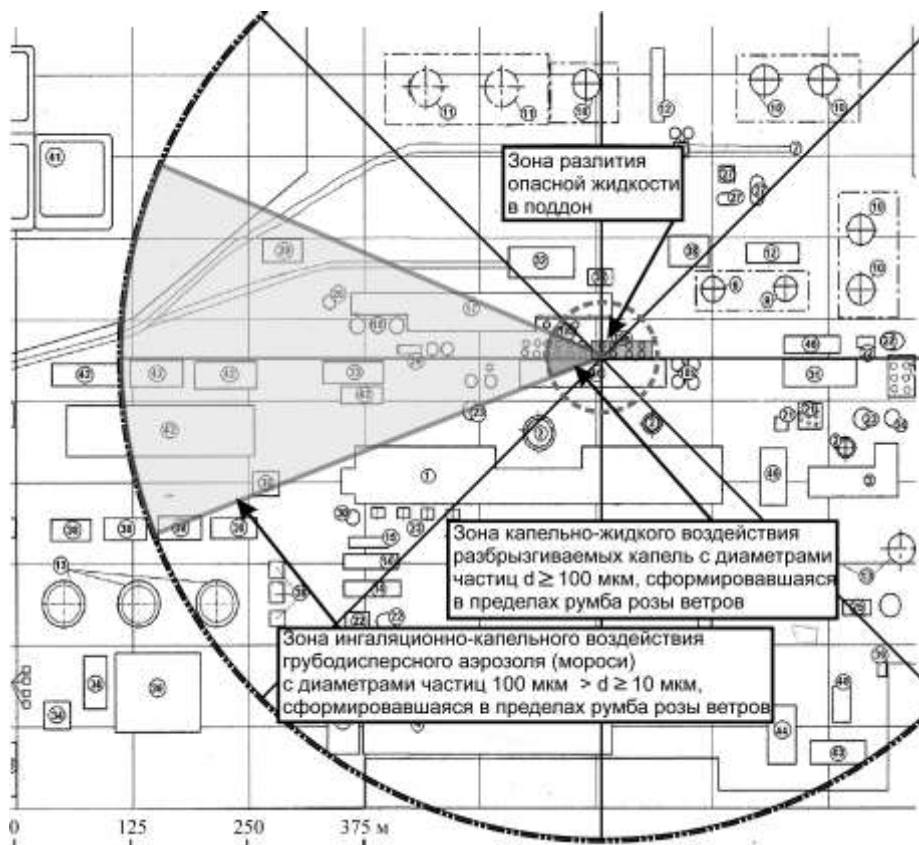


Рис. 4. Зоны возможного поражения персонала теплоэлектростанции

Зоны поражения сформированы с учетом 8-румбовой розы ветров. Специфика поражения разбрызгиваемыми каплями и грубодисперсным аэрозолем  $H_2SO_4$  – воздействие только на открыто расположенных в пределах зоны поражения людей. Максимально возможное количество смертельно пораженных вследствие капельно-жидкого воздействия аэрозоля среди персонала цеха ХВО, одновременно оказавшегося в рассматриваемом румбе розы ветров, может составить 2-3 человека. В этой зоне определяющим будет непосредственное воздействие разлившейся жидкости и капельно-жидкое воздействие аэрозоля  $H_2SO_4$  с диаметрами частиц  $d \geq 100$  мкм, приводящее к тяжелым химическим ожогам кожных покровов и глаз с возможным смертельным исходом.

Возможное количество травмированных вследствие ингаляционно-капельного воздействия грубодисперсного аэрозоля (мороси), среди персонала ТЭЦ, одновременно оказавшегося в рассматриваемом румбе розы ветров, может составить 20-25 человек. В указанной зоне определяющим будет ингаляционно-капельное поражение человека вследствие воздействия грубодисперсного аэрозоля (мороси) с диаметрами частиц  $100 \text{ мкм} > d \geq 10 \text{ мкм}$ , приводящее к химическим ожогам верхних дыхательных путей, кожных покровов и глаз.

Обоснованные и разработанные методы анализа и количественной оценки уровня техногенной опасности тепловых электростанций позволяют аналитически оценить последствия аварийных выбросов серной кислоты на открытых технологических установках и резервуарах хранения склада цеха ХВО и выделить зоны повышенной опасности с целью принятия управленческих решений в области промышленной безопасности территории ТЭЦ.

#### 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. Козлитин П.А. Методы нечеткого анализа риска аварий в системах теплоснабжения / П.А. Козлитин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 1 (44). С. 175-183.
3. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Руководящий документ РД 52.04.253-90. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 27 с.
4. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе / Н.Ф. Тищенко. М.: Химия, 1991. 368 с.
5. Александров В.Н. Отравляющие вещества / В.Н. Александров, В.И. Емельянов. М.: Воениздат, 1990. 271 с.
6. Франке З. Химия отравляющих веществ: в 2 т. / З. Франке; пер. с нем. М.: Химия, 1973. Т. 1. 440 с. Т. 2. 404 с.
7. Вредные вещества в промышленности: справочник: в 3 т. М.: Химия, 1977. Т. 3. 650 с.

**Козлитин Павел Анатольевич** –  
кандидат технических наук,  
докторант кафедры «Теплоэнергетика»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Kozlitiin Pavel Anatoliyevich** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Doctoral Student of the Department  
of «Heat-Power Engineering»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 20.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 696.2

**Н.Н. Осипова**

#### **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОСЕЛКОВЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ РЕЗЕРВУАРНЫХ УСТАНОВОК С ИСКУССТВЕННЫМ ИСПАРЕНИЕМ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА**

*Представлены результаты технико-экономических исследований по выбору оптимальных параметров систем газоснабжения сельских населенных пунктов на базе сжиженного углеводородного газа и пропан-бутановой смеси с воздухом в зависимости от характера застройки населенных пунктов и вида газоиспользующего оборудования у потребителя.*

Сжиженный углеводородный газ, резервуарная установка, оптимальные параметры систем газоснабжения.

N.N. Osipova

### CHOOSING THE OPTIMAL PARAMETERS OF VILLAGE SYSTEMS SUPPLY FOR BASED RESERVOIR UNITS WITH ARTIFICIAL EVAPORATION LIQUEFIED PETROLEUM GAS

*The results of feasibility studies for the selection of optimal parameters of gas supply systems for rural settlements based on liquefied petroleum gas and propane-butane mixture with air depending on the human settlements nature and the gas type applying equipment of the consumer are considered.*

Liquefied petroleum gas, tank installation, optimal parameters of gas supply systems.

Для газификации потребителей, удаленных от магистралей природного сетевого газа, широко используется сжиженный углеводородный газ (СУГ). Если газификация населенного пункта в перспективе экономически целесообразна природным сетевым газом, системы газоснабжения на базе СУГ максимально адаптируют к последующему подключению к газовым сетям на природном газе, используя газозвоздушные смеси.

Снабжение энергоносителями в обоих случаях осуществляется от подземных резервуарных установок через распределительные газовые сети.

Следует отметить, что применительно к Российской Федерации с ее суровыми климатическими условиями применение резервуарных установок с естественной регазификацией имеет целый ряд существенных недостатков, главным из которых является низкая паропроизводительность в холодный период времени года и, как следствие, большая металлоемкость (капиталовложения) на единицу испаренного газа [1].

Применение испарителей сжиженного газа в значительной степени устраняет отмеченный недостаток и обеспечивает стабильное испарение сжиженного газа, любого компонентного состава, что повышает надежность снабжения потребителей СУГ.

Большая металлоемкость резервуарных установок, сложность и трудоемкость строительно-монтажных работ обуславливают высокую стоимость сооружения и эксплуатации систем газоснабжения. В этой связи обоснование оптимального варианта резервуарной установки с минимальными затратами в ее сооружение и эксплуатацию является важным резервом экономии материальных и денежных средств при организации снабжения потребителей парами сжиженного углеводородного газа или газозвоздушной смесью.

В целях обоснования оптимальной централизации поселковых систем газоснабжения на базе групповых резервуарных установок с искусственной регазификацией были проведены исследования.

В качестве критерия оптимальности в данной экономико-математической задаче использовался минимум удельных (на одно здание) приведенных затрат в систему газоснабжения по комплексу: групповая резервуарная установка – распределительные газовые сети [2].

При этом целевая функция задачи, в общей постановке, представляет собой функционал вида:

$$Z(n) = f(Z_{гpy}(n); Z_{cc}(n)) = \min, \quad (1)$$

где  $Z(n)$  – удельные приведенные затраты в систему газоснабжения, руб/(год·зд);  $Z_{гpy}(n)$  – то же в групповые резервуарные установки, оборудованные испарителями СУГ, руб/(год·зд);  $Z_{cc}(n)$  – то же в уличные распределительные газовые сети, руб/(год·зд);  $n$  – количество зданий, подключаемых к групповой резервуарной установке, шт.

Удельные приведенные затраты в групповые резервуарные установки, оснащенные электрическими испарителями  $Z_{гpy}$ , определяются количеством квартир, подключаемых к од-



ной резервуарной установке, и включают в себя затраты на эксплуатацию самих резервуарных установок  $Z_{py}$ , затраты в редуцирующие головки подземных резервуаров  $Z_{pz}$ , электрические испарители  $Z_u$  и годовую стоимость электроэнергии  $\mathcal{E}$ , затрачиваемой на регазификацию сжиженного газа, и находятся по выражению [3]:

$$\frac{Z_{эpy}(n)}{n} = \frac{1}{n} [Z_{py}(n) + Z_{pz} + Z_u(n) + \mathcal{E}(n)]. \quad (2)$$

В то же время, при оснащении групповых резервуарных установок огневыми испарителями выражение (2) имеет вид:

$$\frac{Z_{эpy}(n)}{n} = \frac{1}{n} [Z_{py}(n) + Z_{pz} + Z_{ou}(n)], \quad (3)$$

где  $Z_{ou}$  – удельные приведенные затраты в огневой испаритель СУГ, руб/(год·зд).

В случае снабжения потребителей от резервуарных установок газовоздушной смесью в (2) и (3) необходимо ввести затраты в газовоздушную установку  $Z_{эgy}$ . Тогда выражения (2) и (3) примут вид [4]:

$$\frac{Z_{эpy}(n)}{n} = \frac{1}{n} [Z_{py}(n) + Z_{pz} + Z_u(n) + Z_{эgy}(n) + \mathcal{E}(n)]; \quad (4)$$

$$\frac{Z_{эpy}(n)}{n} = \frac{1}{n} [Z_{py}(n) + Z_{pz} + Z_{ou}(n) + Z_{эgy}(n)]. \quad (5)$$

В свою очередь, удельные приведенные годовые затраты в распределительные газовые сети  $Z_{cc}$  определяются плотностью населения на газоснабжаемой территории  $q$  и количеством зданий  $n$ , снабжаемых газом от групповой резервуарной установки [5]:

$$\frac{Z_{cc}}{n} = f(q; n). \quad (6)$$

На базе целевой функции (1)-(6) была разработана экономико-математическая модель оптимального функционирования систем газоснабжения от групповых резервуарных установок с искусственным испарением СУГ.

В результате детальной проработки экономико-математической модели (1)-(6) применительно к населенным пунктам с усадебной (коттеджной) застройкой и последующей обработки численных результатов на ЭВМ было получено  $i$  аппроксимирующих уравнений для определения удельных приведенных затрат в систему газоснабжения в зависимости от определяющих факторов: количества квартир, газифицируемых от одной резервуарной установки  $n$ , плотности населения на газоснабжаемой территории  $q$ , структуры застройки населенных пунктов, уровня тепловой защиты зданий, характера газового оборудования квартир и режимов его эксплуатации, следующего вида:

$$Z_i = an^{-k} + bq^{-m}n^p, \quad (7)$$

где  $a, b, k, m, p$  – соответственно, численные коэффициенты и показатели степени, получаемые при обработке выражений (2)-(6) на ЭВМ.

Оптимальные параметры поселковых систем газоснабжения определяются оптимальным количеством зданий, подключаемых к резервуарной установке  $n = n_{opt}$ . Для этого необходимо продифференцировать выражение (7) по управляющему параметру –  $n$

$$\frac{\partial Z_i(q; n)}{\partial n} = 0. \quad (8)$$

В целях численной реализации предложенной экономико-математической модели были проведены соответствующие расчеты. В расчетах использовались следующие исходные данные и предпосылки:

– в качестве источника централизованного газоснабжения принята групповая резервуарная установка с подземными вертикальными резервуарами [6];

– схема регазификации СУГ – искусственная, на базе огневых и электрических испарителей;

– уличные распределительные газовые сети – тупиковые, выполнены из стальных газопроводов с подземной прокладкой;

– в качестве расчетных моделей застройки населенного пункта приняты два полярных варианта: многорядная застройка, характерная для поселков с компактной планировкой, и двухрядная (с застройкой зданиями вдоль улиц и проездов), характерная для поселков с разбросанной планировкой;

– плотность населения газоснабжаемой территории  $q$  варьировалась в пределах от  $7,5 \cdot 10^{-3}$  до  $0,6 \cdot 10^{-3}$  чел/м<sup>2</sup>, при среднем коэффициенте заселенности зданий  $S = 3$  чел/зд и изменении площади приусадебных участков от 4 до 50 соток;

– характеристики газоснабжаемых зданий приняты по данным [6].

Результаты соответствующих расчетов приводятся в табл. 1, 2.

Таблица 1

Оптимальные параметры поселковых систем газоснабжения  
на базе паров сжиженного углеводородного газа

Плотность населения на газифицируемой территории $q$ , чел/м <sup>2</sup>	Оптимальное количество квартир, подключаемых к групповой резервуарной установке $n_{opt}$ при снабжении потребителя парами сжиженного углеводородного газа и типе используемого испарителя			
	электрический		огневой	
	характер застройки населенного пункта			
	многорядная	двухрядная	многорядная	двухрядная
Усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты. Газовое оборудование – газовые плиты, газовые отопительные печи периодического действия				
$0,6 \cdot 10^{-3}$	21	14	13	10
$2,5 \cdot 10^{-3}$	39	24	24	15
$7,5 \cdot 10^{-3}$	80	48	48	30
Усадебные здания с повышенным уровнем теплозащиты. Газовое оборудование – газовые плиты, газовые отопительные печи (котлы) непрерывного действия				
$0,6 \cdot 10^{-3}$	22	15	18	13
$2,5 \cdot 10^{-3}$	53	37	44	30
$7,5 \cdot 10^{-3}$	106	76	85	60
Коттеджные здания с повышенным уровнем теплозащиты. Газовое оборудование – газовые плиты, водонагреватели и отопительные котлы непрерывного действия				
$0,6 \cdot 10^{-3}$	22	15	18	13
$2,5 \cdot 10^{-3}$	54	36	45	30
$7,5 \cdot 10^{-3}$	112	71	90	62

### Вывод

Как видно из табл. 1 и 2, оптимальные параметры поселковых систем газоснабжения изменяются в очень широких пределах. При этом определяющее влияние оказывают плотность населения и характер застройки поселка. Электрические испарители сжиженного углеводородного газа позволяют обеспечить газовым топливом большее количество квартир при минимальных приведенных затратах в систему газоснабжения, однако огневые испарители СУГ не требуют для работы электроэнергии, что является одним из важнейших аргументов для их применения в системах снабжения СУГ.

Таблица 2

Оптимальные параметры поселковых систем газоснабжения на базе газозвоздушной смеси

Плотность населения на газифицируемой территории $q$ , чел/м <sup>2</sup>	Оптимальное количество квартир, подключаемых к групповой резервуарной установке $n_{opt}$ при снабжении потребителей газозвоздушной смесью и типе используемого испарителя			
	электрический		огневой	
	характер застройки населенного пункта			
	многорядная	двухрядная	многорядная	двухрядная
Усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты. Газовое оборудование – газовые плиты, газовые отопительные печи периодического действия				
$0,6 \cdot 10^{-3}$	59	39	36	28
$2,5 \cdot 10^{-3}$	107	66	64	40
$7,5 \cdot 10^{-3}$	201	121	120	75
Усадебные здания с повышенным уровнем теплозащиты. Газовое оборудование – газовые плиты, газовые отопительные печи (котлы) непрерывного действия				
$0,6 \cdot 10^{-3}$	62	42	50	36
$2,5 \cdot 10^{-3}$	146	102	121	84
$7,5 \cdot 10^{-3}$	286	198	228	150
Коттеджные здания с повышенным уровнем теплозащиты. Газовое оборудование – газовые плиты, водонагреватели и отопительные котлы непрерывного действия				
$0,6 \cdot 10^{-3}$	62	42	51	36
$2,5 \cdot 10^{-3}$	148	99	124	80
$7,5 \cdot 10^{-3}$	242	185	195	154

Указанное обстоятельство необходимо учитывать в проектной практике, максимально привязывая проектные решения к конкретным особенностям газифицируемого населенного пункта.

Внедрение приведенных в данной работе рекомендаций в широкую инженерную практику способствует совершенствованию структуры топливно-энергетического баланса сельских населенных пунктов, за счет вытеснения твердого и жидкого топлива из сферы бытового энергообеспечения, а также возможной привязки существующих систем снабжения СУГ к проектируемым сетям природного газа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курицын Б.Н. Объективный выбор децентрализованного источника снабжения сжиженным газом / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, Е.В. Иванова // Строительная инженерия. 2006. № 9. С. 25-30.
2. Осипова Н.Н. К выбору оптимальной централизации резервуарных систем снабжения сжиженным газом / Н.Н. Осипова // Приволжский научный журнал. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. № 4. С. 74-79.
3. Осипова Н.Н. К определению удельных приведенных затрат в групповые резервуарные установки с электрическим испарителем / Н.Н. Осипова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: сб. науч. тр. 4-й Междунар. конф. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. С. 125-130.
4. Осипова Н.Н. Оптимизация поселковых систем газоснабжения пропан-бутановыми смесями с воздухом / Н.Н. Осипова // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. докл. Третьей Междунар. науч.-техн. конф. М.: МГСУ, 2009. С. 314-317.

5. Осипова Н.Н. Оптимизация параметров распределительных газовых сетей / Н.Н. Осипова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газо-энергоснабжения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2008. С. 62-71.

6. Курицын Б.Н. Техничко-экономическое обоснование систем газоснабжения на базе резервуарных установок сжиженного газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова // Вестник гражданских инженеров. СПб.: СПбГАСУ, 2010. № 1(22). С. 134-141.

**Осипова Наталия Николаевна** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Osipova Nataliya Nikolayevna** –  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of «Heat and Gas Supply and Ventilation»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 17.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 621.6.036

**М.А. Усачев**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ-ИСПАРИТЕЛЕЙ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА С ЭЛЕКТРОНАГРЕВОМ НА ЦЕЛИ РЕГАЗИФИКАЦИИ**

*Приведены результаты исследований по повышению энерго- и ресурсоэффективности подземных вертикальных резервуаров-испарителей сжиженного углеводородного газа (СУГ) с электронагревом на цели регазификации, заключенных в полимерные футляры, заполненные незамерзающей жидкостью в нижней и газообразным азотом в верхней своей части. Поставленная цель достигается за счет укладки на часть наружной поверхности стального резервуара, начиная от центра днища до отметки, соответствующей величине расчетного уровня заполнения жидкой фазы СУГ перед очередной заправкой, плоского электронагревательного кабеля, с возможностью его автоматического отключения при достижении температуры инертной жидкости значения, более низкого, чем минимальная температура окружающего грунта.*

Энергоэффективность, ресурсоэффективность, вертикальный резервуар, испаритель, электронагрев, регазификация, сжиженный углеводородный газ.

**М.А. Usachev**

### **ENERGY INCREASE AND RESOURCE EFFICIENCY OF UNDERGROUND VERTICAL TANK-EVAPORATOR LIQUEFIED PETROLEUM GAS WITH ELECTRIC HEATER FOR REGASIFICATION PURPOSES**

*The results of studies to increase the energy and resource efficiency of ground vertical tank-evaporators liquefied petroleum gas (LPG) with electric heating for regasification entered into polymer casings filled with antifreeze liquid at the bottom and gaseous nitrogen in the upper part are given in the article.*

*This aim is achieved by placing outer surface on a steel tank from the bottom up to the mark of liquid phase LPG filling calculated level before the next refueling, flat electric heating cable with the possibility of automatic shutdown when the inert liquid temperature is lower than minimum temperature of surrounding soil.*

Energy efficiency, resource efficiency, vertical tanks, evaporator, electric heating, regasification, liquefied petroleum gas.

В настоящее время на территории Российской Федерации все более широкое распространение получает автономное и резервное энергогазоснабжение на основе подземных вертикальных резервуаров-испарителей (ПВРИ), предназначенных для хранения и регазификации сжиженного углеводородного газа [1-4]. Для предотвращения коррозионных, механических воздействий и пожара была разработана система комплексной защиты [5-8] путем заключения стального сосуда СУГ в полимерный футляр, частично заполненный инертной жидкостью, начиная от центра его днища, до отметки на боковой поверхности, соответствующей расчетному уровню заполнения стального сосуда жидкой фазой СУГ, а частично – инертным газом, например, газообразным азотом с контролируемым избыточным давлением.

Заполнение пространства футляра инертной жидкостью, имеющей более высокие теплопередающие свойства по сравнению с инертным газом, позволяет уменьшить сопротивление теплопередаче, увеличить величину теплопритока и повысить паропроизводительность резервуара СУГ в нижней части межстенного пространства [9]. Так, при температуре 5,0°C коэффициент теплопроводности инертной жидкости, типа антифриз марки Тосол А40М (53% этиленгликоля и 47% воды), составляет  $\lambda_{и.ж} = 1,12$  кДж/м·К, а газообразного азота –  $\lambda_{и.г} = 0,086$  кДж/м·К.

Однако зависимость теплопритока к поверхности резервуара [7] от температуры окружающего грунта, особенно в зимний период года, когда величина разности температур между грунтом и поверхностью стального сосуда, соприкасающегося с жидкой фазой СУГ, приводит к снижению паропроизводительности до значений, близких к нулю.

С целью повышения паропроизводительности подземного резервуара СУГ в зимний период года, когда температура грунта снижается до минимальных значений, а тепловая нагрузка на цели отопления достигает максимальных значений в известной конструкции подземного резервуара для хранения и испарения СУГ, содержащего стальной вертикальный сосуд, заключенный в полимерный футляр, согласно решению [10], на всю наружную поверхность стального вертикального сосуда для увеличения его паропроизводительности был навит плоский электронагревательный взрывозащищенный кабель (ЭВК).

Недостатком этого решения являются высокие капитальные вложения в приобретение и установку плоского ЭВК, рассчитанного на всю наружную поверхность стального вертикального сосуда. В то же время минимальная паропроизводительность ПВРИ, являющаяся расчетной, имеет место для наиболее неблагоприятных условий его эксплуатации, когда величина испарительной поверхности и уровень жидкой фазы в стальном сосуде снижаются до минимального значения  $H_{СУГ}$ , наблюдаемого перед очередной заправкой СУГ.

Другим недостатком известного решения [10] является возможность повышения температуры инертной жидкости сверх минимальной температуры грунта на отметке, равной расчетному уровню заполнения жидкой фазы  $H_{СУГ}$  и, как следствие, возможность теплопотерь в грунтовый массив.

С целью экономии капитальных вложений в приобретение и установку плоского ЭВК и экономии электроэнергии для нужд регазификации в зимний период года, согласно предлагаемому решению (см. рисунок), плоский ЭВК навит на часть наружной поверхности стального вертикального сосуда, начиная от центра днища до отметки, соответствующей величине уровня  $H_p$ , равного расчетному уровню заполнения жидкой фазы  $H_{СУГ}$  в стальном сосуде.

Наружная поверхность плоского ЭВК, соприкасающаяся с инертной жидкостью, с целью снижения теплового потока в эту сторону, покрыта тепловой влагонепроницаемой изоляцией.

Внутри межстенного пространства, ближе к внутренней поверхности полимерного футляра, с целью экономии тепловой энергии на нужды регазификации установлен датчик, подающий сигнал на отключение и включение подачи электроэнергии к плоскому ЭВК при достижении температуры инертной жидкости значения, равного:

$$t_{u.ж} = (t_{cp.min} - \Delta t_3) \pm \Delta t_{cp}, \quad (1)$$

где  $t_{cp.min}$  – минимальная температура грунта на отметке, равной расчетному уровню заполнения жидкой фазы  $H_{СУГ}$  перед очередной заправкой СУГ, °С;  $\Delta t_3$  – температурный перепад между грунтом и инертной жидкостью, при котором обеспечивается заданный расчетный часовой расход газа у потребителя, °С;  $\Delta t_{cp}$  – температурный перепад срабатывания системы, отключающей и включающей подачу электроэнергии к ЭВК при достижении температуры инертной жидкости значения, равного  $(t_{cp.min} - \Delta t_3)$ °С; величина  $\Delta t_{cp}$  в формуле (1) при отключении подачи электроэнергии принимается равной минус 0,5°С, при включении – плюс 0,5°С.

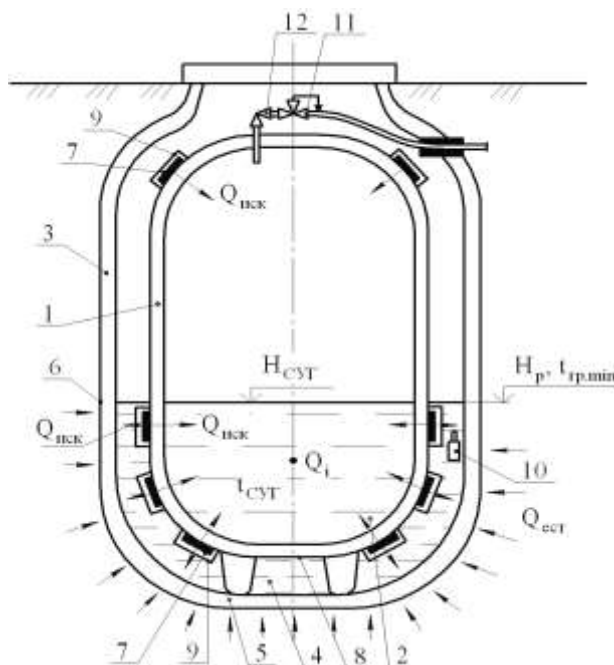


Схема расположения греющего электрического кабеля на поверхности подземного резервуара – испарителя, заключенного в полимерный футляр, частично заполненный инертной жидкостью:

- 1 – стальной вертикальный сосуд СУГ; 2 – жидкая фаза СУГ; 3 – полимерный футляр;
- 4 – инертная жидкость межстенного пространства; 5 – днище полимерного футляра 3;
- 6 – боковая поверхность полимерного футляра 3; 7 – плоский электрический взрывозащищенный греющий кабель; 8 – днище стального вертикального сосуда СУГ; 9 – тепловая влагонепроницаемая изоляция; 10 – датчик, подающий сигнал на отключение и включение подачи электроэнергии к греющему электрическому кабелю 7; 11 – регулятор давления; 12 – запорная арматура

На наружную поверхность стального вертикального сосуда в его верхней части, с целью перегрева паровой фазы и предотвращения за счет этого образования кристаллогидратов и закупорки ими затворов регуляторов давления и запорной арматуры, уложено расчетное количество витков того же плоского электрического кабеля, что и навитого в нижней части сосуда. Такое техническое решение обеспечивает экономию электрической энергии и исключает тепловые потери от электронагревательного кабеля через слой инертной жидкости в окружающий грунтовый массив. В этом случае можно использовать тепловую энергию грун-

та в любой период года, включая и самый холодный, за счет того, что минимальная температура грунта  $t_{gp.min}$  будет всегда выше температуры инертной жидкости  $t_{и.ж}$ .

Сущность предлагаемого технического решения поясняется рисунком, где изображена схема подземного резервуара для хранения и испарения СУГ.

Подземный резервуар для хранения и испарения СУГ содержит: стальной вертикальный сосуд 1, заполненный жидкой фазой сжиженного углеводородного газа 2 до величины расчетного уровня  $H_{СУГ}$ , заключенный в полимерный футляр 3, с межстенным пространством между ними, частично заполненным инертной жидкостью 4, начиная от центра днища 5 полимерного футляра 3 до отметки на боковой поверхности 6, соответствующей величине  $H_p$ , равной расчетному уровню заполнения жидкой фазы  $H_{СУГ}$  в стальном сосуде 1. При этом на наружную поверхность стального вертикального сосуда 1 навит плоский электронагревательный кабель 7, начиная от центра днища 8 до отметки на боковой поверхности, соответствующей уровню заполнения жидкой фазой  $H_{СУГ}$  стального сосуда 1.

Наружная поверхность плоского электронагревательного кабеля 7, соприкасающаяся с инертной жидкостью 4, с целью снижения теплового потока в эту сторону, покрыта тепловой влагонепроницаемой изоляцией 9.

Внутри межстенного пространства, ближе к внутренней поверхности полимерного футляра 3, с целью экономии электроэнергии для нужд регазификации в зимний период года и предотвращения повышения температуры инертной жидкости сверх значения  $(t_{gp.min} - \Delta t_3)$ , установлен датчик 10, подающий сигнал на отключение подачи электроэнергии к плоскому электронагревательному кабелю 7.

Подземный резервуар для хранения и испарения СУГ работает следующим образом.

В зимний период года, когда температура воздуха в газоснабжаемых помещениях уменьшается ниже своей номинальной величины, включается подача электроэнергии на плоский электронагревательный кабель 7, соприкасающийся с инертной жидкостью 4 и передающий тепловую энергию, недостающую для обеспечения расчетной паропроизводительности ПВРИ.

Жидкая фаза сжиженного углеводородного газа 2 испаряется и переходит в газообразное состояние за счет тепловой энергии, передаваемой от грунта и электронагревательного кабеля 7. При этом тепловой поток от ЭВК передается в двух противоположных направлениях:

- кипящей жидкой фазе 2 через стенку стального сосуда 1;
- инертной жидкости 4.

С целью снижения теплового потока в сторону инертной жидкости 4, греющий кабель 7 покрыт тепловой влагонепроницаемой изоляцией 9.

При повышении температуры инертной жидкости 4 сверх величины, равной  $(t_{gp.min} - \Delta t_3)$ , датчик 10 передает сигнал на отключение подачи электроэнергии к электронагревательному кабелю 7.

При уменьшении температуры инертной жидкости 4 ниже величины, равной  $(t_{gp.min} - \Delta t_3)$ , датчик 10 передает сигнал на включение подачи электроэнергии к электронагревательному кабелю 7.

С целью предотвращения образования кристаллогидратов и закупорки ими затворов регулятора давления 11 и запорной арматуры 12, плоский электронагревательный кабель 7, навитый на наружную поверхность стального вертикального сосуда 1 в его верхней части, осуществляет перегрев образовавшейся паровой фазы.

Экономия электрической энергии на испарение СУГ определяется как отношение количества тепловой энергии, полученной за счет естественной испарительной способности подземного резервуара  $Q_{ест}$ , к общему количеству тепловой энергии, переданной ПВРИ на нужды регазификации  $Q_{рег}$ :

$$\Delta Q_{ЭК} = 100 Q_{ест} / Q_{рег}, \quad (2)$$

где  $Q_{ест}$  – количество тепловой энергии, поступающей к наружной поверхности резервуара, заключенного в футляр, из окружающего грунта, Вт.

Количество тепловой энергии на нужды регазификации сжиженного углеводородного газа  $Q_{рег}$  определяется по формуле:

$$Q_{рег} = Q_{ест} + Q_{иск}, \quad (3)$$

где  $Q_{иск}$  – количество тепла, подведенного от электронагревательного кабеля, Вт.

После преобразования величина тепловой энергии на нужды регазификации определяется по формуле:

$$Q_{рег} = G_P \left\{ r + C_{П}^Г \left[ t_{ПЕР}^Г - \frac{t_H^Г(P_H) + t_K^Г(P_K)}{2} \right] \right\}, \quad (4)$$

где  $G_P$  – расчетная паропроизводительность подземного вертикального резервуара-испарителя, численно равная расчетному часовому расходу газа у потребителя, кг/ч;  $C_{П}^Г$  – осредненная удельная теплоемкость паровой фазы СУГ, кДж/кг К;  $t_H^Г(P_H)$ ,  $t_K^Г(P_K)$  – соответственно, температуры жидкой и равновесной с ней паровой фазы СУГ в начале отбора и конце отбора перед очередной заправкой, °С;  $P_H$ ,  $P_K$  – давление насыщенных паров СУГ в начале отбора и конце отбора перед очередной заправкой, МПа.

Количество тепловой энергии, поступающей к наружной поверхности резервуара, заключенного в футляр, из окружающего грунта, определяется согласно результатам исследований [11]:

$$Q_{ест} = \sum_{i=1}^n Q_i; \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где  $Q_i$  – интенсивность  $i$ -го точечного источника теплоты, Вт, расположенного на оси симметрии и реализующего заданные граничные условия на контуре ПВРИ, определяется в соответствии с математической моделью, приведенной в работе [11].

Определение величины экономии электрической энергии на испарение СУГ осуществляется в следующей последовательности: 1) по формулам (4) и (5) вычисляются значения  $Q_{рег}$  и  $Q_{ест}$ ; 2) в формулу (2) подставляются значения  $Q_{рег}$  и  $Q_{ест}$  и определяется величина экономии электрической энергии  $\Delta Q_{эж}$ .

С целью количественной оценки экономии электрической энергии за счет использования тепловой энергии грунта были проведены соответствующие расчеты при следующих исходных данных.

1. Климатический район – умеренно-холодный.
2. Геометрический объем подземного вертикального резервуара – 4,5 м<sup>3</sup>.
3. Расчетное избыточное давление СУГ в резервуаре перед очередной заправкой  $P_p = 0,1$  МПа.
4. Содержание пропана в поставляемом газе – 75 мол. %.
5. Остаточный уровень газа в резервуаре перед очередной заправкой – 35%.
6. Расчетная паропроизводительность ПВРИ с электронагревательным кабелем  $G_p = 7,0$  кг/ч при уровне газа в резервуаре перед очередной заправкой – 35%.

Проведенные расчеты показали, что средняя величина экономии электрической энергии в течение зимнего периода эксплуатации, за счет использования тепловой энергии окружающего грунта при расходе газа  $G_p = 7,0$  кг/ч и уровне заполнения резервуара перед очередной заправкой – 35% составляет 31,4%.

### Выводы

1. Результаты исследований по повышению энерго- и ресурсоэффективности подземных вертикальных резервуаров-испарителей сжиженного углеводородного газа с электронагревом на цели регазификации, заключенных в полимерные футляры, заполненные незамерзающей жидкостью в нижней своей части и газообразным азотом в верхней части, показали, что



поставленная цель достигается за счет укладки на часть наружной поверхности стального резервуара, начиная от центра днища до отметки, соответствующей величине расчетного уровня заполнения жидкой фазы СУГ перед очередной заправкой, плоского электронагревательного кабеля, с возможностью его автоматического отключения при достижении температуры инертной жидкости значения  $t_{u.ж} = (t_{гр.мин} - \Delta t_3) \pm \Delta t_{ср}$ , то есть более низкого, чем минимальная температура окружающего грунта.

2. Проведенные расчеты показали, что средняя величина экономии электрической энергии в течение зимнего периода эксплуатации, за счет использования тепловой энергии окружающего грунта, при расходе газа  $G_p = 7,0$  кг/ч и уровне заполнения резервуара перед очередной заправкой – 35% составляет 31,4%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы автономного и резервного газоснабжения: справ. руководство / под ред. А. Шнайдера. СПб.: Химгазкомплект, 2009. 264 с.
2. Автономное газоснабжение и отопление. СПб.: Химгазкомплект, 2009. 16 с.
3. Технические условия РПВ-04-00 ТУ. Резервуар подземный вертикальный. Саратов: СПИ, Саратовэнергомаш, 1989. 29 с.
4. Установка двух резервуаров подземных вертикальных РПВ: технические решения ТР-4-94. Утв. ОАО «Росгазификация» 08.09.94. Саратов, 1994. 86 с.
5. Свидетельство на полезную модель № 18564. Установка для хранения и распределения сжиженного углеводородного газа / А.Л. Шурайц, М.А. Усачев, Г.А. Гордеев, В.А. Щербаков (Россия). М., 2001. 8 с.
6. Патент на изобретение № 2187037. Установка для хранения и распределения сжиженного углеводородного газа / А.П. Усачев, М.А. Усачев, Т.А. Усачева // БИ 22 от 10.08.2002. 28 с.
7. Системные исследования комплексной защиты резервуаров и трубопроводов сжиженного углеводородного газа / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев, М.А. Усачев. Саратов: СГТУ, 2009. 212 с.
8. Шурайц А.Л. Разработка системы защиты подземных вертикальных резервуаров сжиженного углеводородного газа, предназначенных для газоснабжения жилищно-коммунальных и промышленных потребителей / А.Л. Шурайц, А.В. Рулев, М.А. Усачев // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: сб. науч. работ. Саратов: СГТУ, 2009. С. 87-92.
9. Шурайц А.Л. Оценка теплового влияния антифриза, заливаемого в пространство между полимерным футляром и вертикальным резервуаром сжиженного углеводородного газа / А.Л. Шурайц, М.А. Усачев // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: сб. науч. работ. Саратов: СГТУ, 2009. С. 93-99.
10. Подземные вертикальные резервуары АМИКО с электрообогревом для хранения и использования сжиженного газа. М.: Техно-Италия гранд, 2004. 26 с.
11. Курицын Б.Н. Теплообмен вертикального резервуара вертикального резервуара с грунтом / Б.Н. Курицын, А.П. Усачев, О.Б. Шамин // Совершенствование строительных конструкций, архитектурных решений, технологий и организации строительства: в 2 ч. Саратов: СГТУ, 1996. Ч. II. С. 60-65.

**Усачев Максим Александрович** – аспирант кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция» Саратовского государственного технического университета

**Usachev Maksim Aleksandrovich** – Post-graduate student of the Department of «Heat and Gas Supply and Ventilation» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

## АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

---

УДК 691-405.8

Ю.Г. Иващенко, А.В. Страхов

### СВОЙСТВА СИЛИКАТНАТРИЕВОГО СВЯЗУЮЩЕГО, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ СИЛИЦИТОВЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА

*Рассматривается зависимость изменения активности силикат-натриевого связующего из силицитовой породы (опоки) от времени гидротермального синтеза, а также изменение конечных свойств гранулированного теплоизоляционного материала на основе полученного связующего.*

Гидротермальное выщелачивание, силицитовая порода, силикатнатриевое связующее, активность, наполнитель.

Yu.G. Ivaschenko, A.V. Strakhov

### THE PROPERTIES OF SILICATES SODIUM BINDER DERIVED FROM THE SILICEOUS ROCKS METHOD OF HYDROTHERMAL SYNTHESIS

*The dependence of activity changes in sodium silicate binder of siliceous rocks (diatomaceous earth) from the time of hydrothermal synthesis, as well as the change of granular insulation material final properties on the basis of this binder is under review.*

Hydrothermal leaching, siliceous rocks, sodium silicate binder, activity, filler.

Растворимыми или щелочными силикатами (растворимым стеклом) называют натриевые или калиевые соли кремниевой кислоты. В общем виде химическую формулу растворимого стекла можно записать  $R_2O \cdot nSiO_2$ , где R – натрий или калий, n – силикатный модуль, показывающий число молекул кремнезема на одну молекулу окиси натрия или калия.

Основным способом получения жидкого стекла (водных растворов силикатов натрия) является растворение стекловидных щелочных силикатов (силикат-глыбы). Растворение силикат-глыбы производится автоклавным, полуавтоклавным и безавтоклавным способами.

*Автоклавное* растворение силикат-глыбы производится в стационарных и передвижных автоклавах под давлением 6-8 атм. от 4 до 8 часов.

*Полуавтоклавное* растворение стекловидных щелочных силикатов производится в автоклавах низкого давления. Обработанный щелочной силикат и соответствующее количество

воды загружают в автоклав, куда при постоянном вращении автоклава со скоростью 4-5 об/мин впускают острый пар. Растворение щелочного силиката длится 3-5 часов.

*Безавтоклавное* растворение щелочных силикатов имеет ряд преимуществ по сравнению с автоклавным и полуавтоклавным. Основными преимуществами этого способа являются простота оборудования и ускорение процесса растворения до 3-4 часов, но перед растворением частицы силикат-глыбы должны иметь размер не более 0,5 мм.

Чаще всего растворение осуществляется в автоклавах различного типа при  $t = 130-150^\circ\text{C}$  и давлении до 1 МПа [1].

Помимо силикат-глыбы жидкое стекло можно также производить из широко распространенных силицитсодержащих пород (опока, трепел, диатомит) по мокрому безавтоклавному способу [2]. Главные преимущества данного способа – это исключение из технологической схемы таких энергоёмких процессов, как сплавление силикат-глыбы и автоклава для её растворения, а также использование местных сырьевых ресурсов. Благодаря этому упрощается технология, повышается уровень безопасности, отпадает необходимость подачи пара, снижаются энергетические и капитальные затраты.

Несмотря на простоту и все преимущества вышеуказанный способ не нашел широкого применения в промышленности из-за наличия нерастворимого осадка после окончания гидротермального выщелачивания породы. В производстве строительных материалов образующийся осадок является ценным компонентом вяжущей системы, улучшающий физико-механические характеристики готового композита.

В этом случае используется все исходное кремнеземсодержащее сырье и отпадает необходимость решать проблему переработки нерастворившегося осадка после отделения раствора жидкого стекла. Кроме того, расходуется все жидкое стекло, образовавшееся при выщелачивании, тогда как при отделении раствора фильтрованием или центрифугированием извлечение его достигается только до 60-70%.

Процесс получения силикатнатриевого связующего (СНС) на основе трепела или диатомита занимает от 1 до 4 часов при  $t = 85-95^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении [3]. При этом концентрация кремнезема в полученном связующем составляет 150-160 г/л, а его силикатный модуль равен 1,3-1,4. Уменьшением срока синтеза занимались авторы [4], основным сырьевым материалом при приготовлении СНС у них является микрокремнезем – отход производства кристаллического кремния, который состоит из аморфного кремнезема до 95% и углеродсодержащих примесей до 5%.

В отличие от микрокремнезема, опока является природным многокомпонентным сырьевым материалом, соответственно растворение аморфного кремнезема будет проходить по более сложному пути. На процесс перехода  $\text{SiO}_2$  из силицитовой породы в СНС влияют следующие факторы: концентрация раствора гидроксида натрия и температура синтеза.

Реакция растворения протекает по формуле:



На скорость прохождения химической реакции (1), согласно уравнению Аррениуса (2), положительно влияет увеличение температуры синтеза (до  $90-95^\circ\text{C}$ ) и концентрации  $\text{NaOH}$  (до 13-16%), находящегося в жидкой фазе [5].

$$K = A \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right). \quad (2)$$

Здесь

$$A = a \cdot \sqrt{T} . \quad (3)$$

В этих формулах:  $A$  – частота столкновений реагирующих молекул;  $K$  – скорость химической реакции;  $T$  – температура;  $E_A$  – энергия активации;  $k$  – постоянная Больцмана.

В данной работе рассматривается применение трех видов опок месторождений Саратовской области для получения силикатнатриевого связующего и ТИМ на его основе.

Таблица 1

## Химический состав силицитовых пород

Силицитовая порода	Химический состав, мас. %					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	п.п.п.
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	81,6	6,2	не более 1,5	1,4	1,15	5,33
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	60,4	7,0	не более 3,13	12,4	0,98	12,3
Опока «глинистая» карьера «Большевик» Вольского р-на	68,7	12,5	не более 4,11	0,61	2,01	5,44

Таблица 2

## Минералогический состав силицитовых пород

Силицитовая порода	Аморфный SiO <sub>2</sub> , %	Песок, %	Глина (каолинит), %	Цеолит, %	Кальцит, %
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	65,3-78,5	2,5-3,7	4,0-6,5	не более 1,0	не более 1,0
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	48,7-53,1	1,9-2,4	1,2-2,6	не более 1,0	14,9-28,4
Опока «глинистая» карьера «Большевик» Вольского р-на	63,8-71,3	1,7-2,6	9,4-11,2	2,1-3,4	не более 2,0

Приготовление СНС осуществлялось по следующей методике [6]: силицитовую породу совместно с 14%-м водным раствором NaOH в соотношении Т:Ж = 1:1,5 измельчали до удельной поверхности  $S_{уд} = 5800-6700 \text{ см}^2/\text{г}$  (распределение частиц представлено на рис. 1), после чего полученную смесь загружали в герметичный сосуд, оборудованный мешалкой и электронагревателями, где производили гидротермальную обработку при температуре 80-95°C в течение 1 часа, при атмосферном давлении и постоянном перемешивании. При этом производили отбор проб полученной связки для исследования основных свойств силикатнатриевого связующего с интервалом в 10 минут. Характеристики полученного СНС приведены в табл. 3.

Важнейшим условием формирования наполненного композиционного материала на основе СНС является высокая адгезия связующего к поверхности наполнителя и, следовательно, природы связей на границе раздела «вяжущее – наполнитель».

Таблица 3

## Характеристики СНС

Силицитовая порода	SiO <sub>2</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO, %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	CaO, %	Na <sub>2</sub> O, %	Силикатный модуль, μ	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	14,3-16,7	менее 0,1	0,9-1,2	-	11,44-11,82	1,21-1,46	1550-1590
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	11,3-12,24	менее 0,1	0,7-1,1	3,5-10,4	12,24-13,29	0,85-0,98	1270-1325
Опока «глинистая» карьера «Большевик» Вольского р-на	12,7-13,4	менее 0,1	4,3-9,6	менее 1	10,22-11,54	1,10-1,31	1380-1420

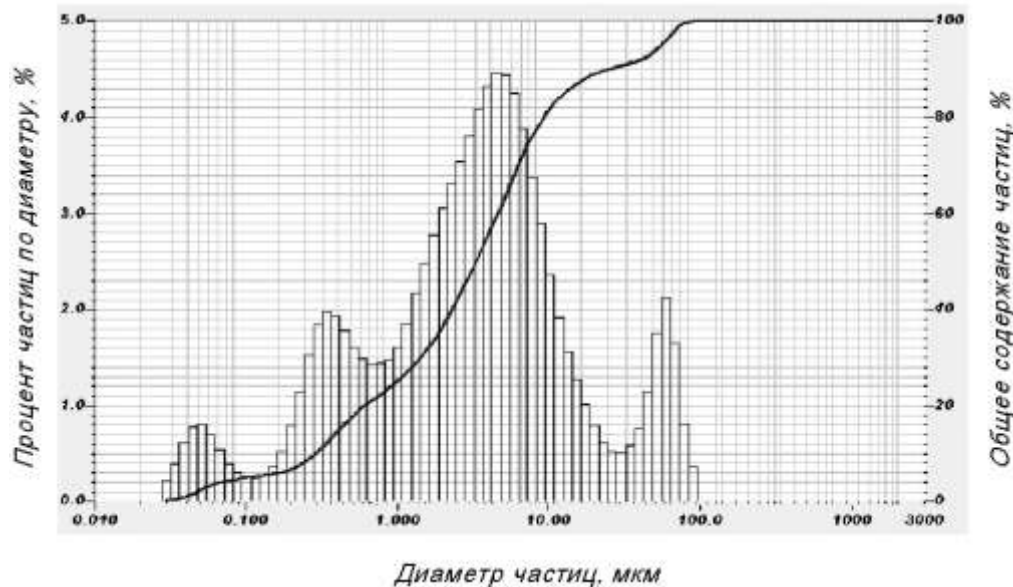


Рис. 1. Гранулометрический состав суспензии опки в щелочном растворе

Жидкое стекло обладает хорошей адгезией к большинству материалов, что легко определяется по углу смачивания. Силикатные растворы с модулями ниже 3,5-3,7 хорошо смачивают все органические и минеральные материалы, за исключением сажи, графита и жиров. Хорошее смачивание материала обуславливает хорошую адгезию в затвердевшем состоянии [1].

Исходя из вышесказанного, производились исследования изменения свойств (параметров), таких как: силикатный модуль, адгезионная прочность к минеральной поверхности, pH показатель, масса сухого нерастворившегося остатка от времени синтеза СНС.

Силикатный модуль СНС определялся двумя способами: 1) по методике, предусмотренной требованиями ГОСТ 13078-81 «Стекло натриевое жидкое» п.3.10 и 2) по методике, разработанной Ю.П. Васиным [7]. Кислотно-основный показатель pH определялся потенциометрическим методом с помощью ионометрического преобразователя «И-500» с электродной системой, включающей измерительный и вспомогательный электроды в соответствии с требованиями ГОСТ 8.134-98 «Шкала pH водных растворов». Массу сухого нерастворившегося остатка определяли по методике, предусмотренной требованиями ГОСТ 13078-81 «Стекло натриевое жидкое» п.3.13. Адгезионную прочность к минеральной поверхности определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» с помощью прибора - адгезиометра ПСО-10МГ4 (ООО СКБ «Стройприбор»). Результаты исследований представлены ниже в виде графиков (рис. 2, 3) и табл. 4.

Из полученных данных следует, что с увеличением времени синтеза более 30 минут со связкой не происходит значительных изменений – увеличение модуля незначительное, что также подтверждается количеством сухого нерастворившегося осадка и показателя pH. Более того, активность – адгезионная прочность СНС достигает максимальных показателей: у «кремнистой» и «глинистой» опок – после 30 минут синтеза, у «карбонатной» опки – через 15-20 мин. Низкая активность СНС на основе «карбонатной» породы обусловлена минимальным количеством аморфного кремнезема и наличием большого количества  $\text{CaCO}_3$  в исходном сырье, в то время как у «кремнистой» и «глинистой» опок содержание этого компонента минимально.

Ввиду малой активности СНС на основе «карбонатной» опки дальнейшие исследования производились на связках, полученных на основе «кремнистой» и «глинистой» опок в течение 30-минутного синтеза.

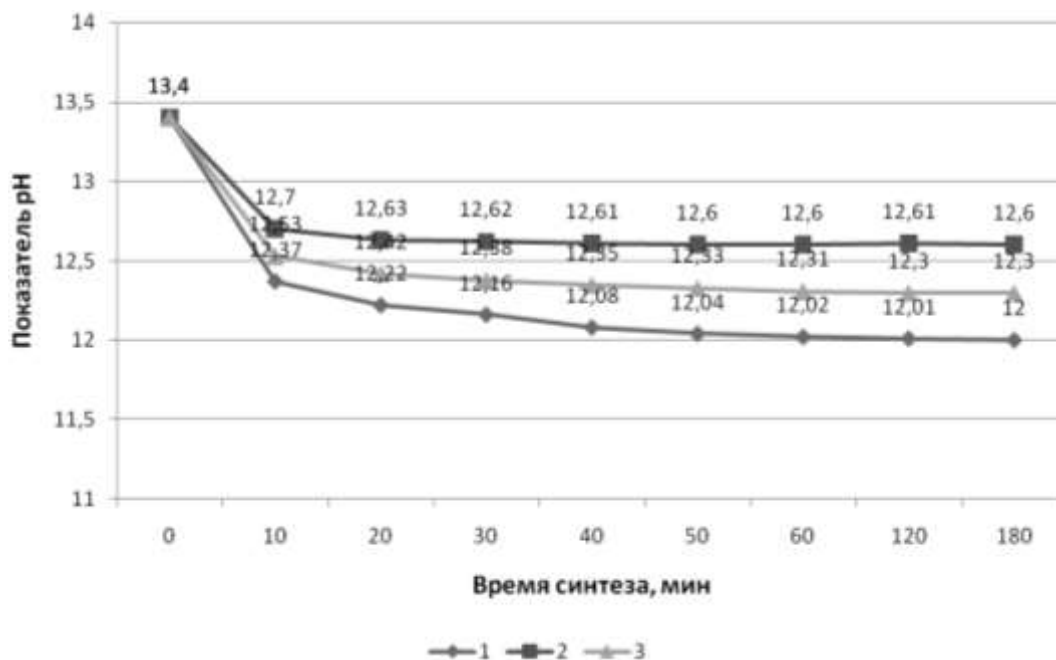


Рис. 2. Зависимость изменения показателя pH от времени синтеза СНС: 1 – опока «кремнистая»; 2 – опока «глинистая»; 3 – опока «карбонатная»

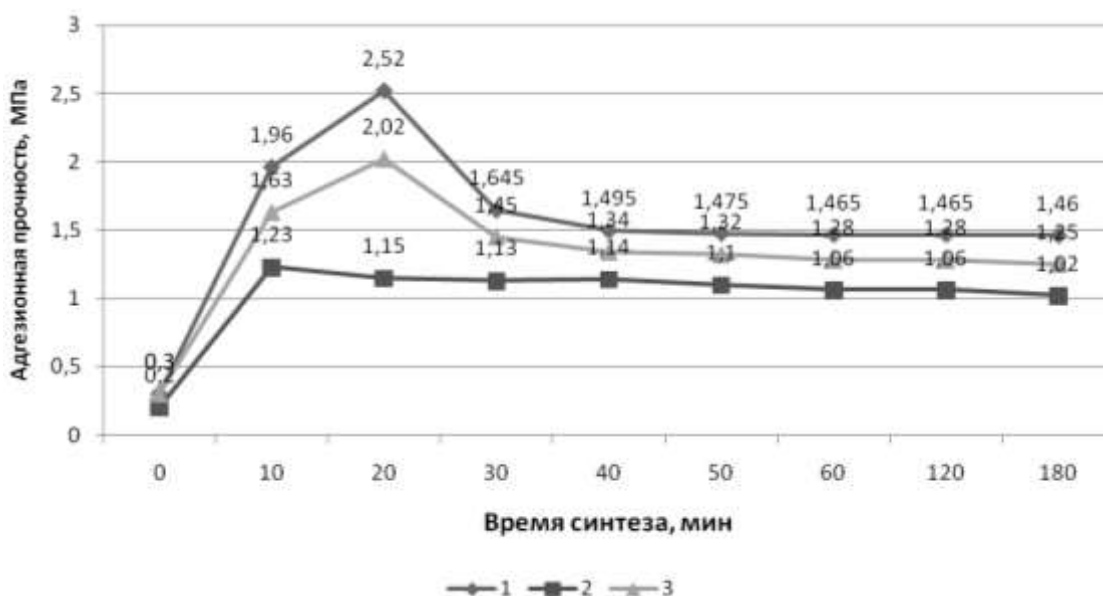


Рис. 3. Зависимость изменения адгезионной прочности от времени синтеза СНС: 1 – опока «кремнистая»; 2 – опока «глинистая»; 3 – опока «карбонатная»

Характер кривых активности СНС «кремнистой» и «глинистой» опок можно объяснить неполным растворением кремнезем- и алюмосодержащих компонентов (минералов) исходного сырья. Таким образом, в период 10-30 минут от начала синтеза СНС в связке образуется активный щелочной алюмосиликатный осадок, который можно представить в виде формулы:



Аморфные частицы данного осадка представляют собой центры кристаллизации, которые в процессе твердения и термообработки теплоизоляционного материала повышают его строительно-эксплуатационные свойства: прочность, водостойкость, огнестойкость, что позволяет расширить область применения данного вида ТИМ.

Изменение свойств СНС в зависимости от времени синтеза

Силицитовая порода	Время гидротермального синтеза, мин							
	10	20	30	40	50	60	120	180
Адгезионная прочность, МПа								
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	1,96	2,52	1,645	1,495	1,475	1,465	1,46	1,46
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	1,23	1,15	1,13	1,14	1,10	1,06	1,02	1,03
Опока «глинистая» карьера «Большевик» Вольского р-на	1,63	2,02	1,45	1,34	1,32	1,28	1,25	1,26
Показатель pH								
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	12,37	12,22	12,16	12,08	12,04	12,02	12,01	12,0
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	12,70	12,63	12,62	12,61	12,6	12,6	12,61	12,6
Опока «глинистая» карьера «Большевик» Вольского р-на	12,53	12,42	12,38	12,35	12,33	12,31	12,3	12,3
Масса сухого нерастворившегося остатка								
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	265	247	229	225	223	220	219	218
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	325	321	318	317	315	313	312	312
Опока «глинистая» карьера «Большевик» Вольского р-на	287	263	243	238	232	230	229	228

Механизм повышения прочностных характеристик протекает за счет уплотнения прослойки связующего между зёрнами наполнителя. Следовательно, частицы осадка являются поставщиками ионов  $Si^{2-}$  и  $Al^{3+}$  в связку, которые способствуют образованию водонерастворимых силикатов и алюмосиликатов. В противном случае межзёрновая прослойка будет большой толщины и иметь нестабильную структуру за счет испарения несвязанной воды, находящейся в СНС.

Механизм структурообразования осадка СНС проиллюстрирован на рис. 4.

Повышение водостойкости ТИМ на основе полученных СНС достигается за счет: 1) перехода различных модификаций кремния ( $\alpha$ -кварца,  $\alpha$ -кristобалита и  $\alpha$ -тридимита) силицитовой породы сначала в аморфное состояние, после этого ведния в состав силиката натрия, а в результате термообработки образования на поверхности гранул и в составе межпоровых перегородок плотной оболочки из кристаллического  $\alpha$ -тридимита; 2) введения кальцийсодержащего наполнителя, который приводит к образованию водонерастворимых силикатов кальция  $\alpha$ - $Ca_2SiO_4$  (рис. 5).

В качестве выводов можно сказать, что сокращение времени синтеза силицитовой породы до 30 минут является обоснованным, так как это приводит к образованию в СНС активного щелочного алюмосиликатного осадка, частицы которого представляют собой центры кристаллизации, а наличие свободной щелочи в связке переводит малоактивный наполнитель в «химически» активную добавку за счет растворения поверхностных аморфных слоев минерального наполнителя с образованием силикатных и алюмосиликатных комплексов. Уменьшение сроков синтеза позволит сократить энергозатраты на производство СНС в 2 раза и расширить минерально-сырьевую базу.

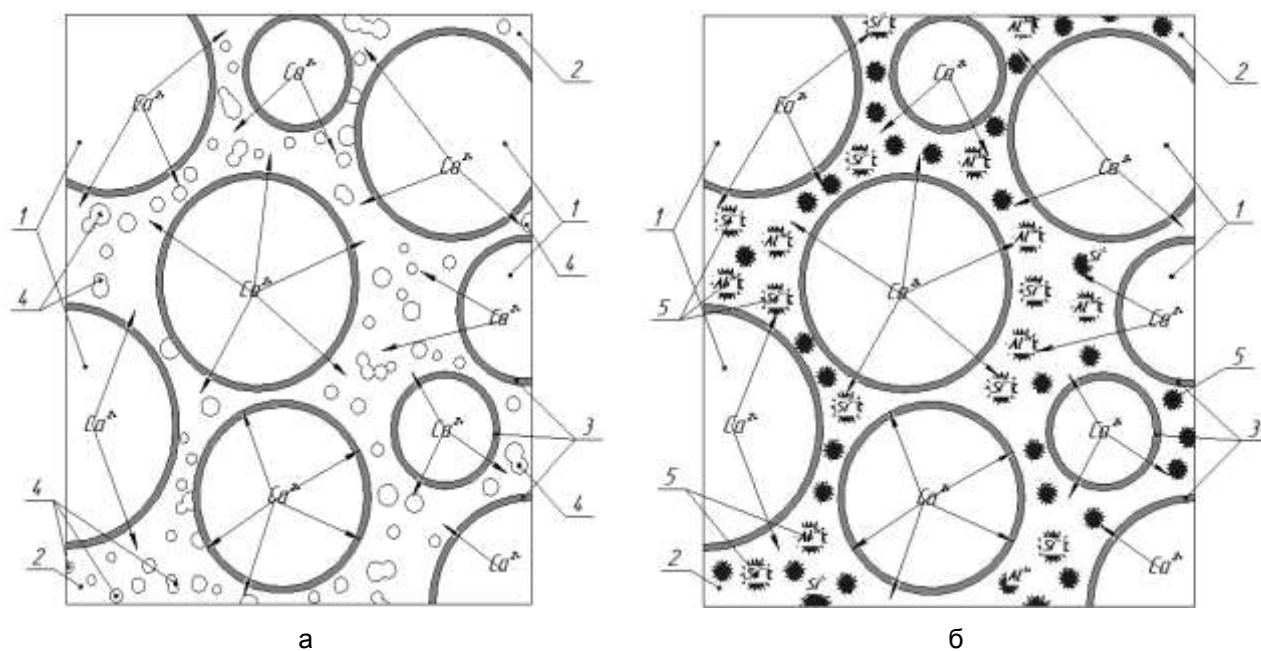


Рис. 4. Структурообразование межпоровой перегородки ТИМ на основе силикатнатриевой композиции: а – без алюмосиликатного осадка; б – с осадком;  
 1 – зерна кальцийсодержащего наполнителя; 2 – межзерновая прослойка СНС;  
 3 – полупроницаемая оболочка, образованная из силикатов кальция; 4 – пустоты, образованные от несвязанной воды СНС; 5 – активные частицы нерастворимого осадка

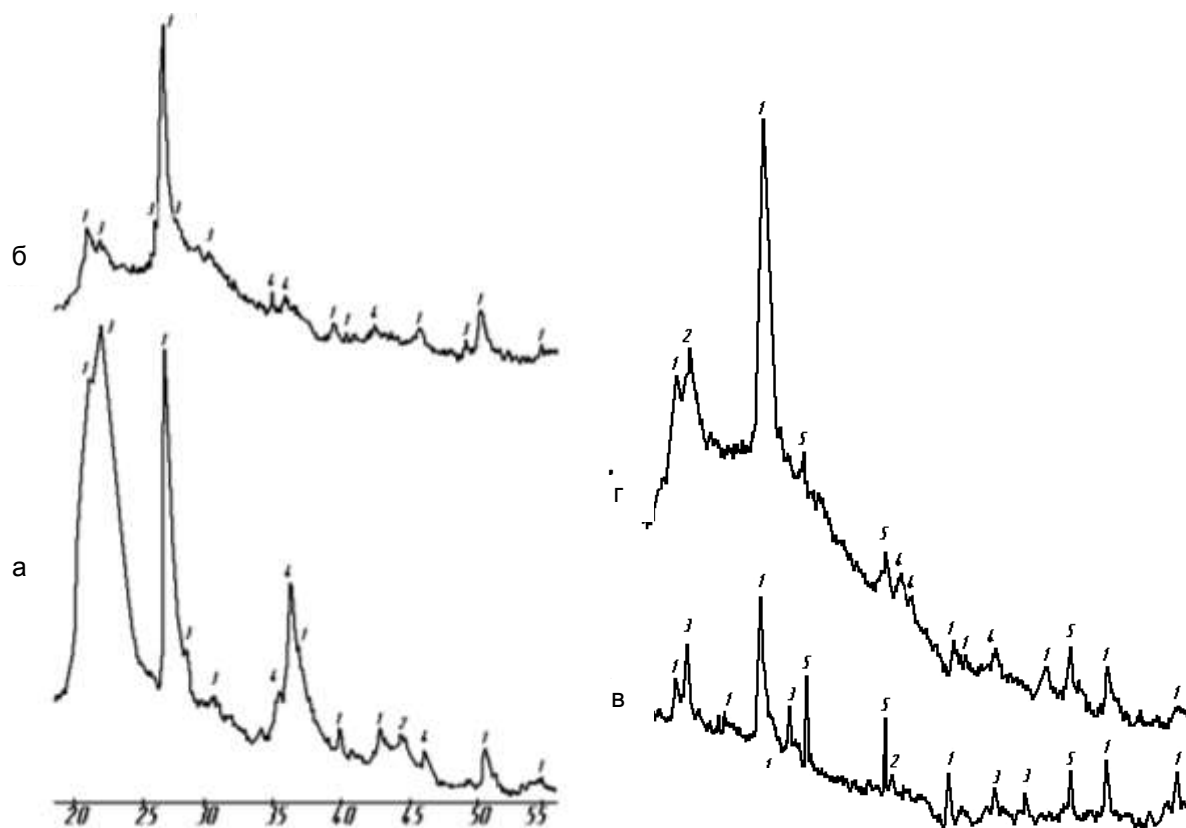


Рис. 5. Дифрактограммы: а – силицовой породы; б – силикатнатриевого связующего 30-минутного синтеза; в – корки гранулы ТИМ; г – межпоровой перегородки; 1 –  $\alpha$ -кварц; 2 –  $\alpha$ -кристобалит; 3 –  $\alpha$ -тридимит; 4 –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  – каолинит; 5 –  $\alpha$ - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$



## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеев В.И. Растворимое и жидкое стекло / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
2. Глуховский В.Д. Грунтосиликаты / В.Д. Глуховский. Киев: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре УССР, 1959. 128 с.
3. Иванов К.С. Шлакощелочные бетоны с применением жидких стекол из опаловых пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.С. Иванов. Тюмень, 2005. 22 с.
4. Кудяков А.И. Технология получения легкого зернистого материала на основе микрокремнезема / А.И. Кудяков, Т.Н. Радина, Н.А. Свергунова // Строительные материалы. 2002. № 10. С. 34-36.
5. Айлер Р. Химия кремнезема / Р. Айлер; пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч. 1. 416 с.
6. Павлова И.Л. Перспективы использования местного силицитового сырья в производстве строительных материалов / И.Л. Павлова, А.В. Страхов, Н.А. Иващенко // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2008. С. 68-69.
7. Васин Ю.П. Ускоренный метод определения модуля жидкого стекла по значениям водородного показателя / Ю.П. Васин, А.П. Никифоров // Строительные материалы. 1963. № 3. С. 35-36.

**Иващенко Юрий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Ivaschenko Yuriy Grigoriyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Building Products and Structures» of Saratov State Technical University

**Страхов Александр Владимирович** – аспирант, ассистент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Strakhov Aleksandr Vladimirovich** – Post-graduate Student, Assistant of the Department of «Building Products and Structures» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 24.06.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 666.972.16

**Д.К. Тимохин, Ю.Г. Иващенко, Е.А. Шошин**

### **ДОБАВКА-МОДИФИКАТОР ИЗ АЛКИЛЗАМЕЩЕННЫХ ФЕНОЛОВ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**

*Рассматривается возможность создания методом алкилирования модифицирующей добавки для цементных систем, а также ее влияние на составляющие минералов портландцементного клинкера, пластификацию и прочность цементно-песчаных композиций.*

Добавка-модификатор ФАС, фенолоацетоновая смола, алкилирование, лигносульфонаты, суперпластификатор С-3, прочность, пластификация, замедление гидратации.

D.K. Timokhin, Y.G. Ivaschenko, E.A. Shoshin

### ADDITIVE-MODIFIER FROM ALKYL-SUBSTITUTED PHENOLS FOR CONCRETE CEMENT

*The possibility of a method of alkylation of modifying additives for cement systems, as well as its effect on mineral components of Portland cement clinker, plasticizing and strength.*

FAS modifier-additive, phenol-acetone resin, alkylation, lignosulfonates, C-3 super plasticizer, strength, plasticization, slow hydration.

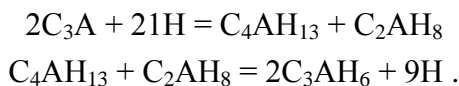
В развитии технологии бетона решающую роль сыграли сформированные в результате многочисленных исследований и подтверждённые практикой научные основы модифицирования бетонов органическими добавками-модификаторами цементных систем [1]. На наш взгляд, особого внимания заслуживает выявленная исследователями связь между пространственно-химическим строением молекул органических веществ, свойствами адсорбционных слоёв твёрдой фазы (уровни структуры от надмолекулярного до микроскопического и с дисперсностью в нм) и поведением цементных систем при твердении.

Проведенный анализ сырьевых ресурсов Поволжского региона, а в частности, Саратовской области и проведенные эксперименты показали, что продуктами для комплексного модификатора для цементных бетонов являются многотоннажный фенолсодержащий продукт и отходы с высоким содержанием ароматических веществ – фенолоацетоновая смола, в составе которой в качестве основных компонентов содержатся: фенол, пара-кумилфенол, ацетофенон.

Однако непосредственно фенолоацетоновая смола является слабым стабилизатором, обладающим, к тому же, рядом отрицательных свойств, – известная добавка «Апласан». Решение этих проблем требует предварительного фракционирования фенолоацетоновой смолы с удалением легколетучих фракций, последующего алкилирования фенолов бифункциональными кислородсодержащими органическими веществами и сульфирования серной кислотой. Полученный продукт смешивается с сульфатом и формиатом натрия для ускорения набора прочности в начальные сроки твердения и повышения прочностных характеристик цементных композитов [8].

Анализ возможных структур органических составляющих (рис. 1) полученного модификатора (ФАС), с учетом его экспериментально обнаруженной гидратационной активности, приводит к выводу, что модификатор обладает структурой, подобной лигносульфонатам, также содержащим сульфогруппу и алкилзамещенный фенольный фрагмент, в связи с чем, для более полного понимания механизма влияния модификатора на гидратационные процессы цемента, следует рассмотреть механизм влияния замедлителей-водопонизителей на процессы гидратации цемента и цементных минералов.

Рассматривая влияние модификатора (ФАС) на процессы гидратации трехкальциевого алюмината ( $C_3A$ ), следует отметить, что  $C_3A$  существенно влияет на сроки схватывания цемента. Поэтому большинство работ посвящено выявлению роли добавок водопонизителей-замедлителей на гидратацию  $C_3A$ . Известны две метастабильные формы гидроалюминатов – продуктов гидратации трехкальциевого алюмината: гексагональные фазы  $C_4AH_{13}$  и  $C_2AH$ , превращающиеся затем в стабильный кубический гексагидрат  $C_3AH_6$  по следующим схемам:



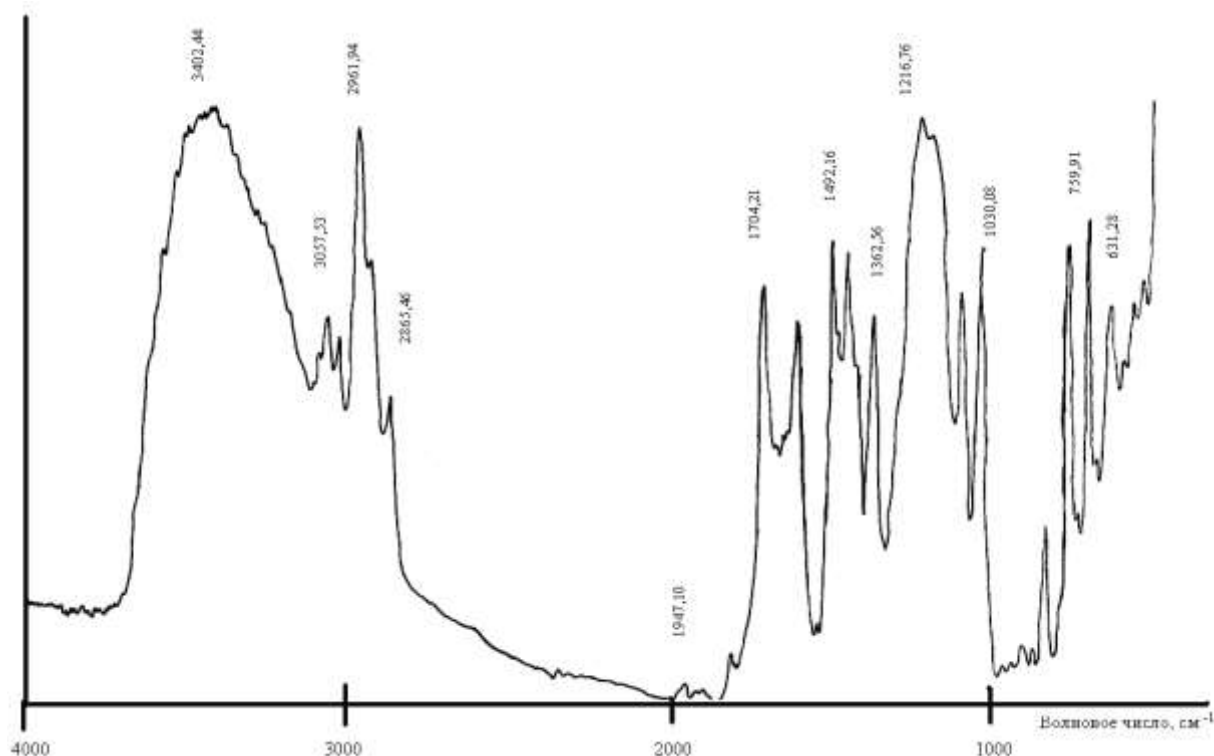


Рис. 1. ИК-спектрограмма модифицирующей добавки на основе алкилзамещенных фенолов (ФАС)

Степень превращения гексагональных гидратов в кубический  $C_3A_n$  зависит от температуры, водоцементного отношения и вида  $C_3A$ . Введение полученного модификатора (ФАС) замедляет оба процесса: и гидратацию  $C_3A$ , и превращение гексагональных гидроалюминатов в кубический гексагидрат [2], причем увеличение концентрации добавки усиливает процесс торможения гидратационной активности цемента.

Замедляющее действие органических веществ на гидратацию  $C_3A$  связано с их адсорбцией на поверхности метастабильных первично образующихся гексагональных фаз [3]. Данные о поверхностных комплексах органических веществ с гексагональными фазами получены с помощью ДТА [2]; обнаружен экзотермический эффект при  $400^\circ C$  в пастах из  $C_3A$  и 1% глюконата кальция, глюконовой кислоты или глюкозы. В исследовании [6] показано, что молекулы органических веществ могут проникать между слоями  $C_4AH_{13}$  и образовывать гомеоплярные поверхностные комплексы благодаря вандерваальсовым силам и водородным связям.

Многие вещества, обеспечивающие замедляющий гидратацию эффект, содержат карбонильные группы и гидроксильную группу в  $\alpha$ -положении [4]. Но сами карбоксил- и  $\alpha$ -гидроксилакарбонильные группы не оказывают существенного влияния на процессы гидратации  $C_3A$ . Замедляющее гидратацию  $C_3A$  действие присуще тем органическим веществам, которые содержат две и более гидроксильные группы. Возможно, это связано с их пространственным расположением в молекуле органического вещества.

Сорбция органических водопонизителей может тормозить оба процесса: и образование гексагональных гидроалюминатов кальция, и их превращение в кубическую фазу. Поэтому очень стабильные, плотные оболочки из гексагональных гидроалюминатов кальция, формирующиеся вокруг зерен  $C_3A$  и блокирующие их, также могут быть причиной замедления процессов гидратации этого минерала. При этом замедляющее действие органических водопонизителей коррелирует с общим количеством в их молекулах гидроксильных, карбоксильных и карбонильных групп [5].

Предполагается, что органические вещества, содержащие одну или больше кислородсодержащих функциональных групп, таких, как  $\text{HO-C-C=O}$ , в которых атомы кислорода расположены близко один от другого, способны образовывать в растворе хелатные комплексы с кальций-, алюминий-, железо- и силикат-ионами [3]. Поэтому комплексообразование может играть важную роль в механизме замедляющего действия этих веществ.

Для замедления процессов гидратации не обязательно присутствие  $\alpha$ -гидроксилкарбонильной группы [3]. Простые органические вещества, содержащие карбоксильную и гидроксильную группы или не имеющие  $\text{OH}$ -группы, не замедляют гидратацию  $\text{C}_3\text{A}$ , тогда как органические соединения с двумя и более гидроксильными группами замедляют гидратацию  $\text{C}_3\text{A}$ . По-видимому, вследствие этого органические вещества с карбоксильной и не менее чем с двумя гидроксильными группами (например, глицериновая и глюконовая кислоты) относятся к хорошим замедлителям гидратации.

Кальций-ионы способны координировать гидроксид-кислоты и двухосновные кислоты, но эти комплексы недостаточно стабильны. Не наблюдается также корреляции между константами устойчивости этих комплексов и их замедляющим гидратацию эффектом. Кроме того, в связи с низкой константой устойчивости комплексов и незначительной концентрацией органических добавок при высоком уровне концентрации кальций-ионов в водных растворах равновесная концентрация последних мало изменяется. Соответственно связывание кальций-ионов в комплексные соединения не может быть существенным фактором торможения ими процессов гидратации [7].

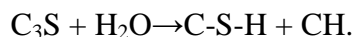
Эффект комплексообразования может играть более существенную роль для ионов алюминия и железа в связи с их малой концентрацией в растворе. Анализы водных растворов при гидратации цемента показали, что в присутствии сахаров концентрация этих ионов возрастает.

Образованием растворимых комплексов алюминат-ионов с органическими веществами можно объяснить начальное повышение активности при гидратации  $\text{C}_3\text{A}$  в присутствии малых количеств сахаров. Это может быть причиной того, что подобные дозировки сахаров выполняют функции ускорителей и эпизодически приводят к ложному схватыванию портландцемента [2].

Таким образом, общее замедляющее действие органических веществ представляет сложный комплекс процессов, включающих ускорение начальной стадии гидратации через комплексообразование с участием алюминатов и последующее замедление процессов гидратации благодаря стабилизации гексагональных фаз за счет адсорбции органических молекул на поверхности гидратов и образованию на их поверхности защитных пленок.

На основании работ различных исследователей можно расположить большинство наиболее распространенных добавок-водопонизителей по их замедляющему действию в следующий ряд: кислоты типа глюконовой > углеводы (такие, как глюкоза и сахароза) > лигносульфонаты. Рассматривая структуру полученного модификатора, как схожую со структурой лигносульфонатов, можно предположить, что добавка-модификатор ФАС в ряду будет находиться вместе с лигносульфонатами.

Трехкальциевый силикат гидратируется с образованием геля  $\text{C-S-H}$  и  $\text{Ca(OH)}_2$  по следующей схеме:



На кривых ДТА и ДТГ для паст из  $\text{C}_3\text{S}$  наблюдаются два эндотермических эффекта при  $\sim 150$  и  $500^\circ\text{C}$ , принадлежащих, соответственно,  $\text{C-S-H}$  и  $\text{CH}$ . Еще один эффект при  $800^\circ\text{C}$ , принадлежащий  $\text{CaCO}_3$ , может быть зафиксирован в том случае, если в процессе гидратации пасты из  $\text{C}_3\text{S}$  не была исключена ее карбонизация.

Добавки по их замедляющему гидратацию  $\text{C}_3\text{S}$  эффекту можно расположить в тот же нисходящий ряд, а именно: глюконовая кислота и подобные ей кислоты > углеводы (такие, как глюкоза) > добавка-модификатор ФАС.

Влияние добавки-модификатора ФАС на гидратацию  $C_3S$  определяется, главным образом, их концентрацией в жидкой фазе, а не соотношением между ними и  $C_3S$  [2]. По-видимому, торможение гидратации  $C_3S$  в раннем периоде обеспечивается при концентрации добавки выше 2,5 мг/мл. Замедляющее действие связано со стабилизацией поверхностного комплекса, включающего поверхность продуктов гидратации  $C_3S$ , добавку и воду, причем стабильность этого комплекса тем выше, чем больше концентрация добавки в жидкой фазе.

Зародышеобразование может являться одним из механизмов торможения гидратационных процессов. Во время индукционного периода, следующего за начальным коротким периодом интенсивной гидратации  $C_3S$ , контролирующим фактором процесса становится диффузия кальций-ионов от поверхности  $C_3S$  в объем жидкой фазы, что приводит к увеличению концентрации  $Ca^{2+}$ . Экранирование  $C_3S$  частицами С-S-H может создавать барьер для диффузии кальций-ионов.

Согласно гипотезе, выдвинутой в работе [2], силикат-ионы адсорбируются на зародышах кристаллизации СН и подавляют их рост, поэтому для компенсации указанного эффекта требуется сильное пресыщение относительно  $Ca(OH)_2$ . Кристаллизация СН и С-S-H начинается лишь к концу индукционного периода гидратации  $C_3S$ , когда достигается определенное пресыщение.

Согласно этой теории, любые вещества, тормозящие образование зародышей и рост СН, будут выступать в качестве добавок-замедлителей. Механизм действия органических веществ может быть охарактеризован по их способности образовывать хелатные соединения с кальцием (на зародышах кристаллизации СН). Большинство органических добавок-замедлителей обладают выраженной склонностью к хелатообразованию. Установлено, что органические добавки снижают степень кристалличности СН в гидратирующейся водной пасте  $C_3S$  [2]. В присутствии эффективных замедлителей их влияние можно связать с образованием относительно большого количества аморфных высокодисперсных частиц СН вследствие снижения размера растущих кристаллов СН.

Адсорбция добавки-модификатора ФАС на продуктах гидратации  $C_3S$  так же важна, как и на продуктах гидратации  $C_3A$ , и протекает по той же схеме. Однако в результате гидратации  $C_3A$  из жидкой фазы адсорбируется большее количество добавки, чем при гидратации  $C_3S$ , что может быть обусловлено более быстрым протеканием гидратации. Поэтому в системе  $C_3S$ - $C_3A$ - $H_2O$  в результате гидратации  $C_3A$  может происходить снижение содержания добавки [2].

Это свидетельствует о том, что чем выше отношение количества добавки-модификатора ФАС к  $C_3A$ , тем слабее способен  $C_3A$  противодействовать тормозящему влиянию добавки на гидратацию  $C_3S$ .

Эти результаты со всей очевидностью свидетельствуют о том, что относительное количество добавки-модификатора ФАС, адсорбированного алюминатными фазами в водной среде, располагается в следующий уменьшающийся ряд:  $C_3A > C_4AH_{13} > C_2AH_8 > C_3AH_6$ , причем этот ряд должен учитываться в качестве контролирующего фактора при оценке влияния добавки на процессы гидратации  $C_3S$  в исследуемой системе.

В целом можно сделать общие выводы относительно действия добавки-модификатора ФАС в обычной дозировке, т.е. 0,1-0,5% массы цемента при одинаковом водоцементном отношении:

- а) незначительно удлиняет или незначительно сокращает начальные сроки схватывания цемента (в зависимости от их состава и состава цемента);
- б) замедляет продолжительность периода до конца схватывания цемента и нарастание прочности цементных материалов в ранние сроки;
- в) несколько повышает прочность растворов и бетонов в более поздние сроки твердения.

Исследования реологических и прочностных показателей проводились на модифицированном цементно-песчаном растворе (Ц:П=1:3) на основе бездобавочного портландцемента М-400 ОАО «Вольскцемент». Пластифицирующая активность оценивалась по величине расплыва

цементного раствора. Прочность определялась на образцах-балочках  $40 \times 40 \times 160$  мм. Полученные данные сравнивались с добавкой суперпластификатора С-3, как наиболее распространенного в заводской технологии бетона. Известно, что оптимальная концентрация суперпластификатора С-3 находится в пределах 0,5-0,8% от массы цемента. Проведенные исследования показали, что оптимальный расход соответствует 0,1%-й концентрации (рис. 2, 3).

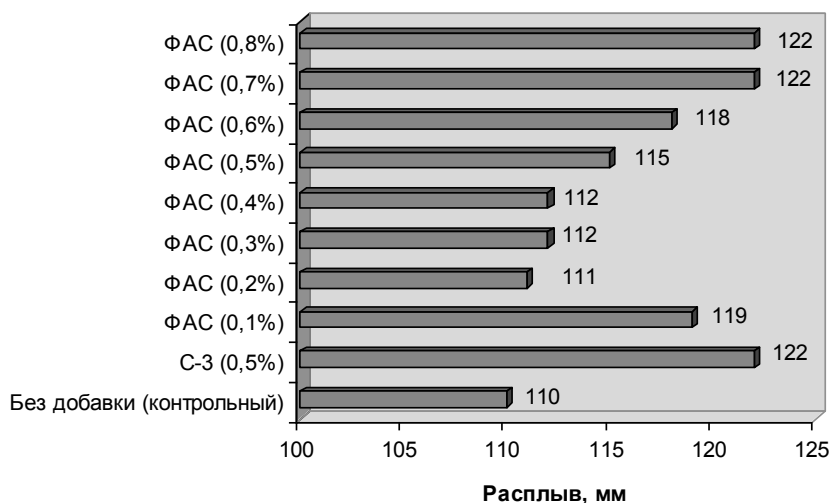


Рис. 2. Влияние добавки алкилированного фенольного отхода (ФАС) на пластичность цементно-песчаного раствора

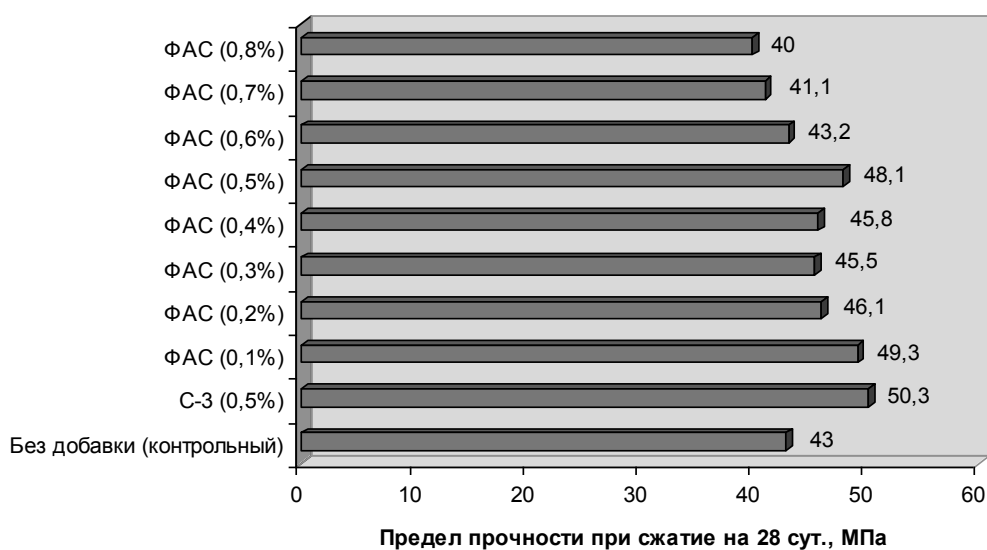


Рис. 3. Влияние добавки алкилированного фенольного отхода (ФАС) на прочность цементно-песчаного раствора

Реакция симметричного алкилирования по свободным орто- и параположениям замещенного бензольного кольца и при наличии в молекуле ароматического соединения двух свободных орто-, параположений позволило получить симметричные молекулы – т.е. соблюдается одно из условий эффективности получаемого пластифицирующего вещества [1-3, 5-7]. Образование олигомерного продукта, структура которого представлена строго чередующимися ароматическими и алифатическими звеньями, явилось основным результатом направленной реакции. Образующиеся продукты обладают выраженной пластифицирующей

способностью в цементных растворах при увеличении прочностных характеристик цементной композиции, имеют строение и свойства, не уступающие лигносульфонатам и суперпластификатору С-3.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
2. Рамачандран В.С. Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
3. Калетина М.А. Гидратация, твердение цементов и свойства бетонов с комплексными добавками на основе суперпластификаторов: дис. ... канд. техн. наук / М.А. Калетина. М., 1991. 209 с.
4. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л.И. Миркин. М.: Физматгиз, 1961. 863 с.
5. Исследование и применение химических добавок в бетонах: сб. науч. тр.; под ред. В.Г. Батракова, В.Р. Фаликмана. М.: НИИЖБ, 1989. 139 с.
6. Поспелова М.А. Регулирование кинетики твердения цементных систем химическими добавками: дис. ... канд. техн. наук / М.А. Поспелова. Белгород, 2003. 121 с.
7. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение: учеб. пособие для вузов / А.А. Абрамзон, Л.П. Зайченко, С.И. Файнгольд. Л.: Химия, 1980. 200 с.
8. Пат. РФ № 2373165 С1. МПК С04В 24/02. Комплексная добавка для бетонной смеси / Ю.Г. Иващенко, Д.К. Тимохин, А.И. Щукин и др.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет». № 2008121474/03; заявл. 27.05.2008; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 32. 4 с.

**Тимохин Денис Константинович** – ассистент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Timokhin Denis Konstantinovich** – Assistant of the Department of «Building Products and Structures» of Saratov State Technical University

**Иващенко Юрий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Ivaschenko Yuriy Grigoriyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Building Products and Structures» of Saratov State Technical University

**Шошин Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Саратовского государственного технического университета

**Shoshin Evgeniy Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Building Products and Structures» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 24.06.10, принята к опубликованию 23.09.10*

## ЭКОНОМИКА

---

УДК 383.33

**И.В. Бардина, С.Г. Землянухина**

### **РЫНОК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА В ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ РОССИИ**

*Раскрывается состояние рынка интеллектуального труда в связи с переходом российской экономики на инновационный путь развития, уточняются теоретико-методологические основы исследования посредством рассмотрения собственности на человеческий капитал.*

Интеллектуальный труд, рынок труда, человеческий капитал.

**I.V. Bardina, S.G.Zemlyanukhina**

### **INTELLECTUAL LABOR MARKET IN THE INNOVATIVE ECONOMY OF RUSSIAN FEDERATION**

*Intellectual labor market trends are revealed due to the Russian Federation economy transition to the innovative development. Theoretical and methodological principles of human fund ownership research are specified. The requirement of government regulation strengthening of such terms during the employment and migration is proved.*

Intellectual labor, labor market, human fund.

Основной мотив стратегии социально-экономического развития России до 2020 года состоит в переходе к инновационному развитию страны, что позволит преодолеть тенденцию к закреплению за нашей страной роли сырьевого придатка мировой экономики и возвратит Россию в число мировых технологических лидеров. Ключевые темы долгосрочной концепции – это инновационное развитие и новое качество человеческого капитала. Стратегия инновационного развития страны опирается на одно из наших главных конкурентных преимуществ – на высокий уровень образования населения, реализацию человеческого потенциала. Поскольку постиндустриальная экономика – экономика, базирующаяся на знаниях, конкурентоспособность страны зависит, прежде всего, от интеллектуальной составляющей трудовых ресурсов. Именно интеллектуальные ресурсы составляют основу и движущую силу развития в новой экономике.

В связи со становлением постиндустриального общества возрастает значимость творческих и интеллектуальных потенциалов. Происходит непрерывное увеличение объема необходимых специалисту знаний и умений, представлений и ориентаций, а отсюда и необходи-



мость в обновлении знаний, в переквалификации или же смене профессии. Инновационные процессы в профессиональной деятельности информационного общества, потребность в работнике гибком, мобильном, способном быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям, решать нестандартные задачи – все это повышает значимость творческих, интеллектуальных способностей человека и их использования в процессе интеллектуального труда. А поскольку включение интеллектуальных способностей в процесс труда происходит через рынок, постольку создается запрос на теоретико-методологические исследования в области рынка интеллектуального труда.

Повышение роли и значения рынка интеллектуального труда, увеличение его масштабов связаны с активизацией процессов научно-технического прогресса, интеллектуализацией труда и информатизацией современного общества, а также с увеличением числа выпускников школ, продолжающих свое обучение в высших учебных заведениях и нацеленных именно на интеллектуальный труд. Процесс рыночного реформирования в России сопровождался появлением платного образования как в негосударственных, так и в государственных вузах. Среди студентов, обучающихся в государственных вузах, 50,3% обучаются на платной основе, 49,7% – на бюджетной. Всего в государственных и негосударственных высших учебных заведениях обучалось в 2008 г. на платной основе 59,3% общего числа студентов [1, с.27-28]. Платное обучение привело к образованию рынка образовательных услуг, который является разновидностью рынка интеллектуального труда. Признание рынка труда и купли-продажи рабочей силы актуализировало проблему собственности на рабочую силу, а в связи с формированием инновационной экономики - такой её разновидности, как интеллектуальная собственность, собственность на интеллект. И именно на рынке интеллектуального труда отношения интеллектуальной собственности наиболее ярко проявляются и реализуются.

Исследование рынка интеллектуального труда должно опираться на ряд методологических предпосылок.

Во-первых, необходимо в анализе рынка интеллектуального труда исходить из того, что он является составной частью рынка труда, который, в свою очередь, является подсистемой рыночной системы в целом (системный подход).

Во-вторых, для выявления содержания категории рынка интеллектуального труда необходимо применить методы анализа и синтеза для того, чтобы объединить в единую систему понятия «интеллектуальный труд» и «рынок труда».

В-третьих, для исследования функционирования рынка интеллектуального труда необходимо использовать структурный анализ, позволяющий исследовать структурные элементы рыночного механизма, такие как спрос и предложение интеллектуального труда, их соотношение.

В-четвертых, необходимо обеспечить в анализе единство общего и специфического. Здесь можно заранее сказать, что рынок интеллектуального труда в России, с одной стороны – вовсе не уникальное явление, а с другой стороны – он обязательно связан с какими-то особенностями, характерными лишь для нашей страны.

Так как рынок интеллектуального труда является составной частью рынка труда, то основополагающим моментом в его характеристике как экономической категории будет определение рынка труда вообще безотносительно к его конкретной форме. На практике мы имеем дело с конкретно-историческими формами рынка труда, но в теоретическом исследовании выделение общих черт и признаков рынка труда вообще является одним из необходимых этапов исследования, что создает возможность лучше понять и специфику конкретно-исторических форм и причины перехода от одного качественного состояния рынка труда к другому. Ведь причины перехода заложены во внутренней структуре системы, в развитии её противоречий, а раскрытие этой структуры как раз и предполагает характеристику общего понятия рынка труда. С этой точки зрения, в качестве структурных элементов рынка труда вообще выступает рынок рабочей силы и рынок рабочих мест.

В определении рынка труда должны содержаться наиболее общие, сущностные черты, характеризующие это явление, которые не следует смешивать со специфическими свойствами, обусловленными особенностями того или иного этапа развития. С этой позиции вряд ли правомерно вносить в общее определение рынка труда такие черты как социальный мир и согласие, социальные гарантии и социальная защита [2, с.112-113]. Скорее, эти черты характеризуют специфику современного этапа развития трудовых отношений, причем в большей степени они характерны для более развитых стран, где в процессе эволюционного естественно-исторического развития они были завоеваны в процессе упорной борьбы рабочего класса за свои права. При этом необходимо иметь в виду, что эти черты часто провозглашаются, но не всегда реализуются, что они отнюдь не устраняют объективного противоречия между работодателем и работником, зачастую служат формой социальной демагогии, которая создает видимость единства интересов и согласия.

К определению понятия рынка труда возможны два подхода. Согласно расширительной трактовке рынка труда, все экономически активное население (занятые и безработные) является участником рынка труда, «главными составными частями рынка труда являются: совокупное предложение, охватывающее всю наемную рабочую силу из числа экономически активного населения, и совокупный спрос как синоним общей потребности экономики в рабочей силе» [3, с.126]. По мнению Л.А. Костина, участниками рынка труда являются как активно ищущие работу, так и занятые. Именно все экономически активное население находится на рынке труда и испытывает его воздействие. Кстати, работодатели часто ищут и находят необходимую им рабочую силу не среди безработных, а среди работающих, предлагая им более благоприятные условия труда и большую зарплату (или то и другое) [4, с.81]. Очевидно, что все экономически активное население испытывает воздействие рынка труда, так как именно оно заставляет работника снова и снова выходить на рынок, чтобы заключить более выгодную сделку, но пребывать на рынке труда людям, уже вошедшим в контакт с работодателями, совершившим акт купли-продажи рабочей силы, удовлетворенным своим рабочим местом и соответствующим требованиям работодателя, нецелесообразно.

Второй подход ограничивает рынок труда трудоспособными лицами, в тот или иной момент свободными от занятости – безработными. Сторонником этой концепции является А.Э. Котляр, который, подвергая критике расширительную трактовку рынка труда, отмечает, что данный подход не делает различий между сферой производства и сферой обращения. Расширение границ рынка труда сводит на нет сам процесс производства, процесс использования рабочей силы [5]. Недостатком расширительной трактовки рынка труда является и то, что она маскирует различия между занятыми и безработными и пытается «вернуть» на рынок труда ту часть экономически активного населения, которая уже перешла в категорию занятых, побывав на рынке труда. Деление экономически активного населения на занятых и безработных есть результат функционирования рынка труда.

Таким образом, рынок труда следует рассматривать как совокупность социально-трудовых отношений, складывающихся между работодателями и работниками по поводу купли-продажи рабочей силы и предстоящего труда. А рынок интеллектуального труда представляет собой совокупность социально-трудовых отношений, складывающихся между работодателями и высококвалифицированными работниками по поводу купли-продажи своей рабочей силы и предстоящего интеллектуального труда.

Товаром на рынке интеллектуального труда, так же как и на рынке труда, выступает рабочая сила, то есть способность человека к труду, а именно способность к интеллектуальному труду. Поэтому необходимо определить, какой труд можно считать интеллектуальным.

Современное понятие интеллектуального труда может быть определено и обосновано, исходя из его места в системе общественного разделения труда. Так как труд – сложное, системное и многоплановое явление, дифференцированное по определенным основаниям на отдельные виды и формы, то интеллектуальный труд необходимо соотнести с другими вида-

ми труда, причем соотнести по двум параметрам: во-первых, что объединяет его с другими видами труда; во-вторых, в чем выражается его специфика. Другими словами, необходимо соотнести интеллектуальный труд с умственным трудом, творческим трудом и традиционным трудом.

Отправной точкой в обосновании качественной специфики интеллектуального труда может явиться дифференциация труда на умственный и физический. Ранее умственный труд рассматривался преимущественно с точки зрения его привилегированного положения по отношению к физическому труду в плане добровольности участия, выбора и использования данной формы труда со стороны его субъектов, тогда как физический труд характеризовался в качестве едва ли не суровой необходимости. Господствующий количественный подход к анализу трудовых отношений обусловил взгляд на умственный труд как на труд непроизводительный, сопутствующий физическому труду. Ценность умственного труда признавалась преимущественно в его прикладном значении: в образовании, в науке, в культуре, в управлении и т.п.

Умственный труд и интеллектуальный труд зачастую отождествляются. Но понятие интеллектуального труда отличается от понятия умственного труда по целому ряду характеристик [6, с.42]. Интеллектуальный труд в большей степени персонализирован и персонифицирован как труд высокого качества и высокой эффективности. Он в большей степени, чем умственный труд, монополизирован определенной группой людей, способных к интеллектуальной деятельности. По своему характеру и содержанию интеллектуальный труд является информационно емким и высокопроизводительным. Средством интеллектуального труда являются интеллектуальные и коммуникационные возможности человека и общества. Он является принципиально новым синтезом природных и социальных возможностей человека. Это максимальная интенсификация его природных умственных данных, соединенная с максимально эффективной социальной организацией по использованию этих данных.

Интеллектуальный труд по своему характеру и содержанию в контексте интеллектуальной собственности и интеллектуального капитала не может рассматриваться преимущественно как свойство умственного труда. Умственный труд как антипод физического труда характерен для традиционных видов производства и для традиционного общественного разделения труда, при котором производство сводилось к производству материальных ценностей, а человек представлял собой элемент производства наряду с его техническими элементами. Умственный труд связан в основном с духовным производством, с гуманитарными проблемами. Преодоление данных ограничений умственного труда связано со становлением интеллектуального труда, который генетически, тем не менее, происходит из умственного труда. У интеллектуального труда нет своего антипода, как у умственного труда. Интеллектуальный труд базируется на синтезе и новом качестве труда вообще, на переходе труда индустриальной эпохи к труду эпохи информационных технологий.

Соотнося интеллектуальный и творческий труд, следует отметить, что в любом труде выделяют две компоненты. Первая компонента связана с трудом, выполняемым по заданной технологии, инструкции, регламенту, когда исполнитель не вносит в него никаких элементов новизны; творческий потенциал либо не задействован, либо используется на примитивном уровне (регламентированный труд). Вторая компонента связана с созданием материальных или духовных благ, а также новых методов производства (новационный, творческий труд). Преимущественно творческим является труд изобретателей, рационализаторов, ученых, педагогов, врачей, инженеров, организаторов производства, предпринимателей и др. Высшим проявлением творчества считается искусство, так как в нем, как и в изобретательстве, исключается повторение (копирование), кроме того, продукт творчества в этой сфере еще и индивидуален, являясь отражением личности автора.

Творческий и интеллектуальный труд сопутствуют друг другу. По мнению И. Бушмарина, «творческий труд сопряжен с постоянной необходимостью преодолевать устоявшиеся в той или иной области представления и стереотипы, нацелен на поиск принципиально но-

вых научных, технологических и организационных решений» [7, с.84]. Способность к творчеству – это способность создавать нечто новое, оригинальное. Творчество – это освободившийся от оков интеллект, рождающий новизну. Творчество является выражением активного интеллекта и активной интеллектуальной деятельности. Творческий труд по своей сути является интеллектуальным, он его неотъемлемая часть и главная составляющая, характеризующая качество интеллектуального труда.

Более точную характеристику соотношения творческого и интеллектуального труда дает современная система понятийного аппарата наук о труде, базирующаяся на представлениях об интеллекте и традиционности, на представлениях об интеллектуальном и традиционном труде. Разделение традиционного и интеллектуального труда и вычленение интеллектуального труда – важнейший момент в анализе труда.

Традиционный труд нередко считают полным аналогом физического труда. Но это далеко не так. Под традиционным трудом понимается физический труд с учетом интеллектуальной составляющей. Только в случае появления возможности игнорировать мыслительные компоненты всяких действий, формирующих труд, можно говорить о совпадении традиционного и физического труда. Но тогда традиционный труд – это абстракция; он не существует в явном виде.

Традиционный труд в современном понимании – это качественное однообразие выполняемых действий, количественная равномерность и ритмичность, постоянное место действия и т. д. Интеллектуальный труд позволяет реализовать человеческую уникальность и собственную неповторимость, он создает человека, мобильного во всех отношениях, начиная от места жительства и заканчивая личностными интересами. Но традиционный труд – это еще выполнение законченных комплексов действий, ответственность за то, что делается и сделано, корректировка трудовых процессов при условии изменения обстановки. Многие исследователи считают, что качественные различия традиционного труда и интеллектуального труда – это постоянство рамок технологии. В первом случае это жесткие, неизменные рамки, а во втором – это подвижные, неопределенные изначально рамки. В самом общем представлении интеллектуальный труд – это труд, порождающий знания, труд, требующий перекомбинирования старых элементов в новые конфигурации – в зависимости от того, что необходимо сейчас – по праву такие действия можно назвать инновационными, творческими.

Граница между традиционным и интеллектуальным трудом призрачна. Интеллектуальным будет являться труд, обладающий творческим характером и не ограниченный прошлым опытом.

Давая определение интеллектуальному труду, следует отметить, что любое понятие можно трактовать в узко-прагматическом или широко-системологическом смысле. Основная масса работ, непосредственно изучающих интеллектуальный труд, делает упор на узко-прагматическую сторону. Наиболее характерно такое положение для экономической литературы, где интеллектуальный труд рассматривается как мыслительный (умственный) процесс, осуществляемый при помощи таких усилий человека, которые направлены на производство товаров и услуг. Результаты интеллектуального труда представляют собой преимущественно (но не всегда) нематериальные объекты, чаще всего информацию. Основным рабочим органом, создающим продукт при интеллектуальном труде, является мозг, преобладают затраты умственной энергии, продуктом труда является изложенная на бумаге мысль (идея), для передачи другим или воплощенная в чем-то (на полотне, в мраморе, ноу-хау и др.). В физическом труде в отличие от интеллектуального работающим органом являются мышцы, преобладают затраты мышечной энергии, продуктом труда является материальный объект. Вместе с тем во всяком физическом труде присутствует умственная деятельность (человек выполняет физическую работу осмысленно), а интеллектуальный труд предполагает затрату физической энергии, ведь умственно работающий человек устает и физически, многие виды интеллектуального труда требуют большой физической нагрузки (труд скульптора, художника).

Интеллектуальный труд в широко-системологическом смысле – это труд, обладающий творческим характером и являющийся результатом интеллектуальных и духовных возможностей работника по созданию ранее неизвестного научного знания, оригинальных продукции и услуг, обоснованию оптимальных путей их продвижения на рынок наукоемкой продукции и услуг. Сущность интеллектуального труда заключается в том, что его результаты находят объективную форму выражения, «материализуются» в объектах интеллектуальной собственности. Отличительной особенностью интеллектуального труда является специфика его результатов, а отнюдь не собственно осуществление, хотя в этом процессе имеются заметные отличия, главное из которых – большая по сравнению с трудом физическим доля использования результатов так называемого прошлого труда, информации. Именно поэтому в процессах интеллектуального труда, в его продуктивности такую важную роль играют обучение, уровень и качество образования занятых им людей, их природные и приобретенные способности, квалификация. Принято выделять три основные сферы, в которых наиболее широко используется интеллектуальный труд: наука и научное обслуживание, образование и управление. Это не означает, что интеллектуальный труд не свойствен таким сферам, как здравоохранение, культура и искусство. Широко используется интеллектуальный труд и в промышленности.

Таким образом, под интеллектуальным трудом следует понимать труд, обладающий творческим характером и преобладанием затрат умственной энергии, связанный с переработкой информации и созданием нового знания, с социально высокоэффективным и высокотехнологичным производством. Субъектами интеллектуального труда выступают работники с высоким уровнем образования и квалификации.

Итак, рынок интеллектуального труда представляет собой совокупность социально-трудовых отношений, складывающихся между работодателями и высококвалифицированными работниками по поводу купли-продажи своей рабочей силы и предстоящего интеллектуального труда. Более точно, данный вид рынка труда можно назвать рынком высококвалифицированного и интеллектуального труда.

Механизм функционирования рынка высококвалифицированного и интеллектуального труда, как важнейший компонент и особенность данного рынка, есть взаимодействие и согласование интересов работодателей и трудоспособного населения, обладающего достаточным уровнем образования и квалификации для выполнения интеллектуального, высококвалифицированного труда, желающего работать по найму на основе информации, получаемой в виде изменений цены труда (функционирующей рабочей силы). Его структура включает следующие элементы: спрос на высококвалифицированный и интеллектуальный труд, предложение высококвалифицированного и интеллектуального труда, цена высококвалифицированного и интеллектуального труда (цена рабочей силы), конкуренция.

Спрос на высококвалифицированный и интеллектуальный труд (обобщенный покупатель интеллектуального труда) выражает потребность работодателей в высококвалифицированных работниках интеллектуального труда для производства товаров и услуг в соответствии со спросом в экономике. Спрос на высококвалифицированный и интеллектуальный труд складывается из числа вакансий и должностей тех работников интеллектуального труда, которым работодатель ищет замену.

Результатом функционирования рынка высококвалифицированного и интеллектуального труда является удовлетворенный спрос на высококвалифицированную рабочую силу. Удовлетворенный спрос на рабочую силу высококвалифицированного и интеллектуального труда отражают данные о количестве занятых, имеющих высшее профессиональное образование, так как именно получение образования создает предпосылки для формирования способностей человека к творческому (интеллектуальному) труду.

На конец ноября 2007 г. доля занятых, имеющих высшее профессиональное образование, составляла 27,8% в общей структуре занятых. В 2007 г. наибольшая доля работников с

высшим профессиональным образованием занята такими видами экономической деятельности, как финансовая деятельность – 66,7%, образование – 50,4%, государственное управление и обеспечение военной безопасности, обязательное социальное обеспечение – 39,3%, операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг – 38,9%, здравоохранение и предоставление социальных услуг – 28,2% [8]. Следовательно, такие сферы деятельности, как финансирование, образование и управление, можно считать сферами деятельности, где преимущественно используется интеллектуальный труд. Рабочая сила, занятая в указанных сферах, – самого высокого качества.

В промышленности доля занятых с высшим образованием значительно ниже: производство энергии, газа и воды – 23,2%, обрабатывающие производства – 18,8%, добыча полезных ископаемых – 16,5 [8]. Эти данные говорят о том, что в России в такой важной отрасли экономики, как промышленность, качество рабочей силы остается невысоким, и лишь 19,5% занятых в данной отрасли относятся к рынку высококвалифицированного и интеллектуального труда. Основная же масса работников имеют среднее профессиональное образование (26,3%), начальное профессиональное (24,9%) и среднее образование (22,5%), то есть выполняют низкоквалифицированную работу, в которой преобладает физическая составляющая труда.

Предложение высококвалифицированного и интеллектуального труда (обобщенный продавец интеллектуального труда) выражает определенное количество занятых наемных работников интеллектуального труда, обладающих соответствующими знаниями и квалификацией, а также ту часть трудоспособного населения, которая желает работать и может приступить к работе в тех сферах, где преимущественно используется высококвалифицированный и интеллектуальный труд, на основе рыночных принципов с учетом располагаемого дохода и возможностей использовать свое время. Предложение высококвалифицированного и интеллектуального труда включает в себя всех работников интеллектуального труда, которые, будучи незанятыми, ищут рабочее место, затем тех, кто хотя и имеет занятие, но не удовлетворен работой и подыскивает другое или дополнительное рабочее место, и, наконец, занятых интеллектуальным трудом, но рискующих потерять рабочее место.

В 1995 г. доля безработных, имеющих высшее профессиональное образование (предложение высококвалифицированного и интеллектуального труда), составляла 9,2% от общей численности безработных. Доля безработных, имеющих неполное высшее и среднее профессиональное, а значит тоже достаточно высокий уровень образования, составляла 2,3 и 28,7% соответственно. К 2008 году доля безработных, имеющих высшее профессиональное образование, составляла 11,5%, неполное высшее – 2,5%, среднее профессиональное – 18,8% [8]. Таким образом, за 12 лет доля интеллектуальной безработицы (безработицы лиц с высшим образованием) увеличилась на 2,3%, в то время как доля безработных лиц со средним профессиональным образованием значительно снизилась (9,9%).

Процесс снижения безработицы среди лиц со средним профессиональным образованием, как это ни странно, связан с интеллектуализацией труда и разросшейся общественной интеллектуальной функцией. Эта функция развивает труд определенного типа – стандартизированный массовый интеллектуальный труд, предполагающий взаимозаменяемость его исполнителей, шаблонное воспроизводство уже имеющихся «образцов» в массовых масштабах, рутинный и частичный характер самой интеллектуальной функции, дробящейся между рядом исполнителей, которые теряют из виду связь целого и в этом отношении вполне подобны фигуре «частичного рабочего» на производстве [9]. Увеличение доли такого труда в общественном производстве способствовало сокращению безработицы лиц со средним профессиональным образованием, способных выполнять такие виды труда.

Для функционирования рынка высококвалифицированного и интеллектуального труда большое значение имеет действие факторов, определяющих спрос и предложение на высококвалифицированный и интеллектуальный труд. Среди факторов, определяющих плате-

жеспособный спрос на высококвалифицированную рабочую силу, центральное место занимают: цена интеллектуального труда, заработная плата специалистов высшей квалификации, производственные технологии (их наукоемкость), финансовое состояние фирм (предприятий) и уровень их доходности; ожидания предпринимателей относительно будущих цен на продукты интеллектуального труда и собственных доходов; спрос на продукт, при производстве которого используется высококвалифицированный и интеллектуальный труд, и др. В свою очередь, величина предложения высококвалифицированной рабочей силы зависит от цены интеллектуального труда (заработной платы), расходов на профессиональное воспроизводство рабочей силы высшей квалификации (на подготовку специалистов), расходов на физическое воспроизводство в зависимости от возраста, состояния здоровья, семейного положения, ожидания специалистов в отношении будущих условий работы и их заработка (специалисты могут ориентироваться на рабочие места, где требуется более низкая квалификация, но выше оплата труда), масштабов миграции рабочей силы высшей квалификации, выезда на работу за границу или притока иностранных специалистов.

И.Ф. Зиновьев, рассматривая функционирование рынка интеллектуального труда, обращает внимание на «своеобразные циклические процессы». На получение высшего образования требуются годы, а это ведет к запаздыванию ответной реакции рынка на изменение спроса. Возрастающий спрос способствует кратковременному росту разницы в оплате труда и увеличивает число желающих получить высшее образование. Однако после получения дипломов заработки молодых специалистов оказываются ниже, что влечет за собой разочарование в получении высшего образования. Уменьшение поступающих в вузы, в свою очередь, сократит в будущем приток высококвалифицированных специалистов, а это вновь повлечет за собой увеличение спроса, и заработки вновь возрастут [10, с.36]. Таким образом, цикличность, обусловленная необходимостью длительного обучения (получение высшего образования), для выхода на рынок высококвалифицированного и интеллектуального труда, является одной из особенностей функционирования данного рынка.

Еще одна особенность функционирования рынка высококвалифицированного и интеллектуального труда – более высокий уровень оплаты по сравнению с трудом, не требующий специальной подготовки в высших учебных заведениях.

В российской экономике эта зависимость достаточно противоречива. Заработная плата имеет ярко выраженную тенденцию к дифференциации по различным видам деятельности, уровню квалификации и индивидуумам. Так, в 2008 г. самый высокий уровень среднемесячной номинальной начисленной заработной платы был у работников, занятых в сфере финансовой деятельности (41488,8 рублей). Однако в некоторых отраслях промышленности, где доля лиц с высшим образованием значительно ниже, чем в сфере образования, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата в почти 4 раза больше (в 2008 г. среднемесячная номинальная начисленная заработная плата в сфере добычи топливно-энергетических полезных ископаемых составляет 38943,4 рублей, в то время как в сфере образования – 11303,2 рубля [8]).

Таким образом, рынок высококвалифицированного и интеллектуального труда, подчиняясь в целом законам спроса и предложения, по многим принципам механизма своего функционирования представляет собой специфический рынок, имеющий ряд существенных отличий от других товарных рынков. Здесь регулятором являются факторы не только макро- и микроэкономические, но и социальные и социально-психологические, отнюдь не всегда имеющие отношение к цене рабочей силы (заработной плате). В реальной экономической жизни на динамику рынка высококвалифицированного и интеллектуального труда оказывает влияние целый ряд факторов. Так, предложение высококвалифицированной рабочей силы определяется, в первую очередь, демографическими факторами: уровнем рождаемости, темпами роста численности трудоспособного населения, его половозрастной структурой. Помимо демографического важным фактором динамики данного рынка является степень эконо-

мической активности различных демографических и этнических групп трудоспособного населения, их доступ к высшему образованию. Со стороны спроса, главным фактором, оказывающим влияние на рынок высококвалифицированного и интеллектуального труда, является состояние экономической конъюнктуры, фаза экономического цикла.

Специфика рынка интеллектуального труда состоит в том, что отношения купли-продажи складываются между собственником интеллектуального капитала (знаний и интеллектуально-творческих способностей человека) и собственником вещественных средств производства. Наемный работник превращается в собственника интеллектуального капитала как специфического средства производства инновационной экономики, выступает его носителем (неотделим от него) и постепенно начинает играть роль субъекта рынка интеллектуального труда. В качестве собственника человеческого (интеллектуального) капитала наемный работник в состоянии уже сам согласовывать условия своего найма. Возрастание значимости собственности на интеллект характеризует новое качественное состояние личного фактора производства и тип трудовых отношений информационной экономики, который придает специфику характеру и элементам трудовых отношений, конкретизируют их содержание.

По мере того, как повышаются требования к работнику по уровню образования и квалификации, по мере того, как сам работник становится не в состоянии обеспечить воспроизводство рабочей силы требуемого уровня, происходит усиление участия государства в формировании рабочей силы (образование и профессиональная подготовка, программы социальной защиты и стимулирования роста занятости), в государственном законодательном регулировании использования рабочей силы, то есть прослеживается тенденция усиления общественного присвоения рабочей силы. Государство осуществляет определенные функции по воспроизводству и распоряжению рабочей силой, по формированию человеческого капитала, выступает как субъект собственности на рабочую силу. Собственность на рабочую силу становится разделенной, функции владения, распоряжения, использования разделяются между носителем рабочей силы и государством. В связи с этим обеспечение нормального процесса воспроизводства рабочей силы становится прерогативой и государства.

Управление формированием человеческого капитала предполагает четкое определение того, кто и на каких условиях может получать выгоды от инвестирования. Государство как основной инвестор сферы образования должно иметь четкий механизм реализации своего права на получение отдачи от инвестиций в человеческий капитал. Это касается и трудоустройства выпускников профессиональных учебных учреждений и регулирования миграционных процессов. С точки зрения общегосударственных интересов высокая конкурентоспособность отечественных трудовых ресурсов без возможности их реализации в своей стране приводит к миграции, утечке наиболее квалифицированных работников за пределы страны, а, следовательно, к снижению конкурентоспособности страны, сокращению имеющегося в стране человеческого капитала. Высокий уровень конкурентоспособности трудовых ресурсов страны является одним из её конкурентных преимуществ, что повышает инвестиционную привлекательность страны. В связи с переходом к инновационному развитию задача состоит в том, чтобы создать условия для работы в нашей стране талантливым специалистам, открытым к прогрессу и способным создавать новое.

Государство как субъект воспроизводства интеллектуальных ресурсов должно иметь механизм реализации отношений государственной собственности на человеческий капитал (рабочую силу) и на рынке труда. Переход на инновационный путь развития обуславливает необходимость усиления роли государства в процессах не только формирования и использования человеческого капитала, но и его обмена. Механизм рынка труда способствует формированию конкурентных преимуществ трудовых ресурсов через расширение каналов предоставления информации о ситуации на рынке, посредством предоставления различных услуг (переквалификация, дополнительное образование, консультирование и т.д.), а также за счет развитой системы регулирующих норм. Регулирование государством рынка интеллектуального труда в условиях гло-



бализации должно быть направлено на сбережение национальных интеллектуальных ресурсов, установление сопоставимого с развитыми странами уровня оплаты интеллектуального труда.

Если с этих позиций проанализировать концепцию стратегии социально-экономического развития России до 2020 года, то можно найти подтверждение тому, что государство берет на себя обязательства по управлению и обеспечению воспроизводства человеческих ресурсов на макроуровне, что происходит усиление государственного регулирования процессов воспроизводства рабочей силы, формирование и реализация государственной собственности на рабочую силу. Так, приоритетами государственной политики объявляются инвестиции в человеческий капитал, подъем образования, науки, здравоохранения, создание условий для эффективного использования квалифицированного труда и повышения качества человеческого капитала. Применительно к рынку интеллектуального труда формирование и реализация государственной собственности на рабочую силу выражаются в том, что государство, инвестируя средства на формирование и развитие интеллекта совокупного работника общества, выступает в качестве субъекта рынка интеллектуального труда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная аккредитация учреждений высшего, среднего и дополнительного профессионального образования в 2008 году: мониторинговый (аналитический) отчет. М., 2009. 163 с.
2. Экономика труда. Современное состояние, проблемы и тенденции развития: монография / под ред. С.Н. Трунина, И.В. Гелеты, Н.Р. Молочникова. Краснодар: Изд-во КубГУ, 2002. 476 с.
3. Экономика труда и социально-трудовые отношения: учебник / под ред. Г.Г. Меликьяна, Р.П. Колосовой. М.: МГУ, 1996. 489 с.
4. Костин Л.А. По поводу некоторых понятий теории рынка труда / Л.А. Костин // Человек и труд. 1998. № 12. С. 80-85.
5. Котляр А.Э. О понятии «рынок труда» / А.Э. Котляр // Вопросы экономики. 1998. № 1. С. 15-20.
6. Сосулина Т.В. Социальные проблемы рынка интеллектуального труда: дис. ... канд. социол. наук / Т.В. Сосулина. Саратов: СГТУ, 1999. 175 с.
7. Бушмарин И.В. Интеллектуализация труда в странах с рыночной экономикой / И.В. Бушмарин // Проблемы теории и практики управления. 1994. № 2. С. 83-92.
8. Данные официального сайта Федеральной службы государственной статистики. <http://www.gks.ru>.
9. Мамардашвили М.К. Как я понимаю философию / М.К. Мамардашвили. М.: Прогресс-культура, 1992. 415 с.
10. Зиновьев И.Ф. Функционирование рынка интеллектуального труда / И.Ф. Зиновьев // Культура народов Причерноморья. 1997. № 2. С. 30-37.

**Бардина Ирина Васильевна** – аспирант кафедры «Экономическая теория и экономика труда» Саратовского государственного технического университета

**Bardina Irina Vasiliyevna** – Post-graduate Student of the Department of «Economic Theory and Labor Economics» of Saratov State Technical University

**Землянухина Светлана Георгиевна** – доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономическая теория и экономика труда» Саратовского государственного технического университета

**Zemlyanukhina Svetlana Georgiyevna** – Doctor of economic Sciences, Professor of the Department of «Economic Theory and Labor Economics» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 22.07.10, принята к опубликованию 30.09.10*

Д.С. Денисов, О.И. Кузнецов

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*Статья посвящена проблеме ориентации российского профессионального образования в условиях современной рыночной экономики. Автор отмечает, что на данном этапе подготовка кадров в нашей стране не отвечает требованиям, которые предъявляет рынок труда к специалистам. Намечившийся дисбаланс между предложением и потребностью в квалифицированных кадрах не может быть ликвидирован без внесения инноваций в профессиональное образование.*

Кадры, профессиональная подготовка, образование.

D.S. Denisov, O.I. Kuznetsov

## SYSTEM REORGANIZATION BASIC DIRECTIONS OF VOCATIONAL TRAINING IN THE MODERN CONDITIONS

*The article is dedicated to the problem of the Russian vocational training orientation in the conditions of modern market economy. The author marks that nowadays professional training in our country does not meet the requirements of the labor market. Outlined imbalance between the offer and the requirement for qualified personnel cannot be liquidated without entering the innovations into vocational training.*

Frames, training, education.

Научно-технический прогресс существенно меняет представление о труде всех категорий работников в сторону повышения требований к их профессиональной подготовке. Производству, где автоматизированы многие процессы и применяются высокие технологии, необходимы не только квалифицированные менеджеры, но рабочие нового типа, уровень профессиональных знаний и компетенций которых близок к уровню технических специалистов. Также уходит в прошлое понятие «узкая специализация», новая реальность требует от работника решения все более сложных производственных задач в постоянно изменяющейся среде, что требует от него нового уровня профессиональной подготовки. От современного рабочего требуется уметь в кратчайшие сроки освоить новое оборудование, быть способным проявить инициативу, в то же время нести ответственность за вверенное дорогостоящее оборудование, быть открытым для всего нового: производства новой продукции, изменения технологии, освоения смежной профессии и смены работы.

И, если потребность в таких работниках очевидна, то возникает вопрос: как существующая система подготовки кадров справляется с поставленной задачей? В Российской Федерации решение этой проблемы возложено на систему профессионального образования, в которую входят высшие, средние специальные и профессионально-технические учебные заведения. Но качество подготовки специалистов не соответствует требованиям современности. Президент Российской Федерации Д.А. Медведев в своем Послании Федеральному Со-

бранию сделал акцент на возрождении отечественной образовательной системы как необходимым условием формирования новых профессиональных кадров [1], признав при этом, что позиции, которые занимала российская подготовка, утрачены.

За последние двадцать лет в системе отечественного образования произошли значительные изменения: появились коммерческие государственные и негосударственные учебные учреждения, изменился состав преподаваемых предметов, осуществляется переход к Болонской системе преподавания предметов. Число учебных учреждений и обучающихся постоянно росло. Но само по себе это не гарантирует роста уровня образования. Также произошла девальвация высшего образования – из гаранта престижной высокооплачиваемой работы оно превратилось в некую номинальную величину, необходимую для подтверждения статуса соискателя.

Стоит сказать, что проблема нехватки квалифицированных рабочих кадров состоит не только в низком уровне подготовки специалистов, но и в общем снижении численности населения нашей страны. Общей тенденцией для России в годы реформ стало снижение численности населения. Оно сократилось с 148,2 млн человек в 1991 г. до 142 млн человек в 2008 г. [2], упав ниже показателей 1985 года (183,5 млн человек). Остро встала проблема сокращения числа родившихся. Вместе с тем, коэффициент смертности населения продолжает оставаться критическим для развитой страны. В 2008 г. он составил 14,6, что несколько меньше соответствующих показателей за предыдущие годы. Эти тенденции также характерны и для Саратовской области: в 2008 г. население региона составляло 2 млн 584,1 тыс. человек, что на 4,6% меньше, чем в 1993 г. Тенденция убыли населения, связанная с ростом потребностей, характерная для развитых стран, только отчасти объясняет сокращение численности населения нашей страны. Ключевым фактором в этом процессе стало падение уровня жизни в результате проведенных реформ.

Все эти тенденции формируют ряд требований к системе подготовки кадров:

- система образования обязана гарантировать такой уровень подготовки, который позволил бы квалифицированному специалисту приступить к выполнению своих обязанностей непосредственно после выпуска из учебного заведения;
- система образования должна быть ориентирована на потребности рынка труда, а не следовать за ложным спросом на престижные специальности, благодаря которому мы наблюдаем очевидный перекося в сторону экономики и юриспруденции в ущерб техническим профессиям;
- связь между государственной системой подготовки кадров и работодателями должна стать прочнее, что повысит практическую ориентированность образования;
- работодатели должны участвовать в формировании «заказа» на подготовку специалистов;
- интеграция учебных подразделений компаний-работодателей и государственной системы подготовки должна осуществляться с учетом интересов работника, компаний и государства.

Документами, регламентирующими государственную политику в сфере образования, являются Федеральная целевая программа развития образования [3], Национальная доктрина образования в Российской Федерации и Концепция модернизации российского образования на период до 2020 г.

Федеральная целевая программа развития образования выделяет ряд важных проблем, связанных с подготовкой специалистов во всех уровнях системы профессионального образования. Наиболее остро стоит вопрос кадрового обеспечения образовательных учреждений, так как все еще сохраняется устойчивая тенденция старения педагогических работников образовательных учреждений всех типов и видов. Это связано, по нашему мнению, не столько с уровнем оплаты труда и социального престижа профессии педагога, сколько со слабой социальной защищенностью педагогических и научно-педагогических работников образовательных учреждений.

Первая задача, которая стоит перед современным российским профессиональным образованием – это обеспечение инновационного характера базового образования: обновление структуры сети образовательных учреждений в соответствии с задачами инновационного развития, в том числе формирование федеральных университетов, национальных исследовательских университетов, обеспечение компетентного подхода, взаимосвязи академических знаний и практических умений, увеличение объема средств, направляемых на финансирование научных исследований в вузах, развитие вариативности образовательных программ, обновление механизмов финансирования образовательных учреждений в соответствии с задачами инновационного развития, обеспечение увеличения оплаты труда работникам образовательных учреждений в зависимости от качества и результатов их труда до уровня, сопоставимого с уровнем оплаты труда в сфере экономики и выше его.

Среди проблем можно также выделить «утечку мозгов» в образовательных учреждениях различных уровней. Эта «утечка» обусловлена неконкурентоспособностью условий, которые предлагают образовательные учреждения как работодатели. Данная тенденция ослабляет потенциал не только отечественного образования, но и экономики в целом, лишая ее наиболее активной части населения и снижая уровень общей профессиональной подготовки.

Также трудоспособная молодежь преимущественно не обучается в учреждениях среднего профессионального образования, предпочитая ему более «престижное» высшее, что неизменно приводит к снижению квалификационного уровня рабочего и технического персонала.

Взаимодействие учреждений профессионального образования с организациями промышленности, опытными и экспериментальными базами продолжает ухудшаться, что неминуемо приводит к снижению качества учебного процесса, практической подготовленности будущих специалистов, а также к увеличению отрыва предоставляемых знаний, умений и навыков и непосредственных потребностей работодателей.

Во многом решению данных проблем должна помочь Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, регламентирующая переход к инновационному образованию [4]. Основной целью государственной политики в области образования продекларировано повышение доступности качественного образования, соответствующего требованиям инновационного развития экономики, современным потребностям общества и каждого гражданина.

Данные изменения полностью отвечают концепции «непрерывного образования», описанной в трудах российского педагога Н.Н. Нечаева [5, с.56]. Конкурентоспособность стран в современных условиях при росте значимости человеческого капитала зависит уже не только от деятельности традиционных образовательных институтов, но и от возможности постоянно повышать уровень и расширять спектр компетентностей, используемых в экономике и социальной жизни. Граждане, получившие профессиональное образование и желающие повысить уровень своих навыков или получить новые, являются ключевым ресурсом экономики. Освоение новых навыков и знаний становится для граждан самостоятельной потребностью, а для экономики – растущим сектором услуг и ресурсом ее развития.

В данном виде перспективной видится интеграция корпоративного и государственного образования. Специфика корпоративных образовательных программ – узкая специализация на функциональных областях производства, что позволяет специалистам компании решать практические задачи, стоящие в настоящее время. Специфика классической системы образования – в системном подходе к подготовке специалиста.

На практике корпоративное образование нередко сводится к узконаправленной подготовке специалистов в короткие сроки, без учета перспектив развития, как производства, так и каждого конкретного специалиста. Однако эффективное корпоративное образование на современном предприятии должно обеспечивать непрерывность образовательного процесса,

создавать социально-профессиональные и педагогические условия, обеспечивающие эффективный профессионально-личностный путь каждого сотрудника и переход производства на инновационные технологии.

Корпоративный образовательный процесс должен соответствовать целям компании, быть информативно насыщенным, учитывать потребности обучаемых, не отрывать сотрудников на длительное время от работы, а также сочетать в себе различные формы активности. Ведущей тенденцией в образовательной стратегии современной корпорации должно стать сотрудничество высшего, среднего профессионального учебного заведения и производственной, научно-исследовательской или проектной корпорации. Непрерывный корпоративный образовательный процесс является связующим звеном между обучением в вузе и обучением в процессе профессиональной деятельности, то есть обеспечивает непрерывность и преемственность при переходе к профессиональной деятельности. При этом условия, обеспечивающие непрерывность и преемственность образовательного процесса в системе вуз-производство, относятся к содержанию образования, педагогическим технологиям, профессионально-личностным потребностям субъектов образовательного процесса, а также корпоративным целям. Предприятия должны сами принимать активное участие в подготовке своих будущих кадров. В свою очередь, вуз обеспечивает выпускникам фундаментальное академическое образование, но не всегда располагает высококвалифицированными кадрами в какой-либо конкретной области, способными дать им практические навыки для того, чтобы они могли сразу и полноценно включиться в профессиональную деятельность.

Взаимодействие вуза и предприятия может носить различный характер. Можно выделить следующие уровни взаимодействия:

- первичный – ситуативное взаимодействие, направленное на ознакомление с общими особенностями предприятия или вуза, в рамки которого не входит разработка каких-либо долгосрочных планов о сотрудничестве. Например, приглашение студентов (в качестве слушателей на научно-практическую конференцию на предприятии или приглашение молодых специалистов на научный семинар студентов и аспирантов в вузе);
- базовый – периодическое взаимодействие для подготовки группы специалистов, ориентированных на решение специализированных задач в определенной производственной отрасли;
- глубокий – характеризуется устойчивыми взаимосвязями вуза и предприятия, работой по стратегическим планам, эффективным как для производственной отрасли, так и вуза, индивидуализацией образовательного процесса. Взаимодействие вуза и корпорации на элитном уровне позволяет создавать устойчивые организационные структуры.

С момента зарождения корпоративного образования и до настоящего времени интеграция интеллектуальных ресурсов с другими образовательными учреждениями имеет большее распространение, поскольку не связана с такими крупными финансовыми затратами, как создание абсолютно новой внутрифирменной образовательной структуры. Надо заметить, что содержание собственного университета – дело достаточно затратное и по силам не каждой корпорации. На обеспечение работы корпоративного университета в средних западных компаниях выделяют не менее 1-2% в год от оборота компании. В крупнейших корпорациях эта цифра доходит и до 5%.

Система непрерывного корпоративного образования может стать инструментом дифференциации системы высшего профессионального образования не только по специализации, но и по уровню образования в соответствии с индивидуальными способностями обучающихся, потребностями рынка труда и реальными возможностями вуза, что позволит многократно повысить эффективность профессионального образования в стране.

Непрерывное корпоративное образование обеспечивает условия для ранней ориентации на конкретную высококвалифицированную профессиональную деятельность, отсутствие продолжительной стадии послевузовской адаптации, гарантированный высокий материаль-

ный уровень и ясные перспективы профессионального роста для наиболее талантливых и профессионально мотивированных выпускников вузов.

Особенностью корпоративного обучения является возможность в течение короткого срока освоить значительный объем теоретического материала, а также отработать навыки его практического применения. В корпоративном обучении доминирует узкоспециализированная подготовка, полученные знания, как правило, не могут быть использованы в другой предметной области и не способствуют углублению знаний, развитию интеллектуальных способностей. Профессионально-личностное развитие специалиста в условиях корпоративного образования – это процесс, способствующий достижению оптимального соотношения между комплексом требований, предъявляемых к профессии в целом, их реализацией в профессиональной деятельности и личности специалиста. В корпоративное обучение следует внедрить, наряду с привычными формами обучения, т.е. тренингами и семинарами, такие формы и методы работы как научно-практические конференции, круглые столы, деловые игры. Данные методы позволяют знакомиться с исследованиями коллег, обмениваться опытом и обсуждать актуальные вопросы.

Примером, сочетающим в себе такую интеграцию корпоративного и классического образования, можно считать корпоративный университет. Что является причиной для создания корпоративных университетов? В основном приводятся четыре типичные причины.

Во-первых, необходимость реализации нового бизнеса на основе слияния, поглощения компаний, введения в портфель новых видов бизнеса или новых продуктов. Классический пример – Корпоративный университет Даймлер-Бенц, который позволил после слияния компании с Крайслером оптимизировать и слить воедино менеджмент нового гиганта автомобильной индустрии. Студентами учебного заведения стали все пять тысяч менеджеров высшего и среднего звена компаний, которые обучались по специально адаптированным под поставленную задачу программам.

Во-вторых, необходимость адаптации новых менеджеров в компании и удержание ценного персонала. Этот подход характерен для компаний с высокой текучестью кадров. В качестве примера можно привести Центр развития руководящего персонала Вольфсберг – учебный центр Объединенного банка Швейцарии. Текучесть кадров в банковской сфере за последние несколько лет установилась на уровне 20-25% в год. Для решения еще одной важной задачи – поддержания репутации банка – сотрудники должны придерживаться установленных правил, кодекса поведения. В течение 2000 года из 30-тысячного штата банка 13 400 человек обучились по программе подготовки дипломированных специалистов, 7400 сотрудников прошли специализированное техническое обучение, 5125 – прослушали курс развития лидерских и управленческих навыков.

В-третьих, необходимость сохранения культурного наследия, укрепление и развитие ослабевшей корпоративной культуры. Введение в обучающие программы предметов, связанных с общечеловеческой культурой, с историей становления компании, с развитием и поддержанием корпоративности, имеет в виду решение основной задачи – приведение целей и принципов корпорации в соответствие с целями и ценностями отдельной личности.

В-четвертых, необходимость внедрения механизмов непрерывного совершенствования персонала.

Задача университета не ограничивается просто повышением квалификации сотрудников. Для этого дешевле и проще использовать тренинговую компанию, обеспечить обучение сотрудников в специализированном вузе или организовать центр дистанционного обучения.

У корпоративного университета более масштабные задачи. Предполагается, что он должен повышать конкурентоспособность организации и помогать в реализации ее долгосрочной стратегии. Фактически, вместе с постановкой системы внутрикорпоративного обучения формируется и сама компания, ее управленческая структура. Корпоративный университет строит планы своей работы в соответствии с единой идеологией, на перспективу. Спе-

специалисты по стратегическому планированию анализируют потребности внутреннего рынка, перспективы бизнеса, возможные направления инвестиций, формируют бизнес-планы.

Итак, интеграция фундаментальных знаний преподавателей вузов с практическим опытом сотрудников корпораций является одним из путей обеспечения непрерывности образования. Данное сотрудничество придает дополнительный импульс процессам подготовки специалистов для различных отраслей, оказывает позитивное влияние на всю систему высшего профессионального образования, позволяет показать важность фундаментальной подготовки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Послание Президента РФ Дмитрия Медведева Федеральному Собранию Российской Федерации // Российская газета. Федеральный выпуск № 5038 (214) от 13 ноября 2009 г.
2. Россия в цифрах 2008. М.: Статистика России, 2008.
3. Федеральный закон «Об утверждении Федеральной программы развития образования» от 10 апреля 2000 г. № 51-ФЗ.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р (в ред. распоряжения Правительства РФ от 08.08.2009 N 1121-р).
5. Непрерывное образование как педагогическая система: сб. науч. тр. / Отв. ред. Н.Н. Нечаев. М.: НИИВО, 1989. 120 с.

**Денисов Денис Сергеевич** – аспирант кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского государственного социально-экономического университета

**Denisov Denis Sergeevich** – Post-graduate Student of the Department of «Labor and Management Staff» of Saratov State Social-Economic University

**Кузнецов Олег Иванович** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского государственного социально-экономического университета

**Kuznetsov Oleg Ivanovich** – Candidate of Economic Sciences, Associate professor of the Department of «Labor and Management Staff» of Saratov State Social-Economic University

*Статья поступила в редакцию 27.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 331.2

**М.А. Еремеев**

### **КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОГРАММ ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ ТРУДА ПЕРСОНАЛА: ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ**

*Рассмотрены исходные принципы, пользуясь которыми, компании пытаются выявить параметры, влияющие на размеры заработной платы, а также некоторые источники информации, пригодные для получения сведений о рыночной заработной плате. Проанализированы источники справедливого и объективного определения рыночного размера вознаграждения труда.*

Вознаграждение труда, оценка должности, гибридная должность, балльно-факторный метод, конкурентоспособность оплаты труда.

**M.A. Eremeyev**

**PROGRAMM COMPETITIVENESS OF PERSONNEL REMUNERATION:  
FORMATION AND DEVELOPMENT**

*The article considers the principles which companies apply for identifying the options that affect the wages as well as some sources of information suitable for the market wage information. The article analyses the sources of fair and equitable labor market remuneration.*

Remuneration, Evaluation Office, hybrid post, ball-factor method, remuneration competitiveness.

Перед компаниями по-прежнему стоит задача поддержания конкурентоспособных программ вознаграждения труда перед лицом глобализации, отмены государственного регулирования, стратегических слияний и реструктуризации. Вдобавок некоторые функции бизнеса требуют большего внимания, нежели другие. Существует, например, высокий спрос на специалистов в сфере сбыта и информационных технологий, которые помогают компании поддерживать конкурентоспособность и идти в ногу со стремительным развитием научно-технического прогресса. Аутсорсинг рабочей силы ставит перед большим числом людей новые задачи и создает для них различные условия труда, а подверженность глобальных рынков резким колебаниям еще сильнее обостряет ситуацию, поддерживая перемещение людских ресурсов. Перед людьми с дефицитной квалификацией открывается множество возможностей. А обладание столь большим числом вариантов для перемен делает людей более независимыми и менее приверженными одной организации, и они действуют как контрактники на рынке, испытывающем нехватку рабочей силы.

Каким образом компания может представить себе подлинную картину имеющихся возможностей и существующих в условиях рынка пакетов вознаграждения труда, которые создают потенциальную вероятность переманивания ценных специалистов? Правильная структура вознаграждения труда может стать мощным средством для того, чтобы повысить конкурентоспособность на рынке и поддержать преданность сотрудников предприятию. Для определения правильной структуры вознаграждения труда следует задать себе ряд вопросов:

- Кто мои конкуренты в борьбе за людские ресурсы?
- Каковы характеристики моего бизнеса, благодаря которым он похож на другие компании или отличается от них?
- Как наше предприятие хочет позиционировать себя в отношении рыночных методов оплаты труда? Насколько конкурентоспособными мы должны стать, чтобы удержать наших людей? Что мы можем предложить им?
- Каковы те важные функции, которые позволят моему бизнесу получить преимущество в конкурентной борьбе?
- Какова та область, что входит в сферу деятельности моей компании, и как она влияет на мою способность привлекать квалифицированный персонал?

Знание ответов на перечисленные вопросы – первый шаг на пути к пониманию движущих сил, которые влияют на способы оплаты труда, представленные на рынке. Как только компания примет стратегические решения в сфере вознаграждения труда, которые позволят ее практике формирования заработной платы удержаться на конкурентном уровне, она смо-



жет перейти к сбору и интерпретации рыночной информации с целью установления надлежащих размеров оплаты труда.

Благодаря разработке гибких, интерактивных компьютеризованных баз данных по вознаграждению труда сбор и интерпретация данных о конкурентном рынке стали отнимать гораздо меньше времени. Подобные системы позволяют пользователям получать рыночные сведения о сложных, или «гибридных», должностях, которые нелегко найти на рынке. В данной статье кратко рассмотрены компьютеризованные базы данных с поддержкой опросов, проводимых в режиме он-лайн, системы обеспечения многочисленных опросов о принципах ценообразования на рынке и разнообразные методы ранжирования гибридных должностей.

Чтобы понять, какие варианты вознаграждения труда существуют на рынке, компании должны сначала установить, кто является их конкурентами в борьбе за людские ресурсы. Компании должны учитывать как своих прямых конкурентов, работающих в той же сфере деятельности, так и конкурентов на рынке труда. Конкурентом на рынке труда может стать любая компания, которая ищет специалистов, обладающих аналогичной квалификацией и включенных в общий резерв талантов.

Компании всегда сравнивают себя с другими компаниями, представленными на рынке, который выбирается исходя из соответствующей отрасли экономики и размера организации, измеряемого такими параметрами, как финансовые показатели деятельности компании или число сотрудников. Раз отрасль экономики определена, компания может выбрать источники опросов, содержащие значимую информацию о рынке вознаграждения труда.

Группы по отраслям экономики образуются в результате проведения обширной классификации компаний по характеру их деятельности, а также выпускаемым продуктам или оказываемым услугам. Знание способов, которые применяются для вознаграждения персонала компаниями, действующими в смежных отраслях, поможет определить надлежащие уровни заработной платы. Например, для организаций из регулируемых отраслей экономики (вроде банков и коммунальных предприятий) есть, очевидно, отличия по сравнению с компаниями, действующими в традиционной среде, управляемой рынком, скажем, в автомобилестроении или в производстве товаров широкого потребления. Зрелые отрасли экономики, для которых характерен, как правило, стабильный рост, подобно наземному транспорту, будут, вероятно, придерживаться не той стратегии вознаграждения труда, что быстро развивающиеся отрасли, такие как информационные технологии.

Продукт или услуга, предлагаемые компанией, способны существенно влиять на уровень вознаграждения труда. Компания, производящая товары с использованием опасных для здоровья материалов, должна сравнивать себя с изготовителями аналогичных товаров, поскольку такие компании выплачивают сотрудникам надбавки за профессиональный риск. Компании, предоставляющие услуги, могут весьма различным образом вознаграждать труд работников, что зависит от вида оказываемой услуги (например, управленческий консалтинг в сопоставлении с курьерской службой).

Обычно размер компании влияет на уровень вознаграждения труда, так как размер может отражать сложность ее организационной структуры. Укажем в качестве примера, что размер компании может определяться числом сотрудников, размером клиентской базы (в особенности для страховых компаний и т.п.), объемом сбыта или размерами активов.

К использованию объема сбыта в долларовом выражении как показателя размера следует относиться критически, поскольку сразу же возникает вопрос о том, как трактовать идею добавленной стоимости на доллар дохода. Например, доход энергетической компании существенно зависит от рыночной цены на нефть или природный газ. Предположим, что количество продукции, приходящееся на одного сотрудника, было постоянным, а цена колебалась в значительных пределах. Для производства указанного количества продукции требуется один и тот же объем работы безотносительно к цене, при том, что суммарный доход может измениться. Справедливо ли задавать уровень заработной платы сотрудников в зависи-

мости от доходов компании, когда указанные доходы в сильной степени зависят от рыночной цены продукции? При отборе данных о рынке различия в добавленной стоимости на один доллар дохода, вероятнее всего, должны быть сведены к минимуму, если компании выбирают подходящую для них отрасль экономики или рынок продукции.

Как предприятие хочет позиционировать себя в отношении рыночных методов оплаты труда? Насколько конкурентоспособным оно должно стать, чтобы удержать своих людей? Что оно может предложить им? Ответы на эти вопросы создают основу хорошо продуманной стратегии в сфере вознаграждения труда. Главное – научиться находить баланс между расходами на рабочую силу (или финансовыми средствами, выделенными для этой цели) и получением конкурентного преимущества благодаря более высокой оплате труда ценных сотрудников.

Стратегия вознаграждения труда определяет относительный вклад всех компонентов в корпоративную программу суммарного вознаграждения труда. Например, планируемый размер заработной платы и возможные поощрительные выплаты должны быть соразмерны, чтобы получить наиболее эффективное сочетание постоянной и переменной составляющих оплаты труда. Если одна из них относительно высока в сравнении с принятыми стандартами, то другую можно соответственно уменьшить. Скажем, ответ на вопрос, заслуживает ли сотрудник, занимающий ту или иную должность, получения поощрительных выплат, может повлиять на планируемый уровень базового оклада, что позволит согласовать возможное суммарное вознаграждение с намечаемой в компании стратегией оплаты труда.

При выработке стратегии вознаграждения труда учитываются самые разные факторы, в том числе, какова деловая стадия жизненного цикла компании – стадия зарождения, роста, зрелости или старения. На сегодняшнем рынке, где слияния и поглощения стали обычным делом, подразделения или дочерние компании одной и той же корпоративной единицы могут находиться на разных деловых стадиях жизненного цикла (зачастую в разных отраслях экономики). В зависимости от степени зрелости предприятия могут применяться различные стратегии при выборе планируемых уровней заработной платы в рамках соответствующего рынка труда.

Начинающая компания (стадия зарождения) может позволить себе более высокую степень риска, заложенного в систему вознаграждения труда, допуская, что базовая заработная плата может быть меньше, и в то же время задавая более широкие возможности получения переменной заработной платы в виде поощрительных выплат. А вот в стареющей компании, переживающей стадии упадка, может существовать совсем другая стратегия с более высоким базовым окладом и меньшими поощрительными выплатами, поскольку в таких компаниях почти нет возможности выплачивать поощрения за экономический рост.

В зависимости от множества других факторов, компания может решить, следует ли ей превысить уровень заработной платы, присущий конкурентному рынку труда, нацелиться на этот уровень или даже опуститься ниже него. Как отмечалось выше, для разных организационных подразделений или групп должностей могут в случае необходимости устанавливаться различные ориентиры заработной платы.

Размер заработной платы определяется тем, какое значение компания придает отдельной функциональной области организации. Определяющий характер отдельной функциональной области может побудить компанию отойти от ориентации на рынок при задании определенного уровня вознаграждения труда.

Например, предприятию, выходящему на более конкурентную арену, потребуется привлекать специалистов из области сбыта и маркетинга за пределами своих традиционных источников рабочей силы. Компания, которая преуспела в этом, потенциально обладает конкурентным преимуществом: она приобретает трудовые ресурсы, уровень квалификации которых превосходит квалификацию сотрудников других предприятий. Если другое предприятие отвечает на эту угрозу со стороны конкурента, переманивая ключевых сотрудников из первой компании, маятник может качнуться в другую сторону. Чтобы обезопасить себя от

потери других обученных и подготовленных специалистов, первое предприятие может прийти к решению «выделить» должности, связанные со сбытом и маркетингом (или ключевых сотрудников, выполняющих эти функции), и оплачивать их по специальной схеме. Компания может придерживаться двух или более стратегий в сфере вознаграждения труда: для ключевых исполнителей из отделов сбыта и маркетинга – 75% рыночного уровня заработной платы, а для всех остальных – медианного рыночного уровня заработной платы.

Географическое положение того места, где работает сотрудник (в городе или сельской местности, внутри страны или за ее пределами), и стоимость жизни в этом регионе могут существенно влиять на уровень заработной платы, рыночная заработная плата в пределах городской черты может быть существенно выше, нежели рыночная заработная плата для аналогичных должностей на предприятии, расположенном в сельской местности. Сотрудникам, изъявившим желание работать в отдаленных районах или за пределами страны, могут выплачиваться надбавки.

Ответы на вопросы о конкурентах, характеристиках бизнеса, о стратегии в сфере вознаграждения труда, функциях, важных для бизнеса, и географическом положении создают основу для сбора и интерпретации данных о конкурентном рынке. Те, кто занят поиском необходимой информации о рыночном вознаграждении труда, могут производить его несколькими способами: в опубликованных опросах, путем заказа опросов, в базах данных о вознаграждении труда и обращаясь к знаниям отдельных людей.

Во всех случаях участники опроса могут оказывать существенное влияние на полученные результаты о состоянии рынка. Существуют опросы для различных отраслей экономики, компаний разной величины, функциональных областей и географического положения. На основе анализа соответствующего рынка труда компания выбирает наиболее подходящий рыночный ориентир. Затем пользователь обязан просмотреть список участников каждого опроса, чтобы понять, как распределяются компании по тем или иным параметрам. Например, в опросе может быть заявлено, что собранная информация относится ко «всем отраслям экономики», а на самом деле список участников на 70% состоит из производственных или страховых компаний. Аналогично опрос в банковской сфере будет включать в себя наиболее пригодные для сравнения должности и функциональные области, но может оказаться неподходящим средний размер компаний-участников.

Уровень заработной платы тех или иных лиц, занимающих одинаковые должности, может быть индивидуально скорректирован в зависимости от наличия конкретной квалификации, образования, знаний или демонстрируемых профессиональных качеств. Глубокое знание определенного программного приложения, например, может служить основанием для того, чтобы выплачивать надбавку одному из двух служащих, занимающих одинаковую должность.

Уровни оплаты труда, указанные в опубликованных опросах, можно также корректировать в зависимости от продолжительности пребывания человека в должности. Для некоторых категорий профессионалов, таких как инженеры, юристы и ученые, на размеры ставок заработной платы в особенности влияет опыт работы человека, т.е. срок пребывания в данной должности.

Компании могут выделить определенные группы людей, выполняющих те или иные функции, в качестве ключевых исполнителей. Ключевые исполнители – это те люди, которые непосредственно создают конкурентное преимущество и чей переход к конкурентам помешал бы успеху компании. Компании могут решить, кому следует выплачивать надбавки за сравнительно большую значимость для организации.

Чтобы программы вознаграждения труда шли в ногу с изменениями на рынке, необходимо, чтобы информация о методах оплаты труда для должностей, присутствующих на рынках, была легкодоступной. Сегодня для того, чтобы произвести учет должностей, содержания работы, отраслей экономики, информации о сфере деятельности компании и методах оплаты труда, используют компьютеры, что позволяет пользователю комбинировать

ряд параметров и извлекать нужную информацию о вознаграждении труда. Преимуществами ведения баз данных о вознаграждении труда на компьютере являются гибкость, легкость доступа, сокращение объема бумажной документации и расширение возможностей для составления отчетов.

В базах данных о вознаграждении труда содержатся данные из одного или нескольких источников опросов. Гибкость заключается в том, что пользователь имеет возможность выполнить следующие действия:

- выбрать должность по ее названию или осуществить сопоставление с ним посредством поиска по ключевым словам;
- согласовать степень сходства между должностной инструкцией, приведенной в опросе, и должностью, имеющейся в компании;
- выбрать отрасль экономики и размер компании.

На основании скорректированного запроса система выдаст комплексную информацию о рыночном уровне вознаграждения труда с указанием размера базовой заработной платы и полных денежных выплат.

Мощным средством управления данными, полученными из опросов, стал Интернет. Модели рыночного ценообразования, размещенные на локальных веб-сайтах, позволяют многочисленным пользователям быстро и с наименьшими затратами найти информацию о вознаграждении труда.

Как правило, при оценке общей конкурентоспособности размера заработной платы в компании выбирают эталонные должности, которые играют роль репрезентативной выборки всех должностей в организации. Для каждой эталонной должности собирают рыночные данные, на основании которых делаются предположения и получаются выводы об общей внешней конкурентоспособности. Используя небольшую выборку должностей, компания экономит средства и время, необходимые для выполнения оценки. Но что делать компании, когда требуется определить рыночный конкурентоспособный размер заработной платы для большого числа сотрудников или должностей, соответствия которым непросто найти среди должностей, представленных в опросе?

Одно из решений заключается в том, чтобы воспользоваться баллами для оценки сложности работы (полученными с помощью факторно-балльной системы типа системы Э. Хэя), для того чтобы создать шкалу значимости должностей, а затем на основе тех же оценочных баллов включить должности, указанные в опросе, в образовавшуюся иерархию. Соответствие между баллами, набранными должностью внутри компании и должностью из опроса, можно применить к рыночной цене должности из опроса, чтобы получить рыночную стоимость для должности внутри компании.

Если компания не пользуется факторно-балльной системой для оценки сложности работы или если данные из опроса не были соответственно отсортированы, то с целью создания шкалы значимости должностей и извлечения рыночных данных можно использовать альтернативный метод множественного ранжирования. При его выполнении специальная комиссия определяет сначала относительную ценность каждой должности для организации в соответствии с ее системой значимости. Сходным образом определяется ценность для организации тех должностей, что включены в опубликованные опросы, после чего на основании полученных количественных результатов формируется единая иерархия ценности внутренних и внешних должностей. Зная соотношение между внутренними и внешними должностями, а также рыночные данные о внешних должностях, можно получить расчетные рыночные стоимости для всех внутренних должностей. В результате образуется полный набор расчетных рыночных стоимостей для всех должностей в организации, в том числе для гибридных должностей и должностей, соответствия которым непросто найти среди должностей, представленных на рынке.

Общим для обоих описанных выше методов является то, что ценность (или число баллов) определяют как для внутренних, так и для внешних должностей. Количественная характеристика этих критериев и установление их соотношения с рыночными данными позволяют компании получить рыночные данные для большого числа должностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горелов Н.А. Вознаграждение работникам (компенсационный менеджмент): учеб. пособие / Н.А. Горелов. СПб.: ЛИК, 2007. 816 с.
2. Олдкорн Р. Основы менеджмента / Р. Олдкорн. М.: Дело и Сервис, 1999. 320 с.
3. Хендерсон Р. Компенсационный менеджмент / Р. Хендерсон; пер. с англ.; под ред. Н.А. Горелова. СПб.: Питер, 2004. 880 с.
4. Энциклопедия систем мотивации и оплаты труда / пер. с англ.; под ред. Д. Бергер, Л. Бергера. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 761 с.
5. Abosh K.S. Confronting Six Myths of Broadbanding / K.S. Abosh // ACA Journal. 1998. Vol. 7. № 3. Autumn. P. 28-35.

**Еремеев Максим Александрович** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского государственного социально-экономического университета

**Eremeyev Maksim Aleksandrovich** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of «Economics of Labor and Personnel Management» of Saratov State Social-Economic University

*Статья поступила в редакцию 16.04.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 339.138

**Т.А. Забазнова, Е.Г. Попкова, И.В. Токарева**

#### **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАРКЕТИНГОВОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ НА РЫНКЕ «B2B»**

*Рассмотрены теоретические особенности маркетинга «B2B», а также применение на данном рынке соответствующих маркетинговых инструментов с практической точки зрения. В рамках маркетинга «B2B» исследован такой инструмент, как сегментация рынка потребителей.*

Маркетинг «B2B», система промышленного маркетинга, маркетинговый инструментарий, сегментация рынка покупателей, программа маркетинговых коммуникаций.

**T.A. Zabaznova, E.G. Popkova, I.V. Tokareva**

#### **MARKETING TOOLS FEATURES USED IN «B2B» MARKET**

*The article describes theoretical features «B2B» marketing and application the marketing tools from a practical point of view. Such instrument as market segmentation of consumers had been studied inside the «B2B» marketing.*

«B2B» marketing, industrial marketing system, marketing tools, market segmentation of customers, program marketing communications.

В последнее десятилетие в России появился рынок с загадочным названием «B2B». На самом же деле, данный вид рынка зародился в нашей стране вместе со становлением рынка как такового. Рынок «B2B» – это рынок, где в качестве и продавца и покупателя выступают юридические лица, а его название происходит от английского выражения «business to business», что означает «бизнес для бизнеса» или же «юридическое лицо юридическому лицу». Именно поэтому к сфере «B2B» относятся в основном промышленные рынки.

Сейчас в России рынок «B2B» находится в состоянии своего первоначального развития. На его состояние оказывают влияние как внешние факторы, связанные с экономической и политической ситуацией в стране, так и внутренние, определяемые технической оснащенностью предприятий современными информационными системами и готовностью участников рынка к изменениям и внедрению систем электронной коммерции. Еще одним фактором, влияющим на рынок электронной коммерции, является активность использования сети Интернет. По оценкам аналитиков, аудитория Интернета в РФ составляет 32% от общего населения страны, месячная Интернет-аудитория в России в 2010 г. составила 43 млн человек, при этом молодые жители двух российских столиц – Москвы и Санкт-Петербурга – пользуются Сетью почти поголовно (97 и 98% соответственно). В городах-миллионниках пользователей Интернета среди молодежи в возрасте 18-24 лет около 87%.

Использование Интернета для взаимодействия предприятий в последнее время активно развивается, поскольку применение электронных методов ведения бизнеса сегодня является необходимостью, продиктованной развитием мировой экономики. Большинство российских фирм уже определили ряд удобств и преимуществ от использования Интернета.

Маркетинг рынка «B2B» – это почти всегда промышленный маркетинг. Для рассмотрения данного понятия обратимся к труду всемирно известного профессионала в области разработки и применения инструментов промышленного маркетинга Ф. Уэбстера «Основы промышленного маркетинга» [1]. Промышленный маркетинг связан с продажей товаров и услуг промышленным институциональным клиентам, к таковым относят государственные учреждения, промышленные предприятия, предприятия, обслуживающие коммунальную сферу, образовательные и медицинские учреждения, организации оптовой и розничной торговли. Важнейшая особенность покупателей на рынке «B2B» заключается в том, что приобретаемые ими товары и услуги подлежат дальнейшим изменениям для создания с их помощью новых товаров и услуг. Такие товары, как полуфабрикаты, отдельные детали или сырье, используются для последующего создания конечного продукта, например оборудования, строительных материалов, предметов бытовой химии. Что касается торговых посредников, приобретающих товары для последующей их продажи, то они, в свою очередь, добавляют данным товарам ценность посредством предоставления дифференцированных услуг для более полного удовлетворения покупателей. В своей основе промышленный маркетинг является одним из основных звеньев системы обеспечения функционирования различных организаций, поставщиков товаров и услуг.

Учитывая специфичность промышленного маркетинга, специалисты выделяют ряд особенностей, которые заключаются в следующем:

– относительно узкий и стабильный круг потребителей, что усложняет процесс повышения конкурентоспособности товаров и услуг;

- низкая эффективность применения рекламы по сравнению с потребительским маркетингом;
- высокая роль сети Интернет для продвижения товаров и услуг;
- необходимость адаптации рекламных сообщений и тестов для рядовых читателей, клиентов;
- необходимость организации технического обслуживания продаваемых товаров в зависимости от отраслевого рынка и др.

Система промышленного маркетинга представлена на рис. 1.

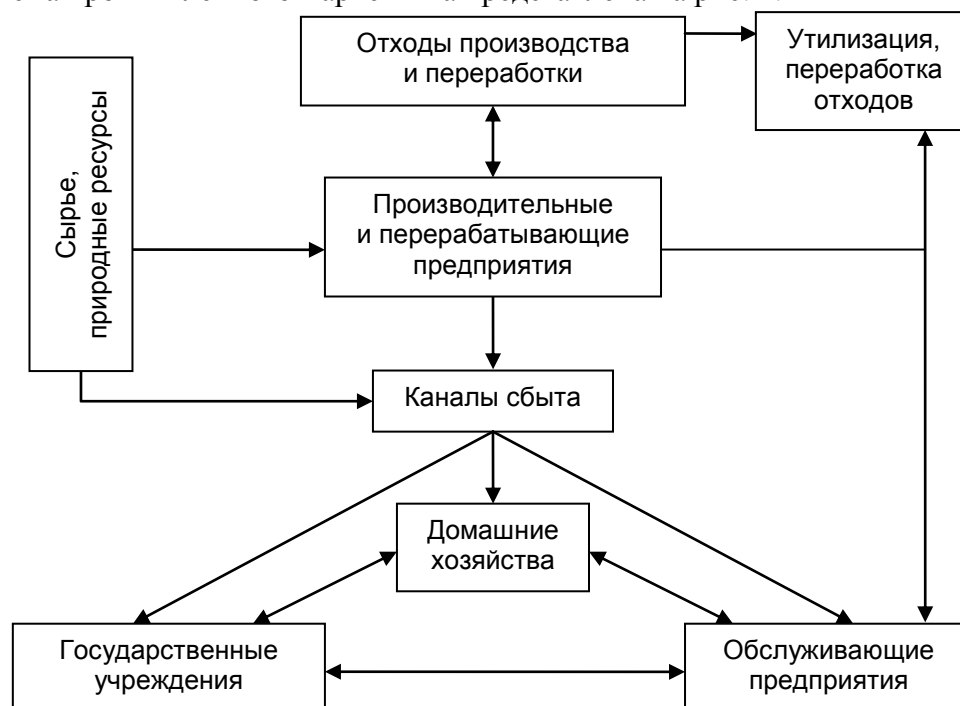


Рис. 1. Система промышленного маркетинга

Как уже было отмечено, «B2B» маркетинг отличается от потребительского не продуктом, а спецификой клиента. Условно потребителей на данном рынке можно разделить на три группы:

- 1) промышленные клиенты, соответственно промышленные предприятия;
- 2) институциональные клиенты, такие как организации здравоохранения, образования, то есть юридические лица, представляющие социальные институты;
- 3) государственные или правительственные клиенты.

Современные специалисты в маркетинговой области выделяют целый ряд особенностей маркетинга «B2B»:

1) Ориентация маркетинга «B2B» на клиента. В рамках направленности промышленного маркетинга в сторону клиента эффективная маркетинговая стратегия на рынке данного вида требует следующего:

- максимально возможное понимание потребностей и желаний клиента;
- ориентация на условия и состояние конкуренции на отраслевом рынке «B2B»;
- учет специфических особенностей источников промышленного маркетинга;
- сопоставление потребностей покупателя и особенностей компании и др.

Адресность здесь также важна ввиду постоянства клиентов, продажа товаров, полностью удовлетворяющих технические и экономические потребности покупателей – гарантия определенного уровня лояльности клиентов.

2) Зависимость спроса на услуги и товары данного рынка от спроса на потребительские товары. Соответственно спрос на рынке «B2B» может носить название производного. Поэтому активность промышленных клиентов, а именно интенсивность и масштаб закупок отражают спрос конечных потребителей на товар или услугу. Данная зависимость используется для разработки аналитических методик, прогнозирующих объемы продаж, для планирования объема производства, определения финансовых потребностей.

3) Сложность товара или услуги, то есть техническая сложность продукта. Требует значительных вложений в НИОКР, высокой степени новаторства, увеличивает возможные риски. Помимо этого товар рассматривается как комплекс продукта и услуги, поскольку данный товар приобретается для бизнеса, а не потребления, соответственно важными являются как сам товар, его качество, так и дополнительные услуги, оказываемые продавцом, в зависимости от вида товара это могут быть техническое обслуживание, монтаж, информационные, консультационные услуги и т.п.

4) Взаимозависимость покупателя и продавца. С одной стороны, покупатель зависит от продавца, поскольку от поставок товаров зависит деятельность самого покупателя. Приобретаемые товары являются звеном производственной цепи покупателя, от качества товара, интенсивности поставок, предоставляемых гарантий и сопутствующих услуг продавца напрямую зависит деятельность, а значит и экономическое состояние покупателя. С другой стороны, продавец зависит от покупателя. На данном рынке у продавца ограниченное и относительно стабильное количество покупателей, потеря хотя бы одного из них грозит финансовой неустойчивостью организации в целом. Взаимозависимость покупателей и продавцов на рынке «B2B» отражена на рис. 2.

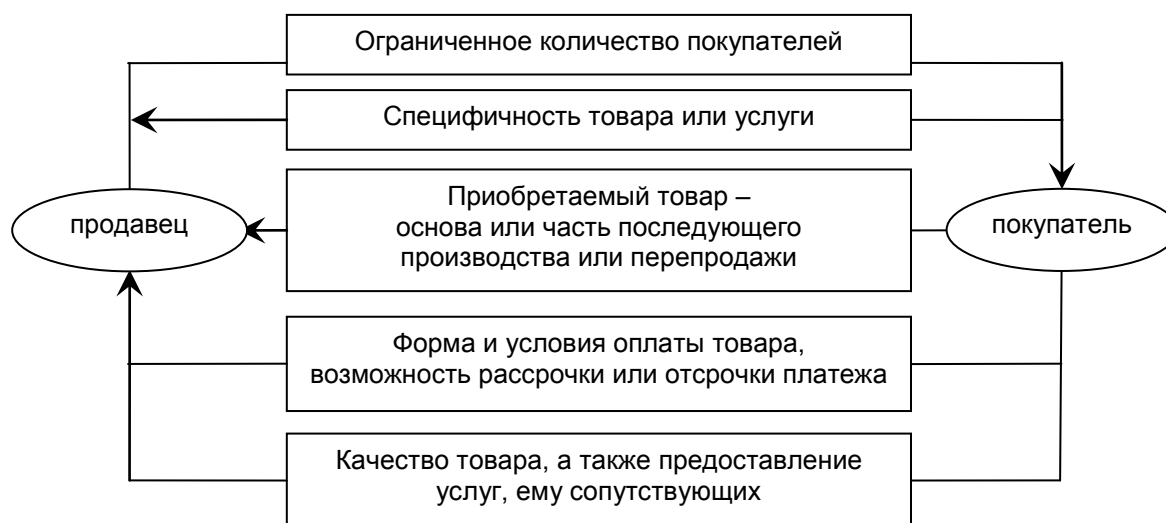


Рис. 2. Взаимозависимость покупателя и продавца на рынке «B2B»

5) Сложность процесса закупки. Сложность данного процесса заключается в сложности принятия самого решения о закупке. Если в потребительском маркетинге зачастую данное решение принимается одним индивидом или небольшой согласованной группой с учетом конечного использования товара или услуги, с ориентацией на потребности и желания ограниченного круга лиц, то в случае с маркетингом «B2B» решение принимается группой лиц на основе сбора и анализа информации о приобретаемом товаре, с учетом экономических и технических факторов, а также с учетом состояния внешней среды. Таким образом, принятие решения о покупке является сложным многоэтапным процессом, вовлекающим в себя относительно большую группу прямо и частично заинтересованных лиц. Задача самого процесса закупки состоит в том, что-



бы приобрести товар по оптимальной цене в необходимом количестве в определенное время и конкретном месте. К задачам в отношении закупок относятся следующие:

- непрерывное обеспечение процесса производства необходимыми товарами;
- гарантия качества приобретаемого товара, соответствие разработанным техническим требованиям;
- приобретение товара по оптимальной цене, учитывая особенности производства и собственную политику ценообразования;
- приобретение вместе с товаром ряд сопутствующих услуг в зависимости от характера приобретаемого товара и вида деятельности;
- налаживание продуктивных долгосрочных связей между продавцом и покупателем.

Для решения указанного комплекса задач необходимыми становятся разработка и применение стратегии закупок. Стратегия закупок разрабатывается с учетом вида деятельности, масштабов, специфических особенностей производства, однако для любого предприятия можно выделить несколько общих этапов в разработке стратегии закупок; разработка технических спецификаций; обоснование стратегических ролей покупателей и продавцов.

Таким образом, специфическими особенностями маркетинга «B2B» являются ориентация на клиента, зависимость спроса на услуги и товары рынка «B2B» от спроса на потребительские товары, техническая сложность товара или услуги, взаимозависимость покупателя и продавца и, наконец, сложность процесса закупки.

Особенности маркетинга «B2B», в свою очередь порождают и особенности применения маркетингового инструментария.

Основой решения для формирования маркетинговой стратегии на предприятии в большинстве случаев является результат применения такого маркетингового инструмента, как сегментирование. В экономической литературе существует целый ряд определений сегментирования, в рамках данной работы рассматривается следующее: сегментирование – это маркетинговый инструмент, позволяющий разделить рынок на более мелкие рынки (субрынки) с целью более эффективного взаимодействия продавца и покупателя, а значит, в результате для увеличения прибыли.

Одним из важнейших решений на рынке «B2B» для фирм является выбор клиентов, так как условия и сам процесс сотрудничества с ними определяют поведение и стратегию фирмы-продавца, ее финансовую политику, а также организационную структуру. Потребности и предпочтения клиентов в данном случае являются основой для разработки товарного предложения, формирования ценовой политики, системы коммуникаций. Задача выбора клиентов состоит в том, чтобы потенциальные клиенты от сотрудничества с конкретным продавцом получали максимально возможную выгоду, а также чтобы их потребности и предпочтения отвечали возможностям продавца. С одной стороны, фирме-продавцу покупатель должен заказать в качестве приобретаемого товара тот продукт, который может быть качественно произведен, и производство которого не противоречит общей стратегии фирмы. С другой стороны, фирма-покупатель должна быть готова заплатить за товар или услугу. Такие покупатели для фирмы-продавца – залог стабильности и успешности бизнеса, поскольку соответствие потребностей покупателя возможностям продавца являются основой взаимовыгодных долгосрочных партнерских отношений. Однако такие клиенты будут способствовать повышению эффективности деятельности фирмы-продавца только в том случае, когда взаимовыгодные отношения построены только с данным продавцом, в противном случае такой клиент будет способствовать ожесточению конкуренции среди продавцов.

Как уже было отмечено, выбор клиентов является очень важным решением и весьма сложным процессом для фирмы, именно поэтому маркетологи должны четко формулировать задачи, заранее определять четкие характеристики потенциальных клиентов и разрабатывать возможные условия сотрудничества.

Однако на практике выбор клиентов зачастую имеет случайный характер, что априори лишает фирму ряда возможностей улучшения собственного финансового состояния.

Сегментация дает возможность достаточно четко определить круг потенциальных клиентов, дифференцировать их по различным признакам, являющимся критериями для отбора покупателей для конкретной фирмы [2]. Сегментирование позволяет выбрать лучших из потенциальных клиентов и адаптировать именно к ним стратегию маркетинга. Для проведения сегментации необходимо определить критерии или, так называемые, переменные сегментирования. Переменные сегментирования представляют собой конкретные характеристики клиентов, отражающие их различия. В рамках маркетинга «B2B» для определения переменных необходимо учитывать некоторые особенности:

- 1) выбранная переменная должна быть измеримой или условно измеримой;
- 2) переменная должна быть релевантна для достаточно большой группы потенциальных клиентов, иначе ее выделение будет бессмысленно; выбранная характеристика должна относиться к различиям клиентов и отражать реакцию клиентов на маркетинговые действия продавца;
- 3) сегменты, выделенные маркетологами, должны быть достаточно крупными, для того, чтобы в отношении каждого из них было бы возможным использование самостоятельной маркетинговой стратегии;
- 4) теоретически выделенные сегменты должны быть применимыми для совместной деятельности на практике.

Критерии сегментирования и сами сегменты рынка «B2B» коренным образом отличаются от сегментов рынка «B2C». В рамках маркетинга «B2B» многие зарубежные авторы выделяют микро- и макросегментирование.

Как правило, макросегмент состоит из достаточно большого количества организаций, имеющих схожие характеристики, и отражает особенности какого-либо целевого рынка. Микросегмент представляет собой группу однородных покупателей, входящих в состав макросегмента. Выделение микросегмента – процесс более сложный и наукоемкий, нежели выделение макросегмента, оно зачастую требует проведения сложных маркетинговых исследований.

Среди критериев сегментации на рынке «B2B» выделяют следующие:

- количественные параметры сегмента;
- устойчивость сегмента;
- доступность сегмента;
- прибыльность сегмента;
- рекламные возможности компании в сегменте;
- зависимость сегмента от ограничиваемости товара и услуг;
- уровень конкуренции;
- уровень защищенности от конкурентов;
- технологические трудности работы в сегменте и др.

Специфика рынка «B2B» позволяет также рассматривать вертикальное сегментирование рынка, когда рыночные структуры определяют движение товара от места его производства до точки его потребления. Зачастую на данном рынке вертикальная структура движения товара достаточно сложна из-за длинной цепочки сделок «продавец – покупатель». Ввиду такой сложности вертикальное сегментирование рынка требует рассмотрения ряда фундаментальных проблем, связанных с конкуренцией в отрасли, созданием оптимальной стратегии с целью выявления прибыльной рыночной ниши, где индивидуальные возможности конкретного продавца максимально возможно удовлетворят потребности конкретного покупателя. Рыночная ниша, выбранная верно, дает возможность минимизировать затраты на производство продукта и, соответственно, максимизировать прибыль.

Отдельного внимания в маркетинге «B2B» заслуживают коммуникации. Они представляют собой комплекс личных и безличных коммуникаций в отношении компании-

покупателя. Они могут включать в себя промоакции, торговые выставки, личные продажи, директ-мейл, подарки и т.п. Эффективность применения любого из выбранных инструментов находится в зависимости от того, как он будет сочетаться с другими элементами стимулирования сбыта [3].

Цель маркетинговой коммуникации заключается в том, чтобы провести организацию-покупателя из состояния потенциального клиента в состояние реального. Разработка программы маркетинговых коммуникаций в рамках рынка «B2B» состоит из шести базовых элементов:

1) постановка задач. В рамках разработки данного элемента желательно провести два типа анализа: анализ компании и ее товаров, а также анализ рынка и покупателей, то есть анализ внутренней и внешней среды. Проведение данных видов анализа предполагает ответы на ряд вопросов: Какую позицию на рынке занимают товары компании? Каковы сильные и слабые стороны фирмы по отношению к ее конкурентам? Какова оценка данной компании со стороны покупателей по сравнению с конкурирующими фирмами? Насколько удовлетворены клиенты компании? Ответы на эти вопросы обнажат проблемы компании и помогут сформировать четкие задачи программы маркетинговых коммуникаций;

2) определение целевой аудитории. Целевую аудиторию можно выявить на двух уровнях: в рамках микро- и макросегментов;

3) определение бюджета. С точки зрения экономической теории, компания может продолжать увеличивать затраты на маркетинговые коммуникации до того момента, когда дополнительный доход от них не станет равным дополнительным затратам. Однако на практике определить такой момент является весьма сложной задачей, поскольку не просто определить соотношение между произведенными затратами и реакцией и активностью покупателей. Применяется три подхода к определению размера данного бюджета: использование различного рода руководств и правил, применение общей практики фирмы в конкретной отрасли и применение метода «целей и задач». В рамках последнего предполагается постановка четких задач достижения определенного измеримого результата, в соответствии с чем устанавливается предполагаемый размер бюджета;

4) разработка стратегии сообщения. Разработка стратегии сообщения включает два обязательных этапа: предварительную и окончательную разработку. Первая разрабатывает своего рода заявление о целях маркетинговых коммуникаций, то есть содержит в себе информацию о фирме, ее возможностях, производимых товарах и т.п. Кроме того, она должна демонстрировать способность удовлетворения потребностей и желаний клиентов, а также отражать конкретные выгоды от сотрудничества именно с данной компанией. Окончательный этап, в свою очередь, создает сообщения, готовые для распространения с помощью медиаканалов;

5) выбор медиаканала. Основой для выбора медиаканала является специфика выбранной целевой аудитории;

6) создание системы оценки результата, оценка эффективности программы коммуникаций [4].

Таким образом, особенности рынка «B2B» «диктуют» свои условия применения маркетинговых инструментов. Ориентация на клиента, техническая сложность продукта, взаимозависимость покупателя и продавца – все это делает специфичным и применение маркетинговых инструментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уэбстер Ф. Основы промышленного маркетинга / Ф. Уэбстер; пер. с англ. под ред. В.Г. Быстрова, М.В. Ткаченко. М.: ЗАО «Издательский дом Гребенникова», 2005. 416 с.

2. Котлер Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер; пер. с англ. В.Б. Боброва. М.: Прогресс, 1991. 733 с.

3. Райт Р. B2B-маркетинг. Пошаговое руководство / Р. Райт. М.: Баланс Бизнес Букс, 2007. 624 с.

4. Минет С. Маркетинг B2B и промышленный брендинг / С. Минет. М.: Вильямс, 2008. 207 с.

**Забазнова Татьяна Александровна** – кандидат экономических наук, заведующая кафедрой «Экономика и финансы» Себряковского филиала Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Попкова Елена Геннадьевна** – доктор экономических наук, профессор кафедры «Мировая экономика и экономическая теория» Волгоградского государственного технического университета

**Токарева Ирина Владимировна** – магистрант кафедры «Мировая экономика и экономическая теория» Волгоградского государственного технического университета

**Zabaznova Tatiyana Aleksandrovna** – Candidate of Economic Sciences, Head of the Department of «Economy and Finance» of Sebryakovsk branch of Volgograd State University of Architecture and Building

**Popkova Elena Gennadiyevna** – Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of «World Economy and Economic Theory» of Volgograd State Technical University

**Tokareva Irina Vladimirovna** – Graduate Student of the Department of «World Economy and Economic Theory» of Volgograd State Technical University

*Статья поступила в редакцию 17.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 338.24.01(1-87)

**Т.Б. Иванова**

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ, ОРИЕНТИРОВАННОГО НА РЕЗУЛЬТАТ, В СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ**

*Рассматриваются актуальные для регионов Российской Федерации проблемы реализации реформы управления общественными финансами. Предлагается механизм объединения бюджетирования, ориентированного на результат, с территориальным стратегическим планированием.*

Бюджетирование, ориентированное на результат, стратегическое планирование, развитие территорий.

---

**T.B. Ivanova**

**USING THE MODEL OF THE BUDGETING ORIENTATED TO THE RESULT  
IN THE STRATEGIC MANAGEMENT OF THE ECONOMIC DEVELOPMENT  
OF THE TERRITORIES**

*Actual for Russia in connection with the reforming the budgeting planning directions and forms of the usage of the model of budgeting orientated to the result are regarded in the article. They are used by the foreign countries in the strategic management of the territories' economic development.*

Result-orientated budgeting, strategic planning, territory development.

Опыт российских регионов свидетельствует о том, что революционные по своим целям административная реформа и реформа системы местного самоуправления, могут не решить стоящих перед ними задач, если не осуществить модернизацию действующих в субъектах Российской Федерации (далее – субъектах Федерации), муниципальных образованиях систем стратегического управления социально-экономическим развитием территории. Ключевым звеном данного направления модернизации управления необходимо рассматривать внедрение модели бюджетирования, ориентированного на результат, в систему стратегического управления территорией.

Современная система управления общественными финансами, как в субъектах Федерации, так и в муниципальных образованиях, характеризуется противоречиями, существенно снижающими их общественно-экономическую эффективность. Так, практически невозможно изменить структуру бюджетных расходов и оптимизировать ее в соответствии со стратегическими приоритетами развития региона или муниципального образования. Мнение потребителей бюджетных услуг об их качестве не принимается в расчет и, соответственно, не находит должного отражения в региональном (муниципальном) бюджетном планировании. Отсутствует четкая система мониторинга и оценки результатов использования общественных финансов, а также оценки их социальной и экономической эффективности.

Например, в Архангельской области в 2009 г. для первой городской больницы Архангельска был приобретен прибор стоимостью почти 88 млн руб. По мнению специалистов, данный прибор можно было бы купить по гораздо более низкой цене. В то же время для медработников области были закуплены самые дешевые перчатки из недоброкачественного материала, в результате чего, как признали сами медработники, они были малопригодны для их профессиональной деятельности [1, с.1].

В Саратовской области в 2009 г. был сдан в эксплуатацию крупный рынок для реализации сельскохозяйственной продукции. По мнению экспертов, фактическая стоимость одного квадратного метра данного сооружения существенно превысила средний областной уровень затрат по аналогичным строительным объектам. На запрос депутатов областной думы о проведении оценки объема и эффективности капитальных вложений, затраченных на строительство сельскохозяйственного рынка, от правительства Саратовской области были получены ответы следующего содержания: проверка эффективности расходования бюджетных средств в задачи комитета капитального строительства не входит (от председателя комитета капитального строительства); министерство экономического развития и торговли не обладает полномочиями по оценке эффективности расходования бюджетных ресурсов (от министра экономического развития и торговли) [2, с.9].

Приведенные примеры подтверждают, что в региональных и муниципальных администрациях до сих пор отсутствует механизм управления общественными финансами, отвечающий современным требованиям результативности и эффективности использования бюд-

жетных ресурсов. Распорядители бюджетных ресурсов уделяют основное внимание не конечным результатам, а затратам. Их действия определяются принципом бюджетирования, ориентированным не на конечный эффект (реальные итоги использования бюджетных ресурсов), а на затраты.

Главными недостатками современной модели управления бюджетными ресурсами региона, на наш взгляд, являются следующие:

- отсутствие четких критериев оценки эффективности использования бюджетных ресурсов, определенных в соответствии со стратегическими целями и задачами развития региона;

- несовершенство (а иногда и отсутствие) нормативно-законодательного обеспечения мониторинга и оценки использования бюджетных ресурсов, выделяемых на реализацию региональных (муниципальных) целевых программ и проектов;

- отсутствие прозрачности и ответственности в деятельности министерств-распорядителей бюджетных ресурсов.

В зарубежной практике регионального и муниципального управления общественными финансами давно и успешно применяется бюджетирование, ориентированное на результат, или так называемая модель БОР. Методология модели БОР заключается в планировании использования бюджетных ресурсов в зависимости от выбранных целей и показателей их достижения, т.е. промежуточных и конечных результатов экономического и социального развития территории. В отличие от традиционной системы затратного финансирования, дающей ответ на вопрос: «Сколько средств нужно потратить?», модель БОР позволяет ответить на вопрос: «Какой общественный результат будет достигнут за счет потраченных средств?».

Для Российской Федерации актуальным является, прежде всего, опыт Великобритании, так как эта страна имеет самый высокий в мире уровень централизации государственных финансов. Более двух третей налогов, собираемых с территорий страны, аккумулируется в центре и перераспределяется между муниципалитетами путем выделения им целевых грантов, дотаций и субсидий. Это дает возможность правительству страны проводить единую политику, так как гранты и дотации выделяются из государственного бюджета лишь при условии соблюдения местными администрациями определенных требований. В частности, местные администрации при формировании бюджета территории в обязательном порядке должны учитывать приоритеты национального развития, государственные программы (экономические, социальные, экологические и др.), реализуемые правительством страны в рамках национальной концепции долгосрочного развития [3].

Применение модели БОР в Великобритании было увязано с реформой государственного управления, начавшейся в 1988 г. и получившей название «Инициатива движения вперед». Одной из задач данной реформы было внедрение рыночной конкуренции в сферу предоставления бюджетных услуг. В этой связи был проведен анализ распределения бюджетных ресурсов между статьями расходов, их соответствия реальным общественным потребностям и др. По результатам анализа был поставлен вопрос о необходимости повышения качества услуг, оказываемых бюджетными организациями. С этой целью были разработаны индикаторы результатов, стандарты объема и качества государственных (муниципальных) услуг, с последующим их отражением в гражданских хартиях. Помимо обязательств, в хартиях были установлены штрафные санкции и компенсации клиентам при несоблюдении бюджетными организациями стандартов оказания государственных услуг.

Особо необходимо подчеркнуть, что переход на модель БОР в Великобритании был увязан с внедрением стратегического планирования в деятельность министерств правительства страны. В результате этого каждое министерство было обязано разрабатывать стратегический план своих действий в соответствующей сфере общественного развития (как минимум, на пять лет). Назначение данного документа – обозначить цели, приоритеты и целевые

параметры их достижения, которыми министерства будут руководствоваться в своей работе в рамках конкретного временного периода.

На основе стратегического плана министерства разрабатывают годовые планы своей деятельности. Назначение плана работы на год – увязать цели министерства, сформулированные в стратегическом плане, с текущими целями, которые должны быть достигнуты в течение конкретного финансового года. Для этого в них обязательно указывается перечень ожидаемых конечных результатов реализации запланированных на год мероприятий. Планы работы на год содержат также информацию о том, сколько бюджетных средств будет израсходовано для достижения каждой конкретной цели.

Интересен опыт Великобритании и в области увязки приоритетов развития национального, региональных и муниципальных масштабов. Верхний горизонт планирования представлен пятилетним стратегическим планом развития территории. Среднесрочный уровень представлен двухлетним планом-графиком мероприятий по реализации стратегии (обновляется и уточняется по итогам каждого финансового года) и трехлетним финансовым планом (бюджет). Целевые ориентиры плана-графика и финансового плана конкретизируют долгосрочные цели, отраженные в стратегическом плане территории. Первый финансовый год максимально детализирован. Два последующих года представлены укрупненно.

Данная система управления экономическим развитием территорий позволяет максимально задействовать потенциал модели БОР для успешной реализации стратегии развития отдельных территорий страны в рамках общенациональной политики долгосрочного и среднесрочного развития (рис. 1).

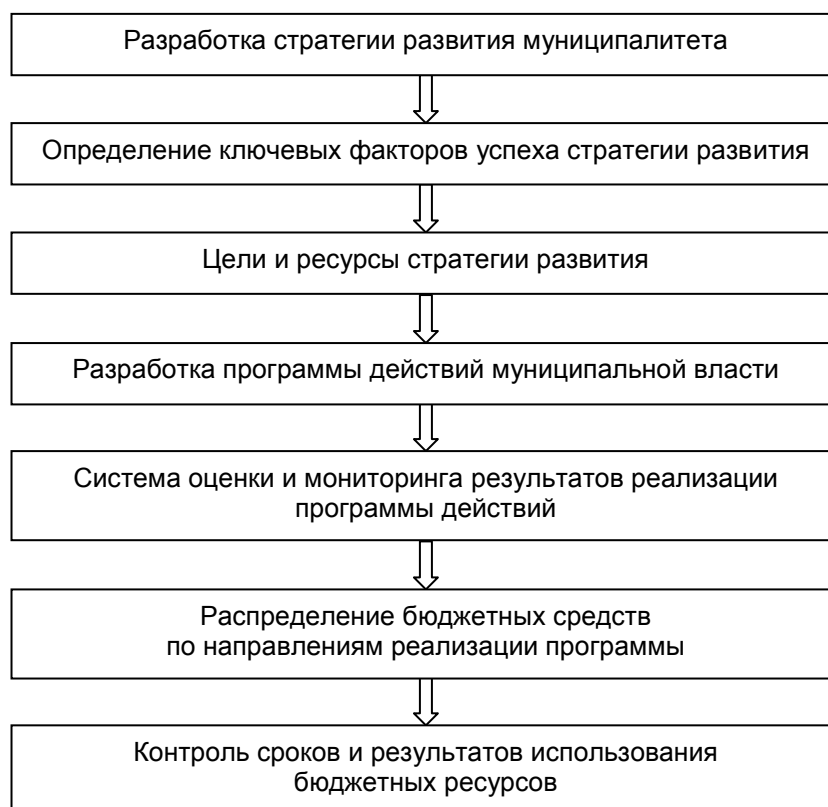


Рис. 1. Модель БОР в системе муниципального стратегического планирования (на примере Великобритании)

Опыт Великобритании наглядно показывает, что применение модели БОР в стратегическом управлении развитием муниципалитетов позволяет решать различного рода задачи, в том числе:

- распределять бюджетные ресурсы в соответствии с национальными целями и стратегическими приоритетами (направлениями) развития муниципалитетов, т.е. в соответствии с политикой национального и муниципального развития;
- предоставлять государственные и муниципальные услуги, реально востребованные обществом (местным населением);
- обеспечивать выбор наиболее экономичного способа предоставления государственных и муниципальных услуг;
- сравнивать расходы целевых программ и выбирать наиболее экономичные из них по результатам оценки эффективности и результативности использования общественных финансовых ресурсов;
- обеспечивать общественный контроль над обоснованностью использования бюджетных ресурсов при реализации программ развития территорий и сфер национальной (муниципальной) экономики и др.

Необходимо подчеркнуть, что успешность применения модели БОР в зарубежных странах непосредственно увязывается с использованием таких инструментов стратегического управления, как мониторинг и оценка эффективности выполнения бюджетных целевых программ.

«Мониторинг и оценка используются главным образом для определения эффективности работы организации на основе *итогов* ее работы. Именно поэтому значимость и полезность этих двух функций для оценки эффективности работы всей госслужбы зависит напрямую от того, насколько планирование, осуществляемое самим государственным сектором, соответствует *итогам* стратегий и политики. Иначе говоря, эти функции приобретают значимость и становятся полезными только тогда, когда государственные стратегии и соответствующие им программы определяются не только тем, что будет сделано (*непосредственный результат*), но и тем, почему это будет сделано (*итоги*). Причем, по системе Стратегического планирования и первое, и второе должны быть увязаны с целями и задачами программы, а также и с бюджетами» [4, с.5].

Согласно определению Всемирного банка, мониторинг – это постоянная оценка реализации проекта в соответствии с утвержденным графиком реализации и использования вложений в инфраструктуру и услуги. Мониторинг позволяет управленческому звену и заинтересованным сторонам постоянно получать информацию о ходе претворения проекта в жизнь. Международная Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) дает немного отличное определение, хотя в нем отмечаются те же основные черты мониторинга: постоянная внутренняя управленческая функция, которая призвана гарантировать достижение намеченных целей программы (ожидаемые итоги) за определенный период времени и в пределах выделенного бюджета (использованных ресурсов и непосредственных результатов деятельности).

Таким образом, мониторинг как инструмент стратегического управления развитием территорий представляет собой систематическое исследование соотношения затрат (ресурсов, человеческих, материальных, финансовых), идущих на выполнение мероприятий программы (программ), ее непосредственных результатов и итогов.

При определении оценки Всемирный банк указывает на такие главные составляющие ее функции, как: периодическая оценка значимости, эффективности работы, результативности и влияния (как запланированного, так и неожиданного) в сравнении со сформулированными задачами. Другими словами, основным объектом оценки выступают не непосредственные результаты мероприятий программы, а ее итоги (промежуточные и конечные).

Таким образом, оценка, как инструмент стратегического управления территориальным развитием, направлена на получение информации по следующим направлениям:

- итог программы (действий программы);



- влияние (польза) программы (действий программы) прямое и опосредованное на население и развитие территории в целом;
- альтернатива (оценка того, было ли возможно изыскать «лучшие», в том числе менее затратные пути к достижению желаемых результатов и итогов программы).

Интегральный критерий оценки программы «итог – влияние – альтернатива» показывает, что главной целью осуществления оценки является отнюдь не выявление нарушений правил и процедур, как это делается при проведении аудита. В данном случае скорее рассматриваются перспективы на будущее. По сути, в процессе и результате оценки делаются систематизированные выводы, которые непосредственно связаны с повышением качества принимаемых управленческим звеном решений, относительно разработки и реализации политики и программ.

Таким образом, анализ практики применения модели БОР в зарубежных странах свидетельствует о том, что современные методы составления бюджета – необходимое, но не достаточное условие для обеспечения эффективного управления общественными финансами. Необходимо сочетание бюджетирования, ориентированного на результат, и стратегического планирования деятельности министерств правительства страны, суть которого – планирование, ориентированное на результат. Механизм объединения данных технологий управления экономическим развитием территорий обеспечивается в рамках системы стратегического управления (рис. 2).

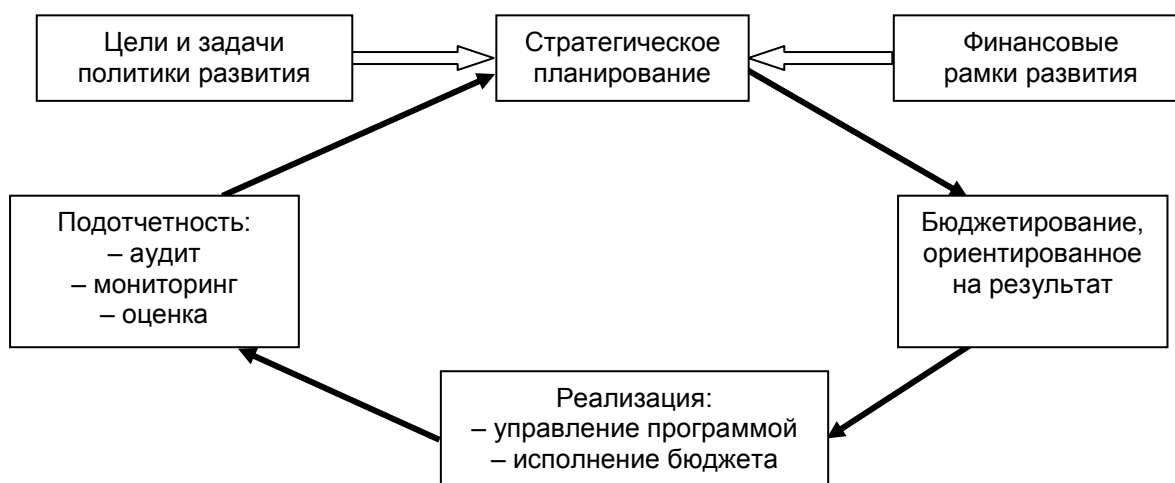


Рис. 2. Система стратегического управления экономическим развитием территорий (опыт Канады)

Основными элементами системы стратегического управления являются: политика, стратегическое планирование, бюджетирование, ориентированное на результат, подотчетность (аудит, мониторинг и оценка). Ключевым элементом данной системы управления рассматривается стратегическое планирование. «В то время как международный опыт нового бюджетирования эффективной деятельности показывает, чего можно достичь в ориентированной на результат подотчетности, когда системы становятся достаточно зрелыми, отправной точкой для использования этих инструментов является точка планирования, а не эффективности работы. Мониторинг эффективности работы и разработка новых механизмов подотчетности на самом деле требуют в качестве необходимой предпосылки создания хороших систем планирования, которые связывают бюджеты с политикой [5, с.56]».

Речь идет о стратегическом планировании, основное предназначение которого в системе стратегического управления рассматривается как обеспечение более высокого уровня контроля за политикой и расходованием средств на уровне портфельного министерства, а также обеспечение связи его деятельности с общими приоритетами правительства, с одной стороны, и с финансовыми ресурсами – с другой. Таким образом, стратегическое планирова-

ние дает механизм для интеграции процесса разработки политики, финансового планирования и планирования расходования средств. Тем самым оно поддерживает достижение задачи обеспечения финансовой дисциплины, прозрачности, принятия решений на основе взаимодействия и ответственности за решения по финансированию.

Для успешной реализации реформы бюджетного планирования в Российской Федерации, основу которой в настоящее время и в долгосрочной перспективе составляет переход на модель БОР, необходимо учесть зарубежный опыт внедрения данной модели управления общественными финансами. Прежде всего, это тот акцент, который правительства зарубежных стран делают на взаимоувязке политики развития, стратегического планирования, бюджетирования, ориентированного на результат, и контролирования итогов выполнения политики развития. Очевидно, что данная цепочка действий должна стать основным критерием оценки модернизации управления социально-экономическим развитием территории.

Частными, но не менее значимыми, характеристиками новой системы управления социально-экономическим развитием территории (стратегического управления) в этой связи должны стать следующие.

1. Среднесрочный период бюджетного планирования (от 3 до 5 лет) и его стратегическая направленность: задача бюджетного планирования – установление связи между стратегическими целями и приоритетами социально-экономического развития государства и приоритетами расходов бюджетных средств территорий (муниципалитетов).

2. Программно-целевой метод бюджетного планирования: исходным в бюджетном планировании является определение цели и задач по ее достижению, а также ожидаемых результатов от решения поставленных задач. Бюджетные расходы «привязываются» к показателям результатов через расчеты их результативности и эффективности.

3. Гибкость оперативного управления финансовыми средствами: возможность переброски средств между статьями и периодами расходов.

4. Сочетание внутреннего и внешнего контроля за результатами деятельности распорядителя бюджетными ресурсами.

5. Мониторинг и оценка успешности программ социально-экономического развития территории по критерию воздействия итогов ее реализации на условия жизни и благополучие местного населения.

В соответствии с предложенными изменениями действующей системы управления стратегический план социально-экономического развития региона должен состоять из двух основных блоков.

Первый блок («политика развития») – важнейшие цели и приоритеты социально-экономического развития региона на долгосрочную перспективу (10-15 лет), а также обоснование ресурсов для их достижения.

Второй блок («планирование развития») – программа социально-экономического развития региона на среднесрочный период (3-5 лет).

Реализация подобного подхода позволит гибко формулировать экономические и социальные цели, приоритеты развития региона, основываясь на его историческом опыте и адаптации этого опыта к конкретным задачам данного и перспективного этапов планирования регионального социально-экономического развития.

Долговременные целевые программы должны занять центральное место в бюджетном процессе на уровне субъекта Федерации – от бюджетного планирования до осуществления бюджетных расходов и проведения контроля за их результативностью. Важным направлением совершенствования бюджетного процесса на основе модели БОР является структурирование финансовых источников реализации стратегического плана (бюджеты всех уровней, средства предприятий, другие источники) на основе сводного финансового плана территории. Среднесрочное бюджетное планирование позволяет увеличить сроки действия налоговых преференций инвесторам и иных форм оказываемой им поддержки. Это позволит орга-

нам управления достоверно определять долговременные финансовые ресурсы и инструменты финансовой политики субъекта Федерации, а инвесторам – иметь критерии оценки эффективности реализации их проектов в регионе.

Среднесрочное и долгосрочное бюджетное планирование дает возможность уточнить основные требования к организационному, законодательному и инфраструктурному обеспечению реализуемых целевых программ и проектов, а также уточнить возможности доступа инвесторов к финансовым ресурсам региона. Все это формирует предпосылки к тому, чтобы бюджет субъекта Федерации служил не только финансовым ресурсом и средством контроля за расходованием государственных средств, но и эффективным инструментом управления финансовыми потоками в регионе. При этом конкретные методики внедрения модели БОР в процесс бюджетного планирования в рамках стратегического управления территорией должны формироваться в зависимости от специфических условий социально-экономического развития каждого субъекта Федерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. «Бунт» врачей // Аргументы и факты. 2009. 3-9 июня.
2. Антонову критикуют строители / Аргументы и факты. 2009. 3-9 июня.
3. Серпилин А. Опыт Великобритании в области управления и бюджетирования, ориентированного на результат / А. Серпилин // Среднесрочное бюджетирование, ориентированное на результаты: международный опыт и российские перспективы: сб. науч. статей. www.bdo.ru.
4. Томпсон Д.Е. Справочная информация по теме: Мониторинг и оценка программ / Д.Е. Томпсон, Т.Р. Робинсон // Семинар по проведению оценки программ. Саратов: ПАГС, 2008. С. 3-10.
5. Робинсон Р.Т. Справочная информация по теме: Элементы системы управления. Основные принципы определения стратегического курса политики, распределения бюджетных средств, управления и отчетности за результаты / Р.Т. Робинсон // Семинар по проведению оценки программ. Саратов: ПАГС, 2008. С. 52-56.

**Иванова Татьяна Борисовна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика» Поволжской академии государственной службы им. П.А. Столыпина, г. Саратов

**Ivanova Tatiyana Borisovna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of «Economics» of Volga Region Academy of Public Administration named after P.A. Stolypin

*Статья поступила в редакцию 15.04.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 657.6

**В.В. Плотникова**

#### **ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ ОТЧЕТНОСТИ**

*Рассматриваются проблемы и недостатки законодательного регулирования процесса формирования консолидированной отчетности. В России обязательным является предоставление индивидуальной отчетности, в то время как на международных рынках приоритет отдается консолидиро-*

*ванной отчетности. Вопросы составления консолидированной отчетности до сих пор не нашли своего отражения в отечественных законодательно-нормативных актах.*

Консолидированная отчетность, индивидуальная отчетность, законы, пользователи финансовой информации.

**V.V. Plotnikova**

## **LEGISLATIVE REGULATION OF CONSOLIDATED FINANCIAL STATEMENT PRESENTING**

*In this article we consider the problems and disadvantages of consolidated financial statements legislative regulation. In Russia it is necessary to present the individual financial statements, although the priority on international markets is given to consolidated financial statement. Questions of making-up the consolidated statement have not found the recognition in the national legislative system.*

Consolidated financial statement, individual financial statement, laws, financial information user.

Консолидированная группа – это экономическое объединение юридически самостоятельных организаций, созданных на основе приобретения большинства прав собственности или прав, обеспечивающих значительное влияние в дочерних и зависимых обществах, действующее как единая хозяйствующая единица и осуществляющее общую финансово-хозяйственную политику с целью получения прибыли и реализации инвестиционных проектов [8]. С юридической точки зрения, консолидированная группа существует только в системе бухгалтерского учета и консолидированной финансовой отчетности.

Законодательное регулирование в России требует предоставления индивидуальной отчетности, в то время как на международных рынках приоритет отдается консолидированной отчетности. Так, в США существует обязательное требование – предоставление консолидированной отчетности всем компаниям, имеющим статус холдингов. А в Японии компании обязаны предоставлять как индивидуальную, так и консолидированную отчетность. Однако при этом индивидуальная отчетность является первичным элементом по отношению к консолидированной.

Согласно ПБУ 1/2008, филиалы и представительства иностранных организаций, находящиеся на территории Российской Федерации, могут формировать учетную политику в соответствии с настоящим Положением, либо исходя из правил, установленных в стране нахождения иностранной организации, если последние не противоречат Международным стандартам финансовой отчетности [4].

Из этого положения следует, что только иностранные организации имеют право использовать Международные стандарты финансовой отчетности при сдаче индивидуальной отчетности своих филиалов и представительств на территории РФ.

Тем не менее вопросы составления консолидированной отчетности до сих пор не нашли своего отражения в отечественных законодательно-нормативных актах.

Следует констатировать факт, что процесс формирования холдинговых структур происходил в России стихийно, без должного экономико-правового обеспечения.

По большому счету, только статьи 105 и 106 ГК РФ, Методические рекомендации и постановления правительства характеризуют гражданское положение дочернего и зависимого обществ. Других официальных документов нет.

«Статья 105. Дочернее хозяйственное общество.

Хозяйственное общество признается дочерним, если другое (основное) хозяйственное общество или товарищество в силу преобладающего участия в его уставном капитале, либо в соответствии с заключенным между ними договором, либо иным образом имеет возможность определять решения, принимаемые таким обществом.

Статья 106. Зависимое хозяйственное общество.

1. Хозяйственное общество признается зависимым, если другое (преобладающее, участвующее) общество имеет более двадцати процентов голосующих акций акционерного общества или двадцати процентов уставного капитала общества с ограниченной ответственностью» [1].

Государственной думой РФ на сегодняшний день принят во втором чтении Федеральный закон «О консолидированной финансовой отчетности» [6]. А проект закона «О холдингах» был отклонен, как противоречащий Гражданскому кодексу РФ. В целом это может быть и правильно. Холдинг – это экономическое, а не правовое объединение юридически самостоятельных лиц. Свое отражение он находит только в консолидированной финансовой отчетности.

Тем не менее, холдинговые отношения должны найти свое юридическое, а не только экономическое обоснование. По существу, материнское общество, как совокупный держатель акций, приобретает право собственности в дочерних и зависимых компаниях. Так почему бы не внести дополнения к Федеральному закону «Об акционерных обществах» [3], отражающие изменения в экономических отношениях по вопросу собственности, касающихся как «материнского» акционерного общества, так и дочерних и зависимых компаний?

Проект Федерального закона «О консолидированной финансовой отчетности» [6] (далее – Федеральный закон), безусловно, является необходимым документом, который уже давно ждут российские холдинговые структуры.

«Статья 1. Отношения, регулируемые настоящим Федеральным законом.

1. Настоящий Федеральный закон устанавливает общие требования по составлению, представлению и публикации консолидированной финансовой отчетности организацией – юридическим лицом в соответствии с законодательством Российской Федерации (далее – организация).

2. Для целей настоящего Федерального закона под консолидированной финансовой отчетностью понимается систематизированная информация, отражающая финансовое положение, финансовые результаты деятельности и изменения финансового положения; рассматриваемых в целях составления данной отчетности как единого хозяйствующего субъекта в соответствии с Международными стандартами финансовой отчетности (далее – МСФО) организации, других организаций, иностранных организаций» [6].

Данное определение консолидированной финансовой отчетности практически ничем не отличается от определения бухгалтерской отчетности, приведенного в статье 2 Федерального закона «О бухгалтерском учете» [3]. По существу термин «организация» заменен на «единый хозяйствующий субъект», и формулировка «на основе данных бухгалтерского учета по установленным нормам» заменена на «в соответствии с Международными стандартами финансовой отчетности».

Первый элемент «как единого хозяйствующего субъекта» имеет определяющее значение при установлении правил консолидированного учета и составления консолидированной финансовой отчетности, так как именно этим консолидированная финансовая отчетность отличается от сводной бухгалтерской отчетности.

На основе норм об обязательном отражении итоговых данных бухгалтерского учета отдельно взятой организации нарастающим итогом с начала отчетного года невозможно составить консолидированную финансовую отчетность. Поэтому наряду с бухгалтерским учетом необходим консолидированный учет, обеспечивающий отражение экономических отношений предприятий группы и позволяющий на основе его данных формировать консолиди-

рованную финансовую отчетность, характеризующую финансовое положение группы как единого хозяйствующего субъекта.

Отмена второго элемента в проекте Федерального закона, к сожалению, не нашла своего отражения в новом Федеральном законе «Об аудиторской деятельности» [2] от 30.12.2008 № 307-ФЗ.

«3. Аудит – независимая проверка бухгалтерской (финансовой) отчетности аудируемого лица в целях выражения мнения о достоверности такой отчетности. Для целей настоящего Федерального закона под бухгалтерской (финансовой) отчетностью аудируемого лица понимается отчетность, предусмотренная Федеральным законом от 21 ноября 1996 года № 129-ФЗ «О бухгалтерском учете», а также аналогичная по составу отчетность, предусмотренная иными федеральными законами» [2].

Следовательно, теперь целью аудита является подтверждение данных о достоверности бухгалтерской (финансовой) отчетности, а не ее соответствия законодательству РФ. Тем не менее, сама отчетность должна быть составлена в соответствии с российским законодательством, в котором нет ни одного законодательного акта о порядке составления и представления консолидированной отчетности. А в целом, понятно, что консолидированная отчетность должна подлежать обязательной аудиторской проверке, так как достоверность ее сведений является основой для принятия решений широкого круга собственников и инвесторов.

Об этом ясно сказано в проекте Федерального закона «О консолидированной финансовой отчетности». «Статья 5. Аудит консолидированной финансовой отчетности. Годовая консолидированная финансовая отчетность подлежит ежегодному обязательному аудиту. Аудиторское заключение представляется и публикуется вместе с указанной консолидированной финансовой отчетностью» [6].

В новой редакции проекта этого закона от 2007 года убран п.3 ст. 2 «Консолидированная финансовая отчетность и содержащиеся в ней сведения не могут быть использованы в целях осуществления налогового администрирования и налогового контроля». Другими словами, новый проект подразумевает, что консолидированная группа предприятий признается совокупным налогоплательщиком. А значит, внутрихолдинговые обороты автоматически выводятся из-под налогообложения. И это является основной мотивацией добровольности составления консолидированной финансовой отчетности.

Еще одним так и не законченным проектом, рассматривающим, в том числе, и вопросы консолидированной отчетности, является проект Федерального закона «О бухгалтерском учете» [5].

Согласно этому проекту «12. Правовое регулирование консолидированной финансовой отчетности осуществляется в соответствии с настоящим Федеральным законом, если иное не установлено другими федеральными законами» [5]. Больше ни слова не сказано о том, как и для каких целей должна составляться консолидированная отчетность. Таким образом, подразумевается, что порядок и правила составления консолидированной отчетности должны соответствовать этому проекту закона. Такая ситуация не может не вызвать возмущения. Ведь цели, методы и пользователи консолидированной отчетности во многом отличаются от индивидуальной отчетности.

Современная нормативно-правовая база бухгалтерского учета в России находится в состоянии постоянного реформирования, поэтому противоречия между отдельными нормативными документами разного уровня неизбежны.

В связи с этим появляется необходимость рассмотрения всего возможного круга пользователей консолидированной, материнской и дочерней отчетности с целью определения их влияния на необходимость составления и первичность каждой из отчетности.

В общем виде пользователями финансовой отчетности являются собственники, инвесторы, аналитики, руководство компаний, кредиторы, работники, государственные органы и общественность.

Поскольку финансовая отчетность является непрерывной, она не может удовлетворить потребности всех пользователей. Пользователи нуждаются в большем объеме информации, которая может предоставляться в виде дополнительных раскрытий. Кроме того, существуют неотъемлемые ограничения в финансовой отчетности, которые делают условными факты хозяйственной деятельности. Также отчетность не отражает будущие события, сделки и потенциальные изменения в экономической среде.

Для удовлетворения всех пользователей финансовой отчетности необходимо, чтобы отчетность была существенной, надежной, понятной и сопоставимой.

Поскольку в отечественном законодательстве приоритет отдается индивидуальной отчетности, то и круг пользователей такой отчетности в первую очередь связан с государственными органами. Целью индивидуальной российской отчетности является предоставление достаточных данных для пополнения государственного бюджета в виде налоговых платежей. Конечно, это предположение не лишено недостатков, это хорошо видно в целевом финансировании компаний, работающих по приоритетным федеральным проектам. Тем не менее, круг таких компаний достаточно узок, особенно если проанализировать «помощь» государства крупным компаниям, пострадавшим за счет недавно проявившего себя финансового кризиса. Законы рынка и конкуренции для того и существуют, чтобы выживал сильнейший. А расходование денег налогоплательщиков на покрытие убытков нерентабельных предприятий не является важной задачей государственной политики России.

В этом плане данные консолидированной отчетности являются наиболее существенными, поскольку основной целью создания холдингов являются взаимовыгодные обмен и распределение ресурсов различных компаний. И если какое-то звено холдинга работает нерентабельно, то остальные компании оказывают ему поддержку.

Исходя из этого, данные консолидированной отчетности являются приоритетными как для акционеров материнской компании, так и для акционеров доли, не обеспечивающей контроль. И в этом случае органы государственного регулирования не могут оказывать влияния на принятие решений акционеров холдинга.

В последние годы консолидированный учет и отчетность приобретают все более широкое применение, поскольку происходит расширение капиталов и инвестиций. Для выхода на европейский и международный уровни необходимо руководствоваться международными принципами учетных процедур консолидации. Инвесторы требуют информацию о деятельности всего холдинга, а не отдельных его звеньев, с целью принятия как долгосрочных, так и краткосрочных решений.

Основной целью консолидированной финансовой отчетности является создание эффективной системы обмена надежной информацией, которая является полезной для:

- действующих и потенциальных инвесторов, кредиторов и других пользователей, принимающих экономические решения;
- действующих и потенциальных инвесторов, кредиторов и других пользователей, оценивающих целевое управление доверенными ресурсами и способность компании рационально распределять эти ресурсы;
- действующих и потенциальных инвесторов, кредиторов и других пользователей, оценивающих способность компании генерировать денежные потоки.

Для этих целей в России необходимо сделать обязательный (принудительный) акцент на рассмотрении данных консолидированной отчетности как основополагающем финансовом отчете, а индивидуальную отчетность рассматривать в качестве дополнительного элемента.

В связи с этим встает вопрос, какая информация является наиболее полезной для пользователей: консолидированная, материнская или дочерняя? Практика показывает, что информация, содержащаяся в консолидированной отчетности, является более существенной, чем информация в отчетности материнской и дочерней компаний по отдельности. Однако огромное влияние на показатели консолидированной отчетности оказывают данные дочер-

них компаний, позволяющие своевременно контролировать и прогнозировать показатели консолидированной отчетности. Это объясняется тем, что в общем материнская компания является основой для консолидации данных всей группы и она первоначально работает для целей консолидации, в то время как дочерние компании ведут свою политику, исходя из собственных нужд. Поэтому необходимо обязательное сопоставление данных материнской и дочерних компаний с целью оптимизации показателей консолидированной отчетности.

Создание консолидированных групп предприятий принципиально ничем не отличается от любого инвестиционного проекта, но требует детальной проработки многих дополнительных вопросов. После принятия решения о создании холдинговой структуры нужно разработать механизм ее функционирования. Прежде всего, нужны четкие методологические разработки способов создания жизнеспособных систем, структуры их взаимосвязи, характера движения, границ развития, законов воспроизводства. Нужна единая целостная теоретическая основа, объясняющая концентрацию производства и капитала в обособленные экономические образования – консолидированные группы предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гражданский кодекс РФ // Правовая система «Гарант».
2. Федеральный закон «Об аудиторской деятельности» от 30.12.2008 № 307-ФЗ // Правовая система «Гарант».
3. Федеральный закон «О бухгалтерском учете» от 21.11.1996. № 129-ФЗ // Правовая система «Гарант».
4. Приказ Минфина РФ от 06 октября 2008 №106н «Об утверждении Положения по бухгалтерскому учету «Учетная политика» (ПБУ 1/2008)» // Правовая система «Гарант».
5. Проект Федерального закона «О бухгалтерском учете» от 15.02.2010. <http://www.minfin.ru>.
6. Проект Федерального закона «О консолидированной финансовой отчетности», принятый Государственной думой во втором чтении от 13.11.2007 г. <http://www.minfin.ru>.
7. Международные стандарты финансовой отчетности 2008: издание на русском языке М.: Аскери-АССА, 2008. 1066 с.
8. Плотников В.С. Основы консолидированного учета: методологические аспекты / В.С. Плотников. Саратов: Издат. центр СГСЭУ, 2000. 192 с.

**Плотникова Вера Викторовна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Анализ хозяйственной деятельности и аудит» Саратовского государственного социально-экономического университета

**Plotnikova Vera Viktorovna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of «Analysis and Auditing» of Saratov State Social-Economic University

*Статья поступила в редакцию 22.04.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 330.56:001.891.3

**Е.Г. Решетникова**

#### **РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ РЕГИОНАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕНЕЖНЫХ ДОХОДОВ И РАСХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ**



*Рассмотрены проблемы определения уровня денежных доходов и расходов населения региона на основе макро- и микроэкономического подходов, показана назревшая необходимость совершенствования методики расчёта статей баланса денежных доходов и расходов населения, проанализированы тенденции динамики структуры этого баланса за десять лет на примере Саратовской области.*

Денежные доходы и расходы, региональный баланс.

**E.G. Reshetnikova**

### **THE DEVELOPMENT OF POPULATION INCOMES AND EXPENDITURES OF REGIONAL BALANCE METHODOLOGY**

*The author studies the issues of identifying money incomes and expenditures level for the population by the use of macro- and microeconomic approaches, shows the calculation methods improving urgency of population money income and expenditure balance entries and analyzes the trends in the dynamics of this balance structure for Saratov Region in a decade.*

Incomes and expenditures, regional balance.

Факторами, непосредственно воздействующими на величину и структуру платежеспособного спроса населения, являются экономические факторы, среди которых ведущее место принадлежит денежным доходам населения. Поэтому при исследовании закономерностей спроса необходимо выявление тенденций изменения величины и структуры денежных доходов населения. При этом анализ состояния данной составляющей уровня жизни целесообразно проводить в двух плоскостях: на основе баланса денежных доходов и расходов (макроэкономический подход с использованием средних параметров) и данных бюджетных обследований домохозяйств (микроэкономический подход на базе применения дифференцированных показателей по социально-семейным доходным группам).

Когда речь идёт об изучении объёма и структуры рыночного спроса в регионе, целесообразно использовать данные баланса денежных доходов и расходов населения. Если ставится задача исследования спроса в условиях сегментирования потребительского рынка, то необходимо имеющуюся картину дополнять дифференцированным подходом на основе данных бюджетной статистики.

Как показывает анализ мнений специалистов и конкретной практики, сохраняется множество вопросов к обоим источникам информации. Существующие схема и методология составления регионального баланса денежных доходов и расходов населения нуждаются в совершенствовании, адаптации к современным рыночным реалиям. Как известно, баланс денежных доходов и расходов населения является одним из основных источников информации, характеризующей объём и структуру денежных доходов, расходов и сбережений населения, которая находит отражение в государственной статистике, отчётах финансовых органов и внебюджетных социальных фондов. Проблемными, по мнению специалистов, с точки зрения полноты охвата являются следующие статьи баланса: доходы от предпринимательской деятельности, оплата труда наёмных работников, покупка товаров и оплата услуг, сбережения во вкладах и ценных бумагах, изменение задолженности по кредитам, превышение доходов над расходами [1, с.9].

В статье доходной части баланса «Доходы от предпринимательской деятельности» отражена часть прибыли, полученной индивидуальными предпринимателями, направленная

на накопление и личное потребление. Для большей объективности в ней должны быть отражены доходы от продажи товаров и оказанных услуг, которые официально не отражены в бухгалтерской и статистической отчётности. Например, расходы населения в игровых заведениях, доходы индивидуальных предпринимателей без образования юридического лица. Сложности возникают при определении доходов и расходов индивидуальных предпринимателей и наиболее обеспеченных слоёв населения, занятых в различных рыночных структурах. По мнению специалистов, помимо той части доходов, которая отражается в фонде оплаты труда, такие доходы, как процент от торговой выручки, покупка за счёт предприятия или организации автомобилей, квартир, денежная помощь на строительство и обустройство жилья и т.д., не могут быть в полной мере учтены ни статистическими, ни налоговыми органами [2, с.20].

Следующая важнейшая статья доходной части баланса, также нуждающаяся в корректировке в силу значительного объёма теневых доходов – «Оплата труда наёмных работников». По мнению экспертов, определённая часть выплат заработной платы работникам предприятий не отражается в статистической и бухгалтерской отчётности, что приводит к уменьшению доходной части баланса и искажает его структуру. Среди конкретных мер по легализации скрываемых доходов предлагается проведение регулярных совместных проверок финансово-хозяйственной деятельности предприятий налоговыми и статистическими организациями, создание единой информационной базы данных, объединяющей отдельные показатели финансово-хозяйственной деятельности предприятий и организаций.

По статье «Покупка товаров и оплата услуг» проблема состоит в необходимости оценки объёмов продаж товаров и оказанных услуг в сфере деятельности малых предприятий и индивидуальных предпринимателей, которые в современных условиях учитываются на выборочной основе. Юридический статус торговых сетей, получивших распространение в регионах, не всегда позволяет получить полную информацию как об организации в целом, так и по отдельным подразделениям, так как многие известные торговые сети имеют статус субъекта малого предпринимательства. Поэтому важно проведение сплошного обследования деятельности этих хозяйствующих субъектов с целью уточнения методики расчёта объёмов оборота розничной торговли и платных услуг, поскольку эти показатели оказывают существенное влияние на формирование и структуру доходной и расходной частей баланса.

Статья «Сбережения во вкладах и ценных бумагах» также нуждается в определённой корректировке. В состав данной статьи входят: прирост (уменьшение) вкладов в учреждениях Сбербанка; прирост (уменьшение) вкладов в коммерческих банках; прирост (уменьшение) средств физических лиц, депонированных в банках, для расчётов с использованием банковских карт; приобретение государственных и других ценных бумаг. Однако банковские вклады не исчерпывают все сбережения физических лиц. Наблюдается отток денежных средств в различные паевые инвестиционные фонды (ПИФы) и брокерские фирмы. В настоящее время такого рода вклады методикой построения баланса не учитываются. Это связано с тем, что предоставление данной информации не предусмотрено утверждённой финансовой отчётностью, направляемой в статистические органы и банковские структуры.

Результатирующей статьёй баланса денежных доходов и расходов являются статьи «Превышение доходов над расходами» или «Превышение расходов над доходами». Данная статья в территориальном балансе характеризует изменение остатка денег на руках у населения и сальдо миграции денег за пределы региона. В различных регионах ситуация с размером этой статьи далеко не одинакова. Например, для Саратовской области на протяжении достаточно большого промежутка времени характерно превышение доходов над расходами. В 2004 г. превышение такого рода составило 10,1% от величины денежных доходов, в 2007 и 2008 гг. соответственно – 10,0 и 8,5%.

Таким образом, основной проблемой методики построения баланса является недоучёт теневых доходов, неполное отражение в существующих статистических формах деятельно-

сти субъектов малого предпринимательства, а также отсутствие данных о вкладах населения денежных средств в паевые инвестиционные фонды.

На примере баланса денежных доходов и расходов населения Саратовской области можно проследить динамику соотношения спроса и предложения в регионе областного типа на протяжении десяти лет, с 1998 по 2008 гг. Это десятилетие включало и заключительный этап функционирования транзитивной экономики, и поступательное развитие рыночной экономики, и начало глобального экономического кризиса.

Осуществляемый на протяжении нескольких десятков лет мониторинг денежных доходов и расходов населения Саратовской области позволяет констатировать, что сложные социально-экономические процессы глобального характера имеют специфическое преломление в показателях денежных доходов и потребительских расходов, соотношение которых отражает положительные или негативные тенденции, сложившиеся в хозяйственном комплексе. Особенно ярко эта взаимосвязь проявилась в последнее десятилетие в условиях зарождения и становления рыночных институтов.

Как видно из табл. 1, в доходной части баланса могут быть отмечены следующие тенденции. Доходы от предпринимательской деятельности по удельному весу в период 1998-2000 гг. (этап переходной экономики) имели тенденцию к росту – с 10,7 до 16,0%. Для этапа стабильной рыночной экономики был характерен их относительно постоянный удельный вес на уровне 13-14,4% в 2000-2005 гг. В 2007-2008 гг. может быть отмечено уменьшение доли этого параметра в доходной части баланса с 8,1 до 7,8%. Известно, что для предпринимательского сектора характерны процесс сокрытия доходов, уход от налогообложения. Можно предположить, что в 2007-2008 гг. эти процессы стали более интенсивными.

Удельный вес статьи «Оплата труда наёмных работников» несколько увеличился в конце рассматриваемого периода – с 37,7% в 1998 г. до 40,5% в 2007 г. и 39,4% в 2008 г. Доля социальных трансфертов была относительно стабильной на протяжении всего рассматриваемого десятилетия. Максимум в 18,8% отмечался в 2002 г., в целом с 1998 по 2008 гг., доля этой статьи увеличилась на 0,5 п.п. Наиболее стабильными составляющими социальных трансфертов были пенсии и стипендии. Однако доля и пенсий, и стипендий несколько сократилась к 2008 году: на 1,0 и 0,1 п.п. соответственно. Зато вырос удельный вес пособий и социальной помощи – на 1,0 п.п. и страховых возмещений – на 0,7 п.п.

Таблица 1

Динамика структуры денежных доходов населения Саратовской области в 1998-2008 гг.  
(в % к величине денежных доходов)<sup>1)</sup>

Показатели	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008
1. Доходы от предпринимательской деятельности	10,7	14,0	16,0	14,4	13,4	13,6	13,1	13,0	8,1	7,8
2. Оплата труда наёмных работников	37,7	35,9	33,7	34,2	34,6	34,9	35,0	35,0	40,5	39,4
3. Доходы наёмных работников от предприятий и организаций, кроме оплаты труда	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	1,9	1,7	1,8	1,8
4. Социальные трансферты, в т.ч.:	17,2	17,3	16,7	17,2	18,8	17,1	16,6	16,0	17,2	17,7
пенсии	14,1	14,7	14,0	14,4	15,1	14,4	14,1	13,8	12,4	13,1
пособия и социальная помощь	2,5	2,1	2,0	1,9	3,0	1,9	1,5	1,7	3,7	3,5
стипендии	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
страховые возмещения	0,1	0,1	0,3	0,6	0,5	0,6	0,8	0,4	0,8	0,8
5. Доходы от собственности, в т.ч.:	3,7	4,0	4,1	3,5	3,5	6,2	4,4	8,1	5,5	6,0
дивиденды	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6	3,4	1,4	5,0	2,5	3,8
проценты по депозитам	1,9	2,5	2,0	1,1	1,3	1,3	1,2	1,1	1,4	1,2

выплаты доходов по государственным и другим ценным бумагам	1,2	0,8	1,4	1,4	1,0	1,0	1,2	1,6	1,1	0,6
предварительная компенсация по вкладам	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,5
доходы от продажи недвижимости	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	-	-
6. Доходы от продажи иностранной валюты	3,5	3,1	3,3	2,4	2,1	3,6	2,8	2,5	2,0	1,6
7. Другие доходы	25,1	23,4	23,8	25,9	22,5	26,1	18,8	23,5	24,9	25,6

<sup>1)</sup>Таблицы 1 и 2 рассчитаны автором на основе балансов денежных доходов и расходов населения Саратовской области за 1998-2008 гг.

Доля доходов от собственности менялась скачкообразно, то возрастая, то сокращаясь, в целом за десять лет она повысилась на 2,3 п.п. с 3,7 до 6,0%. В то же время значительно возросло значение такой составляющей доходов, как дивиденды, с 0,2 до 3,8%, а проценты по депозитам, наоборот, снизились – с 1,9 до 1,2%, как и выплаты доходов по государственным и другим ценным бумагам – с 1,2 до 0,6%. Доля предварительной компенсации по вкладам возросла с 0,2 до 0,5%.

В течение рассматриваемого промежутка времени последовательно снижался удельный вес такой статьи баланса как «Доходы от продажи иностранной валюты» – с 3,5 до 1,6%. Относительная величина статьи «Другие доходы» была неизменно высока, имея максимальное значение в 2001 г. – 25,9% и минимальное в 2004 г. – 18,8%. В целом за анализируемые десять лет её доля увеличилась на 0,5 п.п. и составила в 2008 г. – 25,6%. Сохранение на прежнем уровне – около четверти всех доходов – доли рассматриваемой статьи баланса является негативным моментом, так как она в определённой степени отражает теневые доходы.

В расходной части баланса имело место развитие некоторых позитивных тенденций (табл. 2). Это касается снижения доли потребительских расходов в целом во всех расходах и доли расходов на покупку товаров. Такая тенденция свидетельствует о некотором росте уровня жизни и возможности использовать денежные средства не только на потребление, но и на накопление. Однако при существующей практике сбора статистических данных в торговле возможен недостаточно полный учёт объёмов покупок товаров на предприятиях малого бизнеса. За десять лет доля расходов на покупку товаров и оплату услуг сократилась на 9,0 п.п. – с 85,9 до 76,9%, а доля расходов на покупку товаров – на 8,0 п.п., с 69,8 до 61,8%. Удельный вес оплаты услуг в целом снизился с 16,1 до 15,2%, а по отдельным услугам картина складывалась не столь однозначно. Так доля оплаты жилья и коммунальных услуг за десять лет не изменилась, составив в 2008 г. 4,2%. Максимум этого показателя был характерен для 2005 г. (4,9%), а минимальный уровень – для 1999 г. (3,8%). В то же время практически в 2 раза возросла доля расходов на путёвки в санатории, туризм и медицинские услуги (с 0,6 до 1,2%). Доля расходов на все виды пассажирского транспорта была достаточно стабильна, а удельный вес бытовых услуг во всех расходах имел тенденцию к сокращению (с 4,6 до 1,4%).

Настораживает рост обязательных платежей и взносов с 7,2% в 1998 г. до 11,5% в 2008 г., а также сокращение особенно в 2008 году доли прироста организованных сбережений населения – соответственно с 2,4 до 1,4%, что свидетельствует о снижении интереса к хранению денежных средств в банках и поиске альтернативных вариантов сохранения сбережений. О последнем свидетельствует рост доли расходов на покупку недвижимости с 0,3 до 2,2% и расходов на покупку иностранной валюты – с 4,2 до 4,6%.

Динамика структуры денежных расходов населения в Саратовской области в 1998-2008 гг.  
(в % к величине денежных расходов)

Показатели	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008
1. Покупка товаров и оплата услуг:	85,9	85,7	82,6	82,1	78,5	74,9	76,7	75,9	76,3	76,9
в том числе:										
покупка товаров	69,8	71,3	66,8	67,1	62,9	59,4	60,8	59,7	60,2	61,8
оплата услуг и другие расходы:	16,1	14,3	15,8	15,0	15,5	15,5	15,9	16,2	16,1	15,2
в том числе:										
оплата жилья и коммунальных услуг	4,2	3,8	4,1	4,0	4,2	4,2	4,5	4,9	4,4	4,2
расходы на путёвки в санатории, туризм и медицинские услуги	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,8	1,2	1,2
расходы на все виды пассажирского транспорта	2,4	2,6	3,0	2,8	2,9	2,7	2,9	2,8	2,6	2,5
оплата бытовых услуг	4,6	3,5	3,5	2,8	2,3	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4
2. Обязательные платежи и разнообразные взносы:	7,2	5,0	6,2	6,0	6,4	6,6	7,8	7,5	9,7	11,5
в том числе:										
налоги и сборы	6,1	3,9	4,6	4,8	5,3	5,4	5,7	6,0	6,5	6,9
3. Прирост (уменьшение) сбережений во вкладах и ценных бумагах	2,4	5,2	6,4	5,1	5,0	7,8	4,9	6,7	6,0	1,4
4. Расходы на покупку недвижимости	0,3	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	2,0	1,9	3,0	2,2
5. Расходы на покупку иностранной валюты	4,2	3,9	4,5	3,6	3,9	3,6	4,4	3,7	3,5	4,6

Текущий процесс образования сбережений характеризуется показателем «сберегательная квота», отражающим отношение образованных за тот или иной период сбережений к источнику их происхождения (денежным доходам населения). В 2001-2002 гг. сберегательная квота была на уровне 4,3-4,4%. В 2003 г. сберегательная квота достигла 6,1%, однако в 2004 г. снизилась до 3,6%. В 2007 г. она составила 5,6%, в 2008 г. – всего 1,4%.

Балансовый метод имеет огромное значение в регулировании доходов населения, согласовании платёжеспособного спроса и товарного предложения. Однако существует много проблем в методологии и методике составления баланса денежных доходов и расходов населения, что обусловлено недавним переходом к новой системе учёта, характерной для рыночной экономики, – системе национальных счетов, а также значительной долей теневых доходов, которые достаточно сложно улавливаются традиционными методами. Поэтому перспективным направлением исследования доходов и личного потребления, выявления размеров избыточного неравенства, являются различные модификации межотраслевого баланса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеева Д. О совершенствовании методологии баланса денежных доходов и расходов населения / Д. Матвеева // Вопросы статистики. 2008. № 11. С. 9-11.
2. Глушанок Т. Об определении доходов населения региона / Т. Глушанок // Вопросы статистики. 2008. № 8. С. 19-21.

**Решетникова Елена Геннадиевна** –  
доктор экономических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник

**Reshetnikova Elena Gennadiyevna** –  
Doctor of Economic Sciences,  
Professor, Leading Researcher

УДК 338

**А.М. Руст, В.Н. Суязов**

### **БИЗНЕС-МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В управлении как предприятием в целом, так и отдельными аспектами его деятельности достаточно широко применяется бизнес-моделирование, основанное на построении и описании соответствующих бизнес-моделей. Особенно актуальным это является для управления инновационным развитием предприятия. В данной статье изложен авторский подход к построению бизнес-модели инновационного развития промышленных предприятий.*

Инновационное развитие, бизнес-моделирование.

**A.M. Rust, V.N. Suyazov**

### **BUSINESS MODEL OF INNOVATIVE ENTERPRISE DEVELOPMENT**

*Business modeling is widely used in the administration of enterprise as a whole and certain aspects of it. This method is based on building and description of corresponding business models which is extremely important for the administration of enterprise innovative development. This article contains the authors point of view on the structuring of innovative enterprise development.*

Innovative development, business modeling.

В последние годы активно расширяется использование бизнес-моделей для управления предприятиями и отдельными сферами их деятельности. Бизнес-моделирование представляет собой процесс разработки различных бизнес-моделей предприятия (стратегия, процессы, оргструктура, ресурсы и т.п.) с целью формализации и оптимизации деятельности предприятия. Существуют различные подходы к определению понятия «бизнес-модель». Так, в [1] говорится, что бизнес-модель – это метод устойчивого ведения бизнеса. Следует отметить, что такое определение недостаточно конкретно, к тому же в нем модель идентифицируется с методом, а это разные понятия. В [2] под бизнес-моделью понимается совокупность способов ведения бизнеса в компании (ее структура, продукция, способы доставки и обслуживания товаров, повышение рыночной стоимости), правил ведения этого бизнеса, лежащих в основе стратегии компании, а также критериев определения деловых показателей. Она принимает во внимание инфраструктуру, необходимую для продвижения продукта или услуги на рынок таким образом, который как удобен, так и прост для покупателя, и в то же самое время прибылен для фирмы. Такой подход также недостаточно раскрывает сущность именно модели. Более конкретно следующее определение, данное в [3]. Бизнес-модель – это формализованное описание (графическое, табличное, текстовое, либо в нотации специализированного программного продук-

та) определенного аспекта или сферы деятельности предприятия. Например, модели стратегических целей и показателей, стратегические карты, модели бизнес-процессов, модели оргструктуры, модели библиотек документов и т.п. Однако такое определение применимо практически ко всем моделям. А.Ю. Солянтэ в работе [4] указывает на следующие ключевые признаки бизнес-модели:

- ценность для внешних клиентов, которую предлагает компания на основе своих продуктов и услуг;
- система создания этой ценности, включающая поставщиков и целевых клиентов, а также цепочки создания ценности;
- активы, которые компания использует для создания ценности;
- финансовая модель компании, определяющая, как структуру ее затрат, так и способы получения прибыли.

Бизнес-модель строится из разнообразных компонентов бизнеса, которые включают предпринимательство, стратегию, экономику, финансы, операции, конкурентные стратегии, маркетинг и стратегии устойчивого роста. Можно сказать, что бизнес-модель описывает, как бизнес позиционирует себя в цепочки создания ценности в рамках своей отрасли и как он собирается себя обеспечивать, т.е. создавать прибыль.

Исходя из изложенного, считаем возможным предложить следующее определение рассматриваемого понятия: бизнес-модель представляет собой формализованное описание принципов, способов, процессов, ресурсов создания и доведения ценности организации до потребителя. Эффективность бизнес-модели обеспечивается за счет ее соответствия внешним и внутренним возможностям (ресурсам) организации, ее соответствия стратегическим целям развития предприятия и согласованности между собой работы и построения основных ее компонентов. Соответственно можно выделить следующие этапы выработки эффективной бизнес-модели и основные проблемы, требующие решения:

1. Анализ бизнес-модели отрасли.
2. Анализ существующей бизнес-модели предприятия.
3. Ориентиры стратегии развития предприятия.
4. Определение новой бизнес-модели.
5. Конкретизация новой бизнес-модели.

Неверным было бы полагать, что бизнес-модель – это просто комплект документов, описывающий только бизнес-процессы предприятия. На самом деле в основе бизнес-модели всегда лежат **бизнес-цели предприятия**, по большому счету полностью определяющие состав всех базовых компонентов бизнес-модели [1]:

- **бизнес-функции**, описывающие, что делает бизнес;
- **бизнес-процессы**, описывающие, как предприятие выполняет свои бизнес-функции;
- **организационная структура**, определяющая, где исполняются бизнес-функции и бизнес-процессы;
- **фазы**, определяющие, когда (в какой последовательности) должны быть внедрены те или иные бизнес-функции;
- **роли**, определяющие, кто исполняет бизнес-процессы;
- **правила**, определяющие связь между что, как, где, когда и кто.

Тем не менее, описание бизнес-процессов, как наиболее трудоемкая и чреватая многими ошибками задача, нуждается в конкретной методологической платформе. Поэтому существует наиболее устоявшийся перечень атрибутов, которые модель бизнес-процессов должна описывать на изобразительном уровне, а именно:

- **воздействия**, инициирующие каждый шаг бизнес-процесса;
- **исполнители** каждого шага (это могут быть как люди, так и программы и механизмы);

– **воздействия**, регламентирующие данный шаг (законодательные акты, рыночные условия и т.п.);

– **результат**, получаемый на выходе конкретного шага бизнес-процесса.

Существует 4 основных способа разработки бизнес-моделей. Перечислим их в порядке убывания уровня эффективности построения и использования бизнес-моделей.

– в нотации (правилах) специализированного программного продукта: комбинация графики, таблиц и текста;

– графический: дерево, блок-схема, технологическая карта и т.п.;

– табличный;

– текстовый.

Один из самых распространенных способов построения бизнес-моделей – это дерево (или иерархический список), которое позволяет перечислить все элементы бизнес-модели, показать связи (подчинение, включение и т.п.) между ними и параметры каждого элемента.

Таблица также является распространенным способом построения бизнес-моделей, который позволяет перечислить все элементы бизнес-модели (по строкам) и дать им подробные характеристики (по столбцам). Самый известный пример – это матрица (таблица) распределения ответственности.

Пожалуй, наименее эффективным способом построения бизнес-моделей является текстовое описание. В тексте очень проблематично формализовать сложные бизнес-модели, отследить взаимосвязи между их элементами.

Самый оптимальный вариант – это комбинация трех способов разработки бизнес-моделей (графика, таблица, текст), который и реализован практически во всех профессиональных продуктах бизнес-моделирования.

Если совокупность бизнес-моделей охватывает большинство основных сфер деятельности и систем управления на предприятии, то такая совокупность называется комплексной бизнес-моделью предприятия [3]. Комплексная бизнес-модель предприятия, которая содержит типовые успешные практики и решения, типовые модели, документы, регламенты по основным областям менеджмента и бизнес-инжиниринга на предприятии, называется комплексной типовой бизнес-моделью предприятия.

Построение комплексной бизнес-модели позволит:

– значительно сократить временные и финансовые затраты на реализацию проекта формализации и оптимизации деятельности предприятия и других проектов организационного развития;

– быстро и качественно проектировать новые продукты/услуги и бизнес-процессы;

– внедрить в деятельность предприятия успешные практики, реализуемые в отрасли;

– повысить качество сервиса и внутренней деятельности;

– повысить оперативность и качество принимаемых управленческих решений;

– связывать стратегию со всеми элементами и системами управления на предприятии (бизнес-процессы, персонал, проекты, ИТ и т.д.);

– высвободить время руководителей от выполнения рутинных функций, принимать своевременные и правильные управленческие решения.

Комплексная типовая бизнес-модель предприятия является эффективным инструментом и информационно-методическим пособием по формализации и совершенствованию деятельности предприятия. Она применима, как для предприятий, которые начинают с нуля описание бизнес-процессов и формализацию деятельности, так и для предприятий, которые продолжают актуализировать и совершенствовать уже описанные бизнес-процессы и другие элементы деятельности. Бизнес-модель предприятия содержит успешные практики и решения, модели, документы, регламенты по основным областям менеджмента и бизнес-инжиниринга на предприятии: стратегия и BSC, бизнес-процессы, организационная структу-



ра и персонал, продукция, качество и ISO 9000, регламентация и документооборот, системная архитектура, многое другое.

В [3] говорится, что бизнес-модель предприятия включает 4 группы бизнес-моделей в соответствии с основными системами управления на предприятии: стратегическое управление, управление бизнес-процессами, управление персоналом и оргструктурой, управление качеством. В каждой группе находятся различные бизнес-модели по конкретным аспектам, соответствующим группе – системе управления. 5-я группа «Объекты деятельности и ресурсы» является составной из различных вспомогательных бизнес-моделей. Однако представляется необходимым особо выделить такую важнейшую бизнес-модель как модель инновационного развития предприятия. Говоря об инновационном развитии, необходимо подчеркнуть его опору на интенсивные факторы – знания, информацию, технологии и т.п., что позволяет обеспечить стратегические конкурентные преимущества, т.е. конкурентоспособность предприятия в долгосрочном периоде. Не требует доказательства тот факт, что именно такого рода факторы обеспечивают не просто количественный рост, но и качественное изменение состояния предприятия. В качестве других существенных черт инновационного развития предприятия следует выделить:

- целенаправленность (развитие не может быть бесцельным);
- системность (управление инновационным развитием строится на основе системного подхода);
- неуклонность (выражается в стремлении менеджмента предприятия методично и последовательно развивать его на основе инноваций);
- восприимчивость к изменениям (система, по тем или иным причинам не воспринимающая позитивные изменения, не способна к инновационному развитию);
- наличие соответствующей системы управления (управление инновационным развитием требует формирования соответствующей системы, включающей субъект управления, механизм управления, объект управления и систему прямых и обратных связей).

Учитывая изложенное, инновационное развитие предприятия следует рассматривать в двух взаимосвязанных аспектах:

- как целенаправленное неуклонное повышение конкурентоспособности и экономической эффективности предприятия, основанное на интенсивных факторах развития (знаниях, информации, передовых технологиях и т.п.);
- как целенаправленное постоянное совершенствование и повышение эффективности собственно инновационной деятельности предприятия.

Соответственно бизнес-модель инновационного развития предприятия должна отражать, каким образом инновационная концепция будет трансформироваться в экономическую ценность для потребителя, предприятия, государства, учредителей и партнеров. Она представляет собой формализованное описание принципов, способов, процессов, ресурсов, обеспечивающих вышеуказанную трансформацию. Такая модель должна включать в себя следующие элементы:

- цели инновационного развития;
- модель разработки стратегий инновационного развития;
- модель бизнес-направлений инновационного развития;
- ресурсы инновационного развития;
- систему показателей оценки эффективности инновационного развития;
- модель управления бизнес-процессами инновационного развития;
- структура управления инновационным развитием.

При построении бизнес-модели инновационного развития особое внимание должно быть уделено бизнес-процессам инновационной деятельности. Для определения содержания бизнес-процесса инновационной деятельности можно воспользоваться подходом к

проектированию любых административных бизнес-процессов. Это проектирование включает ряд этапов.

На первом этапе определяются начальные позиции организации путем структурирования первичных процессов, которые имеют решающее значение для банковской деятельности. Здесь следует определить методы администрирования и механизм управления каждого из них. Данная задача может быть решена путем описания продуктов, являющихся результатом данного процесса, а также определения стадий исполнения и контроля операций; постадийных процедур управления.

На втором этапе дается определение информационного обеспечения. На основе анализа структурированных первичных процессов осуществляется формализация информации, необходимой для совершенствования первичных бизнес-процессов по стадиям организации, продуктам, технологиям, с учетом специфики продажи. Для решения данной задачи требуется выявить все возможные параметры продуктов первичных процессов и их востребованность внешними и внутренними пользователями, определить факторы востребованности, выявить взаимосвязи факторов и стадий бизнес-процессов, определить контрольные переменные параметров, критерии качества информации, средства ее контроля и документирования.

На третьем этапе осуществляется проектирование логической структуры. Требуется интеграция информации, полученной на первых двух этапах, которая могла бы обеспечить структурирование собственно бизнес-процесса инновационной деятельности, направленной на развитие продуктового ряда, технологии, организации и коммуникации первичных процессов.

На четвертом этапе проводится проектирование физической структуры бизнеса. На основе проекта логической структуры бизнес-процесса формируется организационная структура функционирования процесса, где определены участники (подразделения и специалисты), которые осуществляют конкретные функции по реализации выявленных ранее процедур; взаимосвязи между ними; форматы результатов взаимодействия участников в рамках цикла появления и типизации инноваций. Именно на этой стадии формируется новая модель организации первичного процесса. Она формализуется в регламентах технологического процесса, принятия решения и трудовых приемов, регламентах исполнительских и контролирующих действий, оценке результатов, стимулах, определяющихся не только результатом первичных процессов, но и результатом инновационной деятельности.

Наконец, на заключительном этапе происходит типизация инновации. Здесь происходит превращение инновационного продукта данного процесса инновационной деятельности в типичный продукт. Процесс организации и технологии его производства уже претерпели необходимые изменения, учитывающие все итерации от создания до предоставления продукта пользователю, и на данный момент усовершенствованы. Типизация инноваций является основанием для перехода к началу бизнес-процесса инновационной деятельности, направленному на дальнейшее улучшение первичных бизнес-процессов как с точки зрения их результата, так и с точки зрения организации, технологии и продвижения потребителю.

Соответственно и комплексная бизнес-модель предприятия должна быть инновационно-ориентированной. В [5] абсолютно справедливо отмечается, что устойчивые рост и успех в бизнесе зависят не только и не столько от великих идей и чутья лидера, сколько от твоего умения создать и непрерывно совершенствовать бизнес-модель. В современных условиях зачастую инновации сфокусированы не на создание технологий или продуктов, а на создание самой бизнес-модели. Такая бизнес-модель превращает инновации в экономическую ценность для бизнеса. Она подробно описывает, как

предприятие зарабатывает деньги путем четкого определения его места в цепочке создания ценности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Управление корпоративной бизнес-моделью. <http://www.bigc.ru>.
2. Котельников В. New Business Models / В. Котельников // <http://www.cessi.ru/services/ten3trainingnewbusinessmodels.html>.
3. Исаев Р. Комплексная бизнес-модель коммерческого банка / Р. Исаев // Управление в кредитной организации. 2008. № 4. С. 56-70.
4. Солянтэ А.Ю. Что такое бизнес-модель? / А.Ю. Солянтэ. <http://www.finexpert-training.ru>.
5. Том Н. Управление изменениями / Н. Том. [http://www.cfin.ru/chande\\_management.shtml](http://www.cfin.ru/chande_management.shtml).

**Руст Алескер Мамедович** – преподаватель кафедры «Иностранные языки и профессиональная коммуникация» Саратовского государственного технического университета

**Rust Alesker Mamedovich** – Lecturer of the Department of «Foreign languages and professional Communicating» of Saratov State Technical University

**Суязов Владимир Николаевич** – аспирант кафедры «Менеджмент, коммерция и право» Саратовского государственного технического университета

**Suyazov Vladimir Nikolayevich** – Post-graduate Student of the Department of «Management, Trade and Law» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 28.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 338.24

**В.Г. Санков, Э.Д. Таякина**

### **РАЗВИТИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ В РАМКАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА**

*Рассматриваются механизмы развития стратегической логистики в рамках совершенствования логистических бизнес-процессов на предприятиях электросетевого комплекса. Обосновывается актуальность использования логистических подходов к вопросам стратегического развития компании.*

Межструктурное взаимодействие, логистическая стратегия, синергический эффект.

V.G. Sankov, E.D. Tayakina

**THE DEVELOPMENT OF LOGISTIC STRATEGY  
IN THE BOUNDARIES OF LOGISTIC BUSINESS PROCESS IMPROVEMENT  
OF ENERGY SYSTEM COMPANIES**

*This article considers the problems concerning the methods of logistic strategy development in the boundaries of logistic business process improvement of energy system companies. It is stated that logistic methods in solving the strategy problems are important.*

Structural interaction, logistic strategy, synergy effect.

В результате реформирования российской электроэнергетики формируется новый взгляд на распределительно-сетевой бизнес. Учитывая, что одной из приоритетных стратегических задач операционных электросетевых компаний является повышение эффективности их функционирования посредством достижения синергического эффекта, исследовательской проблемой остается формирование теоретических основ, создающих целостное и объективное представление о возможности совершенствования существующих структурообразующих элементов.

Принципиально важным фактором долгосрочного развития и роста фундаментальной стоимости предприятий является возможность раскрытия целостных свойств, характера взаимодействия основных элементов, иерархичности, обращаясь при этом к основополагающим принципам логистики, в особенности, если речь идет о предприятиях такой отраслевой направленности, как транспортировка и распределение электроэнергии. Вся их деятельность, по существу, логистическая, в связи с чем возникает необходимость разработки механизмов моделирования и оптимизации параметров логистических бизнес-процессов в системе электросетевого хозяйства.

По мнению авторов, концептуальные основы процессного видения в решении логистических задач хозяйствующих субъектов в рамках стратегического среднесрочного и долгосрочного развития будут способствовать нивелированию влияния внутренних и внешних негативных воздействий, а также повышению уровня эффективности функционирования потоковых процессов.

Задача достижения высокой эффективности от ориентации логистического управления не на объекты, а на процессы относится сегодня к актуальному направлению исследований в логистике. Реализация логистической концепции должна быть направлена на комплексное рассмотрение потоковых процессов предприятия с целью обеспечения их согласованности и высокой эффективности.

Этого можно достичь через синергический эффект комплексной интеграции на основе реализуемых стратегий корпоративных структур, направленных на адаптацию предприятий электросетевого комплекса к работе в условиях финансово-экономических кризисов, стихийных бедствий и других форс-мажорных обстоятельств.

В современных условиях функционирования электросетевого хозяйства, характеризующихся усложнением бизнес-процессов, объективная необходимость достижения интегрированного взаимодействия подсистем логистики вызвана острой потребностью в предупреждении, выявлении и устранении отклонений от установленных параметров логистических бизнес-процессов еще на стадии разработки стратегии логистического развития.

На данном этапе хозяйствующие субъекты электросетевого комплекса преимущественно опираются на отработанные механизмы управления логистическими процессами,

чем на структурированную методологию стратегического развития, основой которой является комплексное сочетание управленческого и логистического потенциалов развития системы управления потоковыми процессами.

Кроме того, необходимо принимать во внимание не только производственно-техническое, финансовое и инвестиционное развитие электросетевых компаний. Авторское видение направлено на использование, в первую очередь, потенциала процессной оптимизации в рамках логистического управления.

Структурирование системы логистического управления, направленное на эффективную оптимизацию ресурсно-материальной базы хозяйствующих субъектов, представляет собой многоаспектный элементно-функциональный процесс, подразумевающий под собой учет факторов различных функциональных областей предприятия, поэтому развитие данной проблематики необходимо проводить с учетом научной системной методологии.

Несмотря на аналитические обоснования в области логистики в целом, а также проведение исследования логистических процессов интеграционного характера в частности, организация системной оптимизации на основе стратегического планирования с учетом специфики деятельности компаний крупного корпоративного характера осуществляется фрагментарно и не в полной мере учитывает современные условия хозяйствования.

Малоизученными остаются вопросы процессной ориентации организации и управления оптимизационным логистическим потенциалом, существуют противоречия в определении направлений комплексной адаптации логистических систем, существует необходимость в приведении теоретических основ логистики к области практического применения как в целом в компании, так и в соответствующих функциональных областях, а также приведении к единой логистической концепции деятельности структурных подразделений, входящих в зону ответственности управления потоковыми процессами.

Данные выводы являются отправными параметрами для формирования обстоятельного методического инструментария, позволяющего определить степень интегрирования логистики предприятий электросетевого комплекса, дать оценку и предложить направления эффективного развития в рамках особенностей функционирования субъектов электросетевого хозяйства.

На данном этапе необходима разработка концептуального видения комплексной системы управления потоковыми процессами. Существует необходимость целостного восприятия стратегии управления потоковыми процессами предприятий электросетевого комплекса без отрыва от рассмотрения общей структуры стратегических целей компании, а также методического обоснования актуальности функциональной и межструктурной зависимости логистических процессов в системе логистического планирования.

Масштабы охвата деятельности электросетевых компаний должны способствовать повышению эффективности построения и адаптации функционирования потоковых процессов к меняющимся параметрам и возможностям энергетического комплекса региона.

В этой связи нам представляется целесообразным подчеркнуть, что в масштабах деятельности столь крупных хозяйствующих субъектов, как предприятия электросетевого комплекса, формирование эффективной стратегии функционирования потоковых процессов необходимо осуществлять с позиций:

- оказываемых услуг (объем, качество услуг);
- издержек осуществления операционной деятельности компании;
- организационного построения, направленного на эффективное функционирование предприятия в целом и логистики в частности.

Реализация концепции комплексного совершенствования системы управления потоковыми процессами на микроуровне позволяет электросетевым компаниям оптимально фор-

мировать и эффективно реализовывать свои логистические возможности исходя из целевых параметров в заданных направлениях развития.

Влияние параметров протекания потоковых процессов на исследуемых предприятиях распространяется на все функциональные области компании, но с практической точки зрения логистика рассматривается отдельно от основной производственной деятельности, тем самым представляя собой устаревший подход к вопросам организации хозяйственной деятельности предприятия.

Рассмотрим механизм реализации бизнес-процессов в системе логистики предприятия, с точки зрения рассмотрения вопросов управления логистическими бизнес-процессами в структуре управления компаний топливно-энергетического комплекса (см. рисунок).

На рисунке схематически изображена комплексная карта целей бизнес-процессов предприятий электросетевого комплекса. Логистические функции в данном случае представляют собой структурированную организационную форму, направленную на основной производственный процесс. Логистические функции неразрывно связаны с управленческими функциями и являются их логическим продолжением именно в области интегрирования потоковых процессов в рамках единой стратегии развития операционной деятельности предприятий. Состояние функционирования потоковых процессов влияет на содержание основного производственного процесса и его сущность.

По мнению авторов, на данном этапе на исследуемых предприятиях наблюдается острая необходимость в приведении логистической стратегии в систему координат стратегического развития компании.

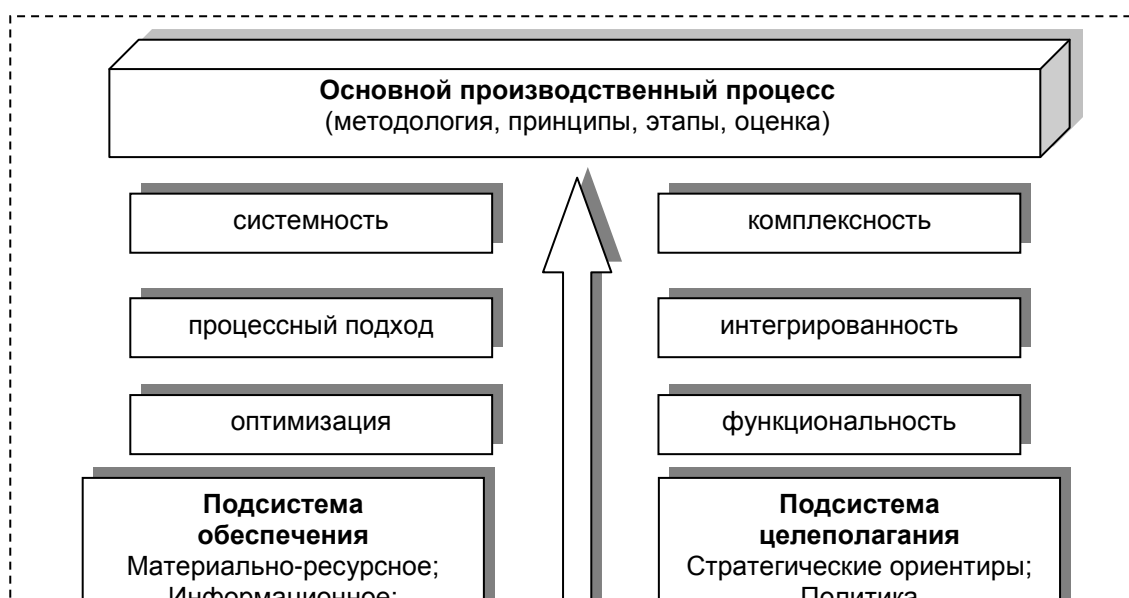
Интегрирование охватывает широкий спектр логистических операций с позиций вспомогательных процессов – закупка, складирование, транспортировка, производство, управление запасами, направленных на непрерывное поддержание функций основного производственного процесса. По мнению авторов, эффективность логистической деятельности предприятий электроэнергетического комплекса находится в прямой зависимости от управления потоковыми процессами, протекающими в границах вспомогательных бизнес-процессов, и реализации их потенциальных возможностей.

Функциональные области на электросетевых предприятиях обеспечивают управление потоковыми процессами через весь маршрут перемещения в рамках микрологистической системы компании.

Однако при организации логистики на предприятии необходимо принимать во внимание множество факторов, которые необходимо моделировать в процессе принятия управленческих решений в целях достижения запланированных результатов.

Учитывая отраслевую специфику, а также размеры исследуемых компаний, предлагается исследовать:

- организационную структуру компании;
- организацию бизнес-процессов управления логистикой;
- организацию логистических функций.



### Комплексная карта целей бизнес-процессов предприятий электросетевого комплекса

В современных условиях осуществления хозяйственной деятельности предприятия электросетевого комплекса стремятся сокращать затраты, при этом не используя потенциал интегрированного развития логистической системы компании.

В мышлении большинства руководителей среднего звена российских компаний наблюдается тенденция четкого разделения функциональных обязанностей в решении тех или иных задач на предприятии. Но для руководителей высшего эшелона важно понимание комплексной ситуации и, в большинстве случаев, решение той или иной конкретной задачи зависит от эффективной работы нескольких структурных подразделений.

В этой связи, характерной чертой развития современного электросетевого предприятия является то, что вопросы логистики на предприятии рассматриваются отдельно от общих вопросов развития компании, в то время как логистические аспекты развития компании должны восприниматься как процессы, обеспечивающие качественное, бесперебойное и рентабельное функционирование основного производственного процесса.

С нашей точки зрения, интегрирование логистики в процессы развития предприятий электросетевого комплекса должно сопутствовать решению задач получения своевременных актуализированных сведений о состоянии развития потоковых процессов, которые, в свою очередь, являются определенным ориентиром для характеристики достижения стратегических целей компании на конкретном промежутке времени.

В ходе проведенного исследования намечены следующие направления в рамках совершенствования системы управления потоковыми процессами:

1. Для эффективного функционирования потоковых процессов на предприятиях электросетевого комплекса требуются как комплексная оптимизация логистических функций, так и совершенствование системы логистического управления в целом. Основой здесь должен выступать многофакторный анализ ключевых логистических процессов, структурных взаимодействий и функций управления потоковыми процессами, составляющих объективную основу эффективного функционирования основного производственного процесса, с использованием методологии стратегического управления логистикой.

2. Для оценки существующей системы управления потоковыми процессами рационально использовать ряд критериев: оперативность, своевременность, качество логистического планирования, релевантность потоковых процессов, организационно-структурное взаимодействие.

3. Решение многоаспектной стратегической задачи построения эффективной системы управления потоковыми процессами на предприятиях электросетевого комплекса, по мнению авторов, должно осуществляться с использованием механизма интегрирования логисти-

ческой системы в систему управления предприятия в целом, позволяющего добиться возможности решения существующих проблем логистики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронов В. Построение логистической системы предприятия / В. Сафронов // Консультант директора. 2001. № 8. С. 15-23.

2. Информационно-аналитический материал по программе «Мастер делового администрирования – Master of business administration (МВА)» по дисциплине «Общий менеджмент» / Сост. Л.Ф. Попова. Саратов: СГСЭУ, 2009. 74 с.

3. Информационно-аналитический материал по программе «Мастер делового администрирования – Master of business administration (МВА)» по дисциплине «Основы системного мышления» / Сост. В.А. Ширяева. Саратов: СГСЭУ, 2008. 46 с.

**Санков Виктор Григорьевич** –

доктор экономических наук,  
профессор кафедры «Экономика и управление  
на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Sankov Viktor Grigoriyevich** –

Doctor of Economic Sciences,  
Professor of the Department  
of «Economics and Management  
in Auto-transport Industry»  
of Saratov State Technical University

**Таякина Элла Дмитриевна** –

аспирант кафедры «Экономика и управление  
на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Tayakina Ella Dmitrievna** –

Post-graduate Student of the Department  
of «Economics and Management  
in Auto-transport Industry»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 28.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 31

**И.В. Соснина**

#### **АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИГРАНТОВ И ПРИНИМАЮЩЕГО НАСЕЛЕНИЯ: ВЫБОР СТРАТЕГИИ**

*Статья посвящена стратегиям адаптации мигрантов к принимающей среде. Автор рассматривает адаптационный потенциал мигрантов и принимающего населения, определяет социально-политические и культурные факторы влияния.*

Миграция, адаптация, интеграция, миграционная политика, рынок труда, биография, социальное взаимодействие.

**I.V. Sosnina**

#### **ADAPTABLE POTENTIAL OF MIGRANTS AND THE ACCEPTING POPULATION: STRATEGY CHOICE**



---

*The article is devoted to the adaptation of migrants strategy towards the accepting environment. The author considers adaptable potential of migrants and accepting population, defines social, political and cultural influence factors.*

Migration, adaptation, integration, migration policy, labor market, biography, social interaction.

Миграционные процессы всегда были в центре внимания исследователей: миграция охватывает все сферы жизни общества, принося изменения в общественные структуры и изменяя жизнь отдельной личности. Значимость исследований в данной области заключается в возможности определения и уточнения факторов, влияющих на практики адаптации мигрантов в местах переселения, анализа историй, идентификаций, культурных и экзистенциальных перспектив, жизненных шансов. Миграцию определяют на глобальном и локальном уровнях, анализируют макропроцессы движения населения: миграционную политику, миграционное законодательство; исследуют микропроцессы взаимодействия мигрантов с принимающим населением: практики адаптации к новой среде пребывания, истории и биографии отдельных мигрантов.

Исследователи анализируют современную демографическую ситуацию в России, делают прогнозы демографического и социального развития страны. В данной перспективе миграционные процессы рассматриваются как возможный вариант выхода из демографического кризиса. Убыль населения, по мнению ученых, приведет к дефициту трудовых ресурсов, перспективным направлением демографической политики в данном ракурсе становится миграционное направление.

Современные демографические условия диктуют необходимость поиска новых путей реализации политики в сфере занятости, актуальными становятся исследования характера влияния миграционных процессов на формирование современного рынка труда. Ж. Зайончковская [1] рассматривает два возможных сценария развития России в условиях демографического кризиса: сценарий без иммиграции, итогом которого предполагаются социальная дестабилизация, обострение политической обстановки, и сценарий, допускающий замещающую миграцию, итогом которого предполагается экономический рост, сопряженный, однако, с возможным ростом конфликтов на этнокультурной почве. Значимость исследований в данной области заключается в возможности определения и уточнения факторов, влияющих на практики адаптации мигрантов в местах переселения, анализа историй, идентификаций, культурных и экзистенциальных перспектив, жизненных шансов.

Вопросы адаптации и интеграции мигрантов в месте переселения занимают важное место в исследованиях трудовой миграции, так как только успешная адаптация мигрантов и подготовленность принимающего населения к изменениям позволят избежать негативных последствий социального взаимодействия. Исследователи в данном направлении анализируют существующие модели интеграции мигрантов, проводят сравнения степени влияния той или иной модели на характер межкультурного взаимодействия. Одним из направлений исследований в данном русле являются исследования, посвященные практикам и стратегиям адаптации мигрантов в месте переселения, перспективными в этом плане могут стать исследования биографии мигранта, влияния жизненных историй мигранта на стратегии адаптации и характер взаимодействия с новой окружающей средой.

Важнейшей составляющей миграционной политики государства является применяемая модель интеграции мигрантов в принимающем сообществе. В. Мукомель [2] определяет неизбежность миграционного пути развития, делая акцент на необходимости анализа аспектов успешной интеграции мигрантов в новый социум, первостепенными считая вопросы: интолерантности принимающего населения, предпосылок самоизоляции мигрантских общин, дискриминационных социальных практик. Политика интеграции мигрантов имеет первосте-

пенное значение, как в миграционной, так и в социальной политике. Определяя процесс интеграции как двусторонний процесс, следует отметить, что подготовленность местного населения, принимающего сообщества к неизбежным изменениям является определяющей позицией в процессе интеграции мигрантов. Успешная интеграция позволит мигранту в полной мере реализовать свой трудовой потенциал в месте переселения, благоприятное протекание процесса интеграции определяет возможность благоприятного течения самого процесса миграции. Эффективной политика интеграции может быть лишь при условии признания приоритетом права человека, определяющие невозможность дискриминационных практик.

Определяя степень необходимости и важности процесса интеграции для временных и постоянных мигрантов, рассмотрим уровни восприятия и позиции сторон-участниц данного процесса: принимающего населения и мигрантов (временных и постоянных). Для местного населения взаимодействие с мигрантами происходит в разных сферах деятельности, которые и являются определяющими факторами межэтнического взаимодействия. Как таковая характеристика долгосрочности пребывания мигранта в стране для принимающего сообщества не является определяющей характер взаимодействия. Местное население необходимо подготовить к постоянному процессу миграции, влекущему за собой изменения. Основным критерием такой подготовки должны стать принципы признания различий и уважения к культуре и традициям приезжих. В равной степени данные принципы являются определяющими и в выстраивании стратегии адаптации для самих мигрантов.

Принимающее сообщество, позитивно воспринимая процесс миграции, осознавая необходимость и значение миграции в современных социальных процессах, не разделяет мигрантов на временных и постоянных, а в целом готовится к приему населения и конструктивному взаимодействию. Так как определить заранее долгосрочность пребывания мигранта в стране не представляется возможным, практики интеграции со стороны принимающего сообщества минимизируют степень влияния временного фактора пребывания мигрантов на характер интеграции мигрантов.

Мигранты принимают решение о переезде под воздействием различных факторов, эти же факторы в какой-то степени определяют планы на долгосрочное или кратковременное пребывание. Постоянные и временные мигранты могут иметь различные взгляды на процесс интеграции, его необходимость, которые определяются мотивами миграции, ожиданиями мигрантов, планами на будущее. Миграционная политика, направленная на долгосрочную миграцию, должна отдавать пальму первенства интеграционным стратегиям развития, следовательно, если и делать различие между интеграционной политикой, направленной на временных или постоянных мигрантов, то только рассматривая временную миграцию и соответствующую ей интеграционную стратегию как этап на пути к постоянной миграции и соответственной интеграционной стратегии.

Краткосрочность пребывания мигранта в стране не сокращает степень межкультурного взаимодействия. Временный характер миграции не в состоянии сузить круг социальных взаимодействий, следовательно, интеграционная стратегия необходима для успешной и эффективной деятельности мигранта, даже носящей временный характер. Краткосрочность миграции не исключает долгосрочных перспектив в миграции. Таким образом, определяя степень важности политики интеграции для временных и постоянных мигрантов, мы выделяем стороны процесса интеграции и их мотивы, определяющие стратегии интеграции. Отмечая необходимость интеграционной политики, мы определяем значимость интеграции для постоянных мигрантов как конечную цель, а для временных мигрантов – как ступень подготовки и стратегический запас в перспективах роста в постоянную, долгосрочную миграцию.

Миграционная политика, направленная на привлечение трудовых мигрантов, одним из основных направлений деятельности должна принимать адаптацию и интеграцию мигрантов. Значение имеет также стратегия адаптации самих мигрантов. В. Мукомель [3] рассматривает следующие стратегии адаптации мигрантов к принимающей среде: сегрегация, акку-

льтурация, интеграция, ассимиляция; и выделяет условия, способствующие формированию ориентации мигрантов на адаптацию: доступность составляющих социальной среды, социокультурная дистанция между посылающим и принимающим обществами, исторически сложившийся групповой опыт выживания в инокультурной среде.

В данном ракурсе помимо группового, коллективного опыта выживания в инокультурной среде считаем важным условием формирования стратегии адаптации личный опыт мигранта, его жизненный путь. Это и причины, побудившие мигранта к переезду, и условия его миграции, и первоначальный опыт или первое знакомство с принимающей средой, и, конечно, его планы на долгосрочное или кратковременное пребывание. Биография мигранта, его жизненный путь, мигрантский опыт, возможно, в первую очередь определяют его стратегию адаптации в новой среде.

Биография мигранта является определяющим условием формирования стратегии адаптации в месте переселения. К.С. Мокин [4] определяет «миграционные истории», накопленный миграционный опыт семьи, включающий мотивы миграции, территорию исхода, пути перемещения, опыт адаптации, как доминирующий фактор, определяющий степень начальной включенности в местное сообщество. Рассматривая процесс трудовой миграции сквозь призму биографии отдельного переселенца, мы расширяем границы восприятия и анализа, как адаптационных стратегий мигранта, так и собственно поля межкультурного и межэтнического взаимодействия мигрантов с принимающим сообществом. Биографический метод в социологическом анализе миграционных процессов позволит уточнить возможные факторы, детерминирующие среду межкультурного взаимодействия, как в плане негативного воздействия, так и упрощающие процесс адаптации мигранта в месте переселения.

Причины миграции как фактор влияния при выборе стратегии адаптации, определяют долгосрочность или кратковременность пребывания мигранта в стране. При временном пребывании мигрант определяет для себя не столь важными составляющие аккультурационной или интеграционной стратегий, ориентируясь на сегрегацию. В. Мукомель отмечает, что «если в условиях ограниченного контакта со средой пребывания мигранты реализуют свои жизненные планы, побудившие их к миграции, то процесс их адаптации на этом и заканчивается, практически не начавшись» [3, с.217]. Таким образом, временные мигранты в меньшей степени заинтересованы в интеграции с местным сообществом. В данном ракурсе миграционная политика должна быть направлена на усиление заинтересованности временных мигрантов в интеграции, так как в большинстве случаев временная миграция не исключает планов на постоянное переселение. Поле социального взаимодействия формируется вне зависимости от долгосрочности пребывания мигранта в стране, задача миграционной политики в таком случае – обеспечить условия для успешного взаимодействия мигрантов с принимающей стороной.

Условия миграции и первоначальный опыт знакомства с принимающей средой определяют ориентацию мигранта к определенной стратегии адаптации. Мигранты зачастую, приезжая в страну, выпадают из правового поля еще на этапе «въезда». Находясь вне правового поля, на нелегальном положении, мигранты самоизолируются от принимающего сообщества. Такая изоляция позволяет им находиться в стране, «оставаясь незаметными» для официальных служб. Интеграция мигрантов должна включать элементы, активизирующие вхождение мигранта в экономическое поле принимающей стороны. Успешная экономическая деятельность позволит мигранту эффективно адаптироваться к принимающей среде. Принимающая сторона, заинтересованная в трудовых ресурсах, также легче проходит процесс адаптации к изменениям, связанным с миграцией, так как трудовой мигрант, находящийся и действующий в экономическом поле, является именно тем мигрантом, который необходим принимающей стороне.

Основным каналом вхождения трудового мигранта в экономическое поле принимающей стороны является нормативно-правовой канал. Обустроенность этого канала в большей

степени влияет на первостепенный опыт контакта мигранта с принимающей средой. Получение разрешения на работу, регистрация определяют нахождение мигранта в правовом поле. Доступность правового поля для трудового мигранта определяется миграционным законодательством страны приема. Основной проблемой в адаптации мигранта является недоступность правового поля и, следовательно, невозможность эффективной трудовой деятельности. Большинство трудовых мигрантов, попадая в страну, сразу же выпадают из правового поля, сегрегация является единственно возможной стратегией для дальнейшего выживания на нелегальном положении.

Социальная интеграция мигрантов – это двусторонний процесс, в котором помимо самих мигрантов участвует принимающая сторона. Но для местного населения в плане интеграции нет разделения на временных и постоянных мигрантов. Такое разделение необходимо в политике интеграции мигрантов принимающего государства. Данный вопрос звучит в ракурсе современной международной конкуренции за мигрантов, как за ценный трудовой ресурс, в условиях демографических коллизий. Государство, ориентированное на решение демографических проблем, в поисках трудовых ресурсов, своей стратегической задачей должно ставить успешную и эффективную интеграцию мигранта, за неимением коей, проблема трудовых ресурсов так и останется не разрешенной.

В процессе интеграции степень лояльности субъектов, участвующих в этом процессе, готовность идти на контакт имеют первостепенное значение. В интеграции мигрантов помимо стратегии самого мигранта, значение имеет степень лояльности к этому процессу принимающей стороны. Взаимодействие мигрантов с принимающим населением происходит на бытовом уровне, на этом же уровне формируются представления друг о друге у субъектов интеграции. Зачастую этому процессу мешают сложившиеся представления принимающей стороны о миграции как угрозе. Такие представления формируются под влиянием дискурса средств массовой информации, официальных властей. Как отмечает В. Малахов: «официальные лица (...) преподносят тему миграции не иначе как в терминах угрозы. Мигранты – это претенденты на блага, которых и без того всегда не хватает на всех» [5, с.96]. Такую тенденцию можно объяснить тем, что на возникающие у населения вопросы о несовершенстве и проблемах в различных социальных сферах у вопрошаемых властей не всегда находятся ответы, способные удовлетворить вопрошающее население. И в определенных случаях миграция становится удобной ширмой, способной объяснить возникновение многих социальных проблем, начиная от экономической нестабильности, заканчивая ростом преступности. В. Малахов говорит о манипулировании чиновниками миграционными вопросами, когда проблемы миграции для чиновников «не более чем мифологический конструкт: удобный общий заменитель, под который можно подвести множество разных проблем для того, чтобы их не решать» [5, с.96].

Говоря о степени взаимодействия мигрантов и принимающего населения, необходимо отметить значимость влияния на этот процесс миграционного дискурса, формирующего такие конструкты, как «этническая преступность», «межэтнические конфликты». Эти конструкты уведут нас при рассмотрении вопросов миграции из поля социального взаимодействия, в котором, собственно, и происходят интеракции мигрантов и принимающего населения. Возникают этнические и культурные атрибуты у чисто социальных, повседневных процессов.

Следует отметить, что, конструируя проблемы «этнической преступности», «этнических конфликтов», СМИ, государственные структуры приносят атрибуты культуры и этничности в повседневные социальные практики. И тогда у преступника появляются этничность и характерная для нее культурная модель поведения, допускающая насилие, такими характеристиками наделяются целые группы, чаще всего мигрантские, формируется «образ врага» по этническим и культурным признакам. На второй план отходит суть события, согласно которой существуют лишь человек, совершивший преступление, и правовые нормы, им нарушенные.

Миграционная ситуация представляется современными СМИ в контексте проблем преступности, коррупции, демографических проблем, проблем занятости. Основным образом мигранта, формируемый под влиянием СМИ – это образ «мигранта – торговца», «мигранта – преступника», «мигранта – жертвы», что, в свою очередь, обуславливает возникновение негативных тенденций в развитии межэтнических взаимоотношений. Субъектами, конструирующими данную проблему, являются как сами СМИ, так и политические деятели, чиновники, эксперты, с различными целями, способами и с различным успехом.

При исследовании характера конструирования социальных проблем необходимо рассмотреть субъекты, оказывающие влияние на данный процесс. Авторами анализируемых публикаций являются как журналисты, так и политические деятели, приводятся результаты интервью с экспертами в области миграционных процессов, чиновниками государственных структур. Характерной чертой публикаций в СМИ, в аспектах выявления виновников сложившейся ситуации, является распространение взаимных обвинений, претензий. Чиновники обвиняют СМИ в нагнетании обстановки вокруг проблем ксенофобии и конфликтов на этнической почве, СМИ обвиняют чиновников в бездействии и отсутствии продуманной миграционной политики; и чиновники и медийные деятели апеллируют фактами и ссылаются на «достоверные источники информации», на экспертов, вместе сходятся во мнении о необходимости распространения идей терпимости к представителям другого этноса, при этом осознанно или неосознанно провоцируют рост неприязни местного населения к мигрантам, формируя тем самым антимиграционный дискурс. Этнический дискурс уводит нас от реально существующих проблем миграции, лежащих в экономической, социальной, правовой сферах. Помещая существующие проблемы в этнические рамки, причины этих проблем так и остаются не разрешенными, так как неверно поставленный диагноз не предполагает эффективного лечения и адекватной профилактики.

Стратегия адаптации мигранта определяется целым спектром условий, это и собственно миграционный опыт самого трудового мигранта, и политика социализации принимающей стороны, и нормативно-правовое поле страны приема. Временные мигранты являются собой ценный ресурс постоянной миграции. Политика интеграции в данном ракурсе должна быть стратегически выстроена в двух направлениях: с одной стороны, успешная интеграция временного мигранта позволит избежать трений в процессе социального взаимодействия мигрантов с принимающим населением; с другой стороны, успешная интеграция позволит повысить заинтересованность временного мигранта в долгосрочном или даже постоянном пребывании. Такая заинтересованность может быть построена на опыте мигранта, когда история его пребывания в месте переселения не будет отталкивающим фактором в определении планов на переселение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зайончковская Ж. Почему России необходима иммиграционная политика / Ж. Зайончковская // Методология и методы изучения миграционных процессов: учеб. пособие / под ред. Ж. Зайончковской, И. Молодиковой, В. Мукомеля. М.: ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ», 2007. С. 136-165.

2. Мукомель В. Методические и практические аспекты изучения интеграции иммигрантов: специфика постсоветского пространства / В. Мукомель // Методология и методы изучения миграционных процессов: учеб. пособие / под ред. Ж. Зайончковской, И. Молодиковой, В. Мукомеля. М.: ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ», 2007. С. 165-192.

3. Мукомель В. Миграционная политика России: постсоветские контексты / В. Мукомель. М.: Диполь-Т, 2005. 351 с.

4. Мокин К.С. Балаково: миграционные истории армян / К.С. Мокин // Социс. 2007. № 2. С. 94-101.

5. Малахов В. Понаехали тут... Очерки о национализме, расизме и культурном плюрализме / В. Малахов. М.: Новое литературное обозрение, 2007. 200 с.

**Соснина Ирина Валентиновна** – магистр социальной работы, аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета

**Sosnina Irina Valentinovna** – Master of Social Work, Post-graduate Student of the Department «Anthropology and Social Work» of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 21.04.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 333.5

**В.В. Суворова, Ю.М. Мезенцев**

**ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАНЯТОСТЬ МОЛОДЕЖИ  
КАК УСЛОВИЕ ПЕРЕХОДА К ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ:  
СУЩНОСТЬ, ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ**

*Рассмотрены проблемы формирования эффективной занятости молодежи в муниципальных образованиях. Выявлена необходимость создания институциональной среды (правила, соглашения, гарантии), обеспечивающей условия продуктивного взаимодействия участников молодежного рынка труда.*

Эффективная занятость молодежи, институциональная среда, инновационная экономика.

**V.V. Suvorova, Y.M. Mezentsev**

**EFFECTIVE YOUTH EMPLOYMENT AS A CONDITION  
FOR THE TRANSITION TO INNOVATIVE ECONOMY:  
ESSENCE, INSTITUTIONAL PRECONDITIONS OF FORMATION**

*The article considers the problems of effective employment for youth forming in the municipal institutions. The necessity of institutional environment (rules, agreements, guarantors) creation, providing the conditions of productive interaction of youth labor market participants are revealed in the text.*

Effective youth employment, institutional environment, innovative economy.

На современном этапе человечество вступило в новую эпоху постиндустриального развития – в стадию построения инновационной экономики, т.е. такого типа общественного воспроизводства, который основан на знаниях, инновациях, на научном генерировании и восприятии новых идей, на наличии предпосылок и готовности создания системных техно-

логий, на способности их практической реализации в корпоративных производственных системах и в различных сферах человеческой деятельности [1]. Именно таким образом определяют сущность инновационной экономики большинство исследователей данной проблемы.

Научно-инновационный путь развития, основывающийся на информационных и системных макротехнологиях, которые обеспечивают мультипликативное развитие наукоемких производственно-инновационных систем и формирование наукоемкой структуры экономики, уже достаточно давно для ряда развитых стран является главным фактором устойчивого экономического роста. На их долю приходится 92% мирового объема наукоемкой продукции (доля США – 39%, Японии – 30%, Германии – 16%, Китая – 6%) [2].

Необходимость перехода российской экономики от ресурсно-сырьевого к инновационному типу развития обозначена Президентом РФ Д.А. Медведевым в Послании Федеральному Собранию РФ 12 ноября 2009 г., в котором он выразил свое представление о стратегических задачах, стоящих в настоящее время перед страной. Речь шла о пяти приоритетах технологического развития: завоевание лидерства по эффективности производства, транспортировки и использования энергии, выведение на внутренние и внешние рынки новых видов топлива; сохранение и поднятие на новый качественный уровень ядерных технологий; совершенствование информационных технологий; развитие собственной наземной и космической инфраструктуры передачи всех видов информации, создание спутниковой сети; завоевание передовых позиций в производстве отдельных видов медицинского оборудования, сверхсовременных средств диагностики, медикаментов.

Реализация обозначенных приоритетов позволит России, по прогнозам Президента, стать страной, благополучие которой обеспечивается не столько сырьевыми, сколько интеллектуальными ресурсами: «умной» экономикой, создающей уникальные знания, экспортом новейших технологий и продуктов инновационной деятельности [3].

Однако переход экономики России на инновационный путь развития затруднен в связи с наличием целого ряда проблем, таких, как коррупция, недостаточная развитость рыночной инфраструктуры, деградация структуры промышленного производства в пользу преобладания топливно-сырьевого сектора, дефицита инвестиций в развитие инновационных технологий и процессов.

Все эти проблемы, еще более обострившиеся в период современного экономического кризиса, вызвали нестабильность на рынке труда, сократили возможности занятости населения, в т.ч. молодежи. Последнее представляет особую угрозу, т.к. именно молодое поколение квалифицированных специалистов, инженеров, ученых, по мнению Президента РФ, является основным ресурсом, способным обеспечить развитие инновационной модели российской экономики. Это обусловлено следующими объективными причинами.

Во-первых, молодежь, являясь достаточно большой социально-демографической группой, выступает основным источником обновления трудового потенциала страны. Вместе с тем, сложившаяся в современной России демографическая ситуация (в течение трех десятилетий рождаемость находится на уровне, не обеспечивающем даже простого воспроизводства поколений), привела к сокращению доли молодежи в структуре населения страны. По данным статистики, на 1 января 2010 г. удельный вес молодежи в возрасте 15-29 лет составлял всего 24% общей численности постоянного населения России, а ее численность едва достигает 34 млн чел. При этом в городских поселениях проживает 73,7% молодых людей, а в сельской местности еще меньше – 21% [4]. Продолжает наблюдаться отток молодежи из села в город, что усиливает напряженность в молодежном сегменте рынка труда. Все это создает серьезную угрозу процессу воспроизводства населения страны и актуализирует необходимость государственной поддержки молодежи, в т.ч. решение проблемы занятости.

Во-вторых, молодежь является носителем интеллектуального потенциала информационного общества; она, в большинстве своем, образована, имеет квалификацию, обладает, в силу своих психофизиологических параметров, большими способностями к труду, к креа-

тивному мышлению и инновационной деятельности. Молодые люди способны быстрее других социальных групп общества овладеть инновационными профессиями и специальностями, что является важным в контексте решения стоящих перед страной задач. От молодежи зависит преемственность истории и культуры нашего народа, жизнь старших и воспроизводство последующих поколений. Следовательно, молодое поколение выполняет в обществе свои особые функции, не замещаемые и не реализуемые никакой другой социальной группой. Именно это позволяет рассматривать молодежь как важнейший социальный стратегический ресурс общества, от реализации которого в значительной степени зависит устойчивое социально-экономическое развитие России.

Особая роль молодежи в сохранении и развитии нашего общества и решении задач построения инновационной экономики предполагает активную государственную поддержку роста их знаний и апробации их в производственной сфере. Последнее как раз и представляет особую проблему, поскольку именно молодые специалисты оказались, наряду с людьми предпенсионного возраста, наиболее дискриминированными категориями на рынке труда.

Подобная ситуация (она является типичной для большинства российских муниципальных образований, особенно провинциальных городов) может быть проиллюстрирована на примере рынка труда г. Балаково (Балаковское муниципальное образование является крупным индустриальным центром Поволжья). В разрезе возрастных групп зарегистрированных безработных в динамике за 9 месяцев 2009-2010 года (поквартально) картина выглядит следующим образом (см. рис. 1).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что наибольший удельный вес в структуре безработных граждан занимают наиболее уязвимые экономически активные слои населения, 1/3 которых составляет молодежь. При этом такая тенденция в городе сохраняется уже на протяжении последних 5 лет. Это вызвано рядом сложившихся обстоятельств:

1) Молодые специалисты наименее востребованы на большинстве предприятий в силу своей неопытности и чрезмерной амбициозности относительно условий работы и величины заработной платы. Работодатели, особенно в период экономического кризиса, не желают нести подобные затраты, в т.ч. на подготовку и адаптацию специалистов к производству, поэтому большинство из них отдает предпочтение опытным работникам. Издержки на подготовку и адаптацию молодых специалистов можно было бы значительно уменьшить при наличии эффективной связи предприятий с учебными заведениями. Однако за период становления и функционирования рыночной экономики руководители большинства предприятий проявляли слабый интерес к налаживанию таких связей в целях подготовки специалистов для своих производств на стадии основного (базового) обучения потенциального работника, а за последние два кризисных года данный интерес вообще исчез.

2) Существует несбалансированность рынка образовательных услуг и рынка труда, проявляющаяся в несоответствии структуры выпускаемых специалистов структуре вакантных рабочих мест. Очевидно, здесь сказываются просчеты в определении перспективной потребности в квалифицированных кадрах по профессиям и специальностям. Это подтверждает анализ спроса и предложения на рынке труда г. Балаково на 01.03.2010 г. Так, по рабочим специальностям на 484 вакантных места претендуют 1599 человек. Наблюдается дефицит вакансий по специалистам и служащим (330 вакансий на 1000 претендентов), бухгалтеров (соответственно 14 вакансий на 108 претендентов), экономистов (96 претендентов при полном отсутствии вакансий). В то же время в городе не хватает участковых врачей (30 вакансий и 4 претендента), учителей (14 вакансий и 2 претендента). Имеется 14 свободных вакансий главных строителей и 12 – главных инженеров проекта [5].

01.09.2009

14.01.2010



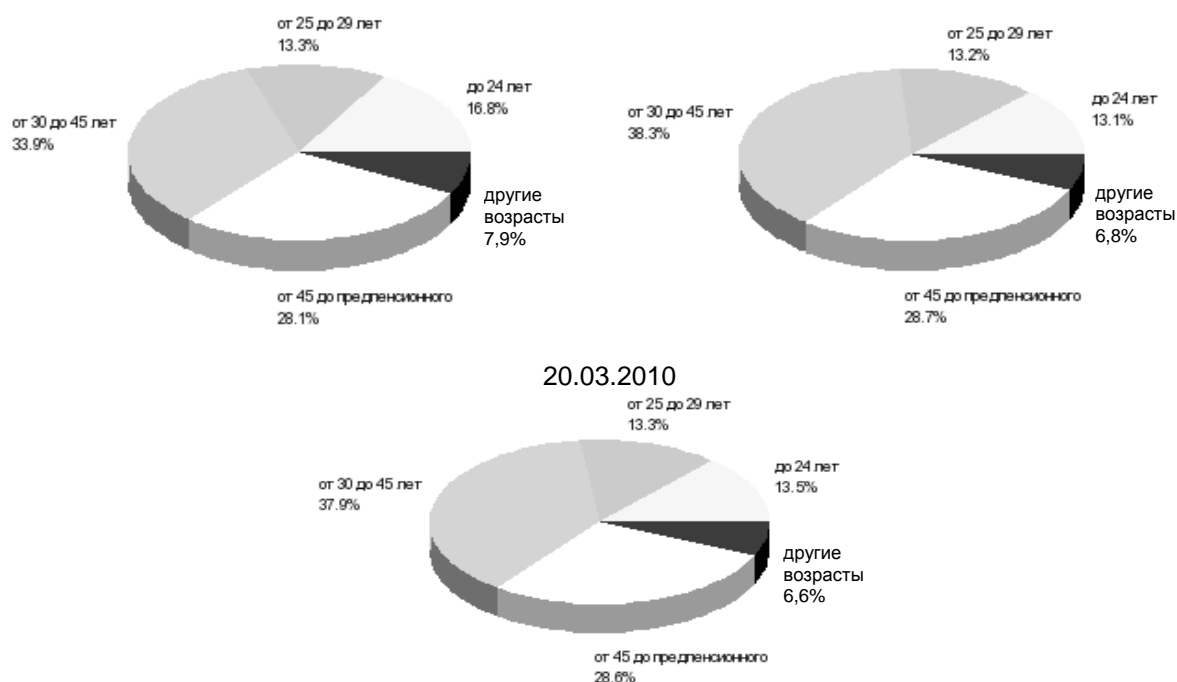


Рис. 1. Возрастные категории зарегистрированных безработных граждан (за указанный период времени среднее число незанятых граждан города составило 3410 человек – 3% от трудоспособного населения) [5]

Что касается молодежного сегмента рынка труда г. Балаково, то он в еще большей степени характеризуется количественной и качественной асимметричностью, заключающейся в избыточном предложении престижных высокооплачиваемых специальностей (бухгалтеры, юристы, экономисты и т.д.) и недостатке квалифицированных специалистов по ряду профессий, порождённых инновационными процессами в обществе (инженеры информационных служб, опытные специалисты по программным продуктам, оборудованию, технологиям, управлению сложными информационными системами).

Несоответствие структуры спроса на рабочую силу структуре предложения вызвано массовым сокращением объемов производств на большинстве крупных предприятий города в связи с экономическим кризисом, что повлекло за собой сокращение численности персонала. Кроме того, за последние 10 лет более чем вдвое возросла численность выпускников вузов. При этом число абитуриентов, желающих обучаться по специальностям, связанным с экономикой или бухгалтерским учетом, продолжает оставаться неизменно высоким.

Это в определенной степени связано с падением в глазах молодежи престижа производительного труда, следствием чего для значительной части молодых людей стал характерен социальный пессимизм. Большинство молодых людей перестали верить в возможность иметь интересную, содержательную работу, оплачиваемую в соответствии с мерой своего труда на уровне мировых стандартов. Происходят полярные изменения трудовой мотивации. Квалифицированные молодые кадры часто меняют специальность, что в дальнейшем также может привести к дисбалансу в профессиональной структуре рабочей силы. Как показывает практика, приоритет отдается не содержательному труду на производстве, а труду с низкой интенсивностью, направленному на получение значительной материальной выгоды любым путем.

При исследовании проблемы занятости молодежи нельзя ограничиваться только анализом причин слабой востребованности молодых специалистов на рынке труда. Значительный интерес представляет характеристика содержания и условий труда, а также уровня его оплаты занятой (работающей) части молодежи.

Речь идет о том, можно ли считать любую занятость эффективной?

Ответ на этот вопрос связан с выяснением сущности категории «эффективная занятость» применительно к молодежному сегменту рынка труда. Данная категория в настоящее время в исследованиях используется, в основном, для характеристики занятости населения в масштабе территориальных экономических систем, т.е. экономики страны в целом, либо ее регионов. В этом случае эффективной занятостью считается занятость, при которой сведена к минимуму циклическая безработица и существует достаточный резерв рабочей силы для структурных маневров в производстве [6]. Речь идет о таком использовании трудовых ресурсов, при котором достигаются максимальный материальный результат и социальный эффект при минимальных затратах труда (в т.ч. рабочего времени), при минимальных социальных издержках [7].

Применение категории «эффективная занятость» к молодежному сегменту рынка труда, на наш взгляд, не только уместно, но и необходимо, т.к. только такой подход может дать полную характеристику экономической эффективности применения труда молодежи, особенно с качественной стороны.

На наш взгляд, эффективная занятость молодежи – это занятость, которая позволяет обеспечить молодым специалистам достойный доход, возможности не только реализации профессионального и интеллектуального потенциала, приобретенного в процессе обучения, но и его роста и совершенствования.

Формирование эффективной занятости молодежи позволит решить ряд значимых социальных и экономических проблем. Во-первых, стабильный и достойный доход обеспечит возможность содержать семью, решить проблемы жилья, отдыха, образования и воспитания детей, что позволит сократить число разводов в стране. Так, по данным Госкомстата РФ, в 2000 г. распалось 69% браков, в 2007 г. – 54% (показатель разводов в г. Балаково намного выше среднероссийского: в 2009 г. было зарегистрировано 1650 браков и 1160 разводов. По сравнению с 2008 г. число браков выросло на 15%, а число разводов – на 29%) [8, 9]. Во-вторых, интересная работа, позволяющая реализовать потенциал молодых специалистов, приведет к повышению эффективности производства, позволит «запустить» механизмы экономического роста; наконец, в-третьих, интересная, достойно оплачиваемая работа будет способствовать «закреплению» молодежи в местах традиционного проживания, снизит отток экономически активного, образованного населения из «провинции» в «центры», т.е. в крупные города. Это также обеспечит экономический эффект, поскольку издержки, связанные с получением образования и квалификации, будут возмещаться на той же территории, т.е. в муниципальных образованиях. Экономический результат будет получен в виде прироста валового муниципального продукта, в т.ч. за счет увеличения совокупного спроса и появления мультипликативного эффекта.

К сожалению, как показывает практика, только 50% выпускников вузов трудоустраиваются по специальности [10]. Это подтверждается и проведенным опросом выпускников 2008 и 2009 годов Балаковского института техники, технологии и управления. Не видя в городе перспективы трудоустройства по специальности, более 30% опрошенных высказали намерение уехать в крупные города. Анализ трудоустройства выпускников специальности «Экономика и управление на предприятиях машиностроения» последних 5 лет показал, что в Москве, Санкт-Петербурге, Самаре, Саратове и других крупных городах работают более 65% выпускников, абсолютное большинство из которых работают по своей специальности и получают достойную заработную плату.

Наше исследование затрагивает, в первую очередь, проблемы трудоустройства и эффективной занятости выпускников вузов и средних специальных учебных заведений. В возрасте 21-24 лет большинство молодых людей испытывают так называемый «шок от реальности», связанный с тем, что их идеальные представления о будущей трудовой деятельности вступают в противоречия с реальной обстановкой на рабочем месте. Именно на этот же возраст приходится и период начального этапа карьеры, характеризующийся вхождением в ор-

ганизацию, нахождением своего места в ней. Поэтому необходимы специальные адаптационные молодёжные программы, которые призваны помочь молодым сотрудникам адекватно воспринять существующую в социально-трудовой сфере ситуацию.

Неэффективная и неполная занятость молодежи негативным образом сказывается на экономических и социальных процессах в границах муниципального образования: приводит к дальнейшему демографическому спаду, оттоку рабочей силы из провинции в «центры», чаще всего в города-мегаполисы, а также в теневой сектор экономики, ухудшению криминогенной ситуации (растет число социальных патологий: алкоголизм, наркомания, токсикомания, преступность), ослаблению пенсионных гарантий, отсутствию преемственности поколений в производственной сфере, а самое главное, снижению мотивации к инновационной деятельности.

Для поднятия уровня эффективной занятости молодежи, в т.ч. в границах муниципалитетов, необходима не только инвестиционная поддержка государства, но, в первую очередь, создание новой институциональной среды занятости молодежи, на основе которой возможно изменение экономического поведения агентов в молодежном сегменте рынка труда.

Вопрос о значении институтов, их воздействии на экономический рост и эффективность экономики достаточно широко освещен в классических работах исследователей, заложивших основы новой институциональной экономической теории.

Теория институциональной экономики представляет собой область знаний о правилах экономического поведения: о том, как они «работают», как формируются и меняются, с какими издержками и выгодами связаны их создание, изменение, соблюдение и нарушение [11]. Отсюда категория «институт» характеризуется как совокупность, состоящая из правил и внешнего механизма принуждения индивидов к исполнению этого правила [12]. В экономических исследованиях часто используют и более развернутое понятие института, данное лауреатом Нобелевской премии по экономике Д. Нортон: «институты – это «правила игры» в обществе, или, выражаясь более формально, созданные человеком ограничительные рамки, которые организуют взаимоотношения между людьми, формальные правила, неформальные ограничения и способы обеспечения действенности ограничений» [12]. Существуют и другие определения института, однако все их авторы неизменно подчеркивают тот факт, что принуждение к исполнению «главных» правил в рамках института связано с наличием в институциональной среде особого механизма – внутреннего (следование традициям, нравственным нормам и т.д.), либо внешнего, специально созданного с целью осуществления регулирования на всех уровнях управления.

Принимаемые государственной властью законы, определяющие те или иные правила поведения работодателей и работников на рынке труда (закон о минимальном размере оплаты труда, закон о труде, налоговое законодательство, законопроекты в образовательной сфере и др.), прямым либо косвенным образом сказываются на структуре и уровнях издержек, которые несут как работодатели (затраты на подготовку персонала, заработную плату и т.д.), так и работники (моральная нагрузка, связанная с поиском рабочего места, низкая заработная плата, невостребованность на рынке труда и т.д.). Приходится констатировать тот факт, что современные институты, регулирующие поведение агентов на рынке труда, в т.ч. в молодежном его секторе, действуют в настоящее время весьма неэффективно. Именно поэтому молодежь, как было подчеркнуто выше, является одной из наиболее дискриминируемых групп населения на рынке труда. Это актуализирует задачу формирования новой институциональной среды, которая позволит осуществить комплексное воздействие на поведение субъектов рынка труда (работодателей и работников, в том числе потенциальных) с целью обеспечения эффективной занятости молодежи.

Институциональная среда – это совокупность основополагающих социальных, политических и юридических правил, определяющих рамки для установления институциональных соглашений [13]. Указанные правила могут представляться как в формальном (законы, постановления, программы), так и в неформальном (обычаи, менталитет) виде.

Теоретическое представление о контурах институциональной среды, определяющей рамки поведения экономических агентов (молодых работников и работодателей) на рынке труда, дает схема, представленная на рис. 2.

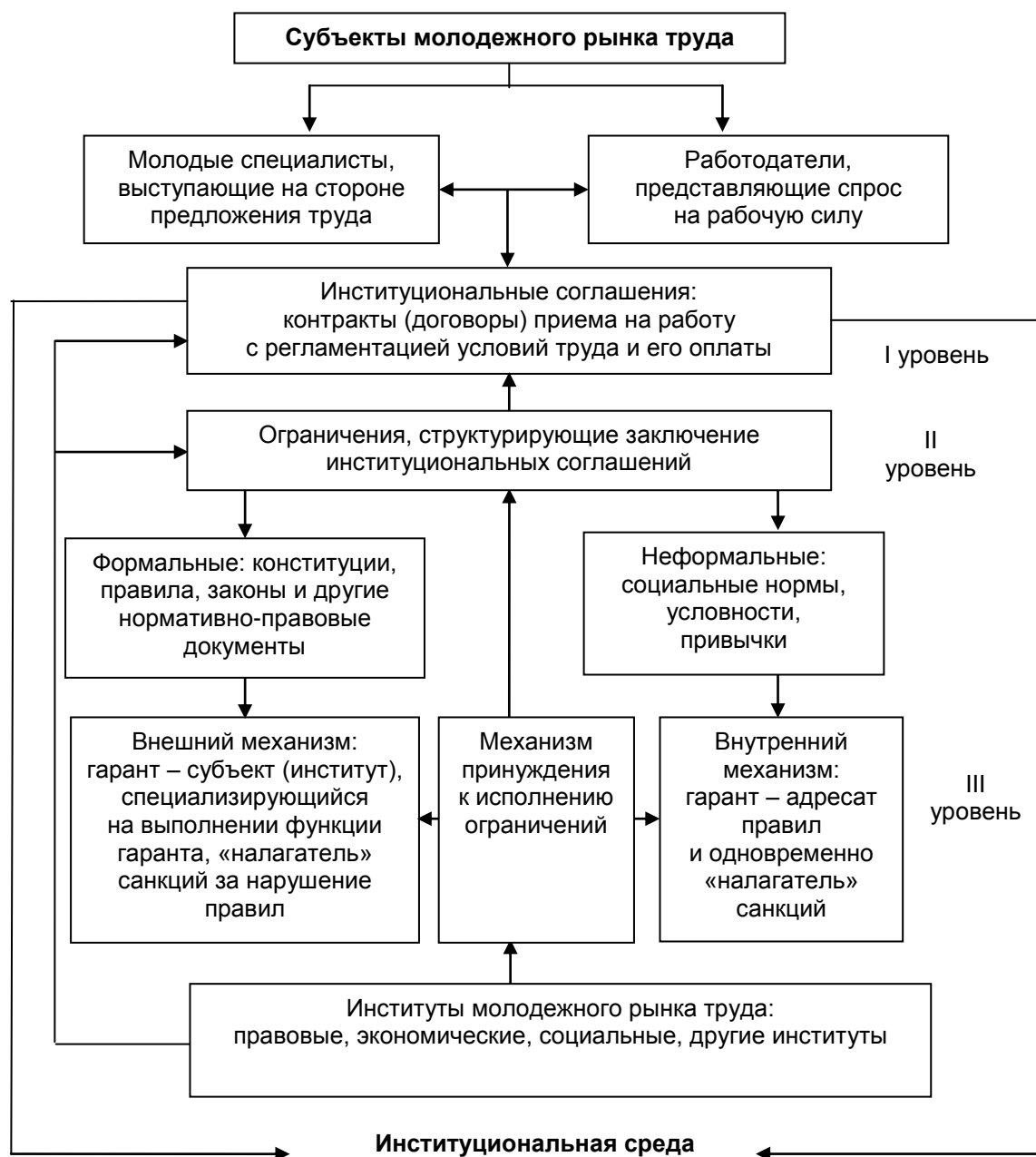


Рис. 2. Институциональная среда молодежного рынка труда

Данная схема характеризует взаимодействие потенциальных работников (в нашем случае молодых специалистов, выпускников учебных заведений) и работодателей, путем заключения институциональных соглашений (первый уровень) в рамках ограничений, структурирующих их заключение (второй уровень) при наличии механизма принуждения к исполнению ограничений (третий уровень).

Следовательно, составляющими институциональной среды выступают нормы и правила социальной жизни общества, функционирования его политической сферы, базовые правовые нормы – законопроекты, правовые акты, указы и т.п.

Институциональная среда объединяет в себе все сферы как трудовой, так и социальной жизнедеятельности, принимающие активное участие в процессе стимулирования эффективной занятости молодежи, лоббирования интересов молодых специалистов и инноваторов в процессе трудоустройства, а также осуществляющие защиту интересов молодых работников во время трудовой деятельности – защиту от трудовой дискриминации. Она формирует правовые, экономические, социальные и иные основы, обеспечивающие эффективный уровень занятости на молодежном рынке труда, тем самым обеспечивая устойчивое прогрессивное развитие молодого поколения, как стратегического ресурса формирования инновационной экономики.

Таким образом, целью создания новой институциональной среды должно являться обеспечение эффективной занятости молодого поколения участников рынка труда, что позволит создать и развивать социально-трудовую базу для перехода российской экономики на инновационный путь.

Особую роль в обеспечении эффективной занятости молодежи должны играть муниципальные образования. Именно в них, т.е. городах, поселках и других населенных пунктах компактного проживания населения большинство молодых людей получают образование и квалификацию, определяют социальные и профессиональные ориентиры, часто приобретают первый опыт выхода на рынок труда.

В качестве ведущей институциональной формы, определяющей формирование эффективной занятости молодежи в муниципальных образованиях, должна стать молодежная политика, разработкой и осуществлением которой занимается Управление по делам молодежи администрации муниципалитетов. Однако зачастую данные ведомства испытывают правовые, организационные и финансовые ограничения, поэтому на данный момент не сформирована реально действующая молодежная политика, обеспечивающая экономически эффективную занятость молодежи.

Неэффективность существующей в рамках муниципалитета молодежной политики связана также с отсутствием ее глубокой научной обоснованности, логической скоординированности с другими социальными сферами деятельности муниципалитетов (социальной, кадровой политикой и др.). Недостаточно разработана нормативно-правовая база молодежной политики; не всегда осуществляются диагностика и комплексный социальный мониторинг состояния дел в молодежной сфере. Последнее не позволяет определить, насколько эффективно реализуются на практике те мероприятия, которые включены в муниципальные программы поддержки молодежи. Зачастую прекрасно разработанные программы помощи молодежи фактически ничего не изменяют в положении дел в молодежной среде.

По мнению некоторых исследователей, одним из направлений решения проблемы занятости молодежи является ее вовлечение в гибкие формы занятости (скользящий график работы, сезонная, неполная занятость). На наш взгляд, такие формы занятости не предусматривают стабильного заработка, а неполная занятость обеспечивает и вовсе низкий доход, поэтому они (эти формы занятости) не всегда приемлемы для большинства молодых специалистов и, конечно, не могут быть отнесены к эффективной занятости.

Решение проблемы эффективной занятости имеет особое значение для Саратовской области, в т.ч. и Балаковского муниципального образования, т.к. в регионе имеется высокая доля молодежи в составе экономически активного населения (307,5 тыс. человек – по области, в БМО – 60 тыс. человек, при общем населении 220 тыс. человек, следовательно, доля молодежи составляет 27,3%, что выше среднероссийского показателя). В противном случае выход на рынок труда молодежи с профессиональным образованием, не соответствующим структуре спроса на рынке труда, или, что еще хуже без него (образования), может привести

к снижению качества труда и к самым негативным экономическим и социальным последствиям в перспективе.

Осуществление государственного регулирования занятости населения происходит путем создания и применения в рамках определенной институциональной среды правовых и экономических методов воздействия на спрос и предложение рабочей силы. Правовые методы включают в себя создание законодательной базы, необходимой для обеспечения равных возможностей в сфере занятости всех граждан и их социальной защиты.

Для экономических методов характерно приведение в действие таких рычагов, как инвестиции, системы налогообложения и кредитования, заработная плата (для работников бюджетной сферы), пособия, другие материальные и социальные блага.

Для объединения указанных рычагов (правовых, экономических) в единую институциональную основу со стороны властей муниципальных образований необходимо провести ряд основополагающих, базисных действий:

1. Содействие общеобразовательной и профессиональной подготовке молодежи к труду:

- оказание посильной помощи учебным заведениям в социализации учащихся и студентов, реализации их интересов, путем организации профильных клубов и центров дополнительного образования. В программы работы таких центров должны быть включены семинары, на которых освещается реальная обстановка на муниципальном рынке труда, проводится изучение поведенческих принципов в условиях поиска работы; оказывается помощь в планировании и развитии эффективной карьеры. Все это будет способствовать профессиональному самоопределению молодых людей не только исходя из их потребностей и возможностей, но и с учетом ситуации на рынке труда;

- поддержка и развитие самостоятельности и инициативы учащихся и студентов, организация конкурсов инновационных молодежных проектов; поддержка молодежных общественных объединений, в основе деятельности которых лежат принципы, направленные на обеспечение выпускников перспективной работой, например бюро по трудоустройству молодежи.

2. Осуществление структурных изменений в образовательной системе. Вопрос об эффективности образовательной системы в последнее время становится все более актуальным. Нерационально с точки зрения общественных интересов подготавливать невостребованных специалистов, которые впоследствии вынуждены будут менять профессию и специальность.

Решение этого вопроса связано с проведением мониторинга спроса на рынке труда на среднесрочный и долгосрочный период. Власти любого муниципального образования, во избежание критического уровня диспропорции в структуре спроса и предложения на молодежном рынке труда, должны осуществлять меры по обеспечению соответствия объемов и профилей подготовки специалистов в учебных заведениях потребностям муниципального производственно-хозяйственного комплекса. Это могут быть меры прямого воздействия на образовательные учреждения и косвенного – на абитуриентов, в т.ч. посредством проведения активной программы подъема престижа востребованных специальностей на рынке труда. Здесь, конечно, возможны проблемы с негосударственными вузами, которые по своему усмотрению решают, кого и в каком количестве выпускать. В связи с этим, как нам представляется, одним из направлений решения данного вопроса может стать введение в качестве обязательного критерия при аккредитации негосударственных вузов процент трудоустроенных (в дальнейшем эффективно занятых) выпускников в динамике за определенный период времени.

3. Создание льготных условий развития предпринимательской деятельности, особенно связанной с инновационными наработками. Речь идет о программе «начального капитала для молодых предпринимателей», а также о совершенствовании регулирующей функции института налогообложения, путем создания гибкой шкалы налоговых ставок и сборов для мо-

лодых предпринимателей и работников. Данное действие необходимо для подготовки поколения людей, способных наращивать финансово-экономические, научные, образовательные, социально-политические ресурсы страны.

4. Изменение порядка приема на работу молодых специалистов. Многие работодатели сегодня предъявляют завышенные требования к молодым специалистам, многие компании не видят необходимости для применения труда молодежи, не находят для молодежи возможности карьерного роста в рамках своего предприятия. Поэтому мерой, стимулирующей эффективную занятость молодежи, может стать смягчение критериев приема на работу, в частности прием молодежи без опыта работы путем квотирования для них рабочих мест, а также использование гибкого графика работы для студентов дневной формы обучения с целью получения ими практического опыта. В данном направлении уже есть определенные наработки для создания подобного законопроекта у «Молодой гвардии», политической партии «Единая Россия». Но на пути воплощения в жизнь данных идей молодых политиков, как они и сами признают, возникает барьер, связанный с отсутствием механизма (инструментов и санкций) воздействия на незаконопослушных работодателей.

5. Создание малых предприятий при вузах, как было предложено в мае прошлого года Президентом РФ Д. Медведевым. Подобные организации в большинстве своем должны состоять из студентов старших курсов и выпускников вузов. Это позволит создать связующее звено между учебным заведением и производством путем приобретения молодыми специалистами практического опыта. Будет решена проблема получения стабильного (пусть даже и небольшого) заработка. Закон о создании малых инновационных предприятий при вузах и научных учреждениях был подписан Президентом России 02.08.2009 г. Данный Закон предоставляет вузам, НИИ право образовывать хозяйственные общества для практического применения результатов интеллектуальной деятельности, в т.ч. программ для ЭВМ, баз данных, изобретений, полезных моделей, промышленных образцов, селекционных достижений, секретов производства (ноу-хау), исключительные права на которые принадлежат этим научным учреждениям. При этом закон устанавливает, что доля бюджетного научного или образовательного учреждения при образовании акционерного общества должна быть более 25%, или более одной трети при создании общества с ограниченной ответственностью.

По мнению ряда политиков, данное направление может оказаться одним из самых перспективных в решении проблемы формирования эффективной занятости молодых специалистов и создания, тем самым, условий для перехода к инновационной экономике. При практической реализации данного законопроекта станет возможной активизация разработок в инновационной области, что в дальнейшем может послужить фундаментальной основой для создания муниципального инновационного кластера на базе внедрения в производство молодежных проектов предприятиями и иными хозяйствующими субъектами муниципального образования.

6. Широкое освещение результатов реализации различных направлений молодежной политики в средствах массовой информации. Данная деятельность создаст среду для адекватной оценки молодыми специалистами своих гарантий и возможностей, обеспеченных структурами власти муниципального образования, а также перспектив на рынке труда, оценке экономической действительности. Средства массовой информации позволят также выявить общий настрой молодого поколения, через осуществление обратной связи.

7. Наконец, при разработке муниципальной молодежной политики, опирающейся на адекватную нормативно-правовую базу и реальное финансовое обеспечение мероприятий, необходимо придать ее целям и задачам выраженную инновационную направленность.

Это далеко не полный список мероприятий, которые могут создать условия для формирования эффективной занятости молодежи. По отдельности данные действия представляют собой всего лишь единичные направления, апробация которых не сможет решить задач, возникших в результате массового выхода выпускников учебных заведений на рынок труда.

Данные мероприятия являются дополняющими друг друга и только при объединении их в общей институциональной среде могут возникнуть предпосылки повышения инновационной и экономической активности молодежи. На этом должна основываться ориентированная на долгосрочный период, тщательно разработанная молодежная политика.

Формирование эффективной занятости молодежи является условием инновационного развития не только муниципалитетов, но и всего региона, и, как следствие – условием создания национальной инновационной системы.

К сожалению, несмотря на острую актуальность проблемы формирования эффективной занятости молодежи, в теоретико-экономических исследованиях отсутствует единое мнение относительно макроэкономической роли молодежного рынка труда и специфических характеристик рабочей силы молодежи. Это затрудняет выявление тенденций формирования молодежного рынка труда, особенностей его структуры и факторов, обуславливающих его развитие. По-видимому, этим объясняется недостаточно эффективная работа по формированию соответствующих федеральных и региональных механизмов обеспечения эффективной занятости молодежи.

Работа выполнена в рамках научного проекта по Аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 гг.): «Исследование эндогенных факторов повышения качества человеческого потенциала российских муниципальных образований в условиях перехода в режим инновационного развития» (СГТУ-259).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гамидов Г.С. Инновационная экономика – стратегическое направление развития России в XXI веке / Г.С. Гамидов, Т.А. Исмаилов // Инновации. 2003. № 1. С. 16-20.
2. <http://www.cfin.ru/bandurin/article/sbrn08/13.shtml>.
3. [http://www.gazeta.ru/2009/09/10\\_a\\_3258568.shtml](http://www.gazeta.ru/2009/09/10_a_3258568.shtml).
4. <http://www.gks.ru/wps/portal/>-<http://www.gks.ru/wps/portal/>.
5. <http://www.trudinfo.ru>.
6. [http://slovari.yandex.ru/dict/glossary/article/1834/183\\_4696.HTM](http://slovari.yandex.ru/dict/glossary/article/1834/183_4696.HTM).
7. [http://mirslovari.com/content\\_soc/JEFFEKTIVNAJA-ZANJATOST-7989.html](http://mirslovari.com/content_soc/JEFFEKTIVNAJA-ZANJATOST-7989.html).
8. <http://razvodimsya.ru/all/statistika-razvodov-v-rossii>.
9. <http://balakovomedia.ru/pages.php?id=1078>.
10. [http://kcst.bmstu.ru/index.php?option=com\\_mcpt&view=event&eventid=2163](http://kcst.bmstu.ru/index.php?option=com_mcpt&view=event&eventid=2163).
11. Аузан А.А. Институциональная экономика / А.А. Аузан. М.: Инфра-М, 2005. 210 с.
12. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / Д. Норт. М.: Начала, 1997. 320 с.
13. Федеральный закон Российской Федерации от 2 августа 2009 г. № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности».

**Суворова Виктория Васильевна** – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономика, организация и управление на предприятиях» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Suvorova Viktoriya Vasiliyevna** – Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of «Economics, Organization and Management of Enterprises» of Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (branch) of Saratov State Technical University

**Мезенцев Юрий Михайлович** –

**Mezentsev Yuriy Mikhailovich** –



аспирант кафедры «Экономика,  
организация и управление на предприятиях»  
Балаковского института техники,  
технологии и управления (филиала)  
Саратовского государственного  
технического университета

Post-graduate Student  
of the Department of «Economics,  
Organization and Management of Enterprises»  
of Balakovo Institute of Engineering,  
Technology and Management (branch)  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 25.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 316.334.3

**М.В. Тулузакова**

### **ЖЕНСКИЕ СОЦИАЛЬНО-ПОЛИТИЧЕСКИЕ ОРГАНИЗАЦИИ: СОВЕТСКИЙ ОПЫТ И СОВРЕМЕННОСТЬ**

*Проанализированы советский опыт и некоторые традиции женских общественных организаций. Сделан вывод о сохранении элементов патриархальной политической структуры с маскулинным типом мышления. Исследован характер деятельности современных женских организаций, объективно способствующих становлению гражданского общества в России. Дана авторская типология женских социально-политических движений.*

Женские общественные организации, женские социально-политические движения, женская социально-демографическая общность, гражданское общество, равноправие, женская политическая активность, патриархальное сознание.

**M.V. Tuluzakova**

### **FEMALE SOCIAL-POLITICAL ORGANIZATIONS: DURING THE SOVIET UNION TIMES AND NOWADAYS**

*The article concerns the history and traditions of female organizations arranging in the Soviet Union. It is concluded that some elements of patriarchal political structure with masculine type of thinking were preserved then. The author considers the character of modern female organizations which definitely contribute to civil society development in Russia. Female social-political movements are originally classified in the article.*

Female organizations, female social-political movements, female social-demographic unity, civil society, equality, political activity of women, patriarchal mentality.

Право на объединение является важнейшим условием осуществления политической свободы и обеспечения демократии в обществе. Данная норма закреплена в Конституции Российской Федерации, в Федеральных законах «Об общественных объединениях», «О про-

фессиональных союзах, их правах и гарантиях деятельности», «О политических партиях», «О некоммерческих организациях».

Процесс развития общественных организаций в советскую эпоху привел к тому, что практически все взрослое население участвовало в деятельности общественных организаций, состоя нередко, а потому и формально, членами нескольких из них. Самостоятельная роль общественных организаций как субъекта политической деятельности практически не нашла отражения в научной литературе советских лет. На это имелись объективные причины, ведь все организации работали непосредственно под руководством КПСС. Общественные организации, с одной стороны, существовали как целостная система, включавшая в себя КПСС, ВЛКСМ, профессиональные и творческие союзы, кооперативные и добровольные общества, и, с другой стороны, были элементом политической системы общества.

Новая роль женщин, активно участвующих в общественной и политической деятельности в постсоветской России, актуализирует относительно недавний исторический опыт женского социально-политического участия, связанный с советской эпохой и её спецификой.

Советская власть и её лидеры, так или иначе, отдавали себе отчет в необходимости привлечения женщин на свою сторону. Интересы и потребности женщин трудящихся классов (рабочих и крестьян) представлялись как общие для всего угнетенного населения и как прямо противоположные интересам угнетающего меньшинства. Противоречия же, существовавшие между мужчинами и женщинами трудящихся классов и тем более между различными группами женщин, относящихся к классу угнетенных (работницами, женами рабочих, крестьянками, домашней прислугой и т.п.), фактически игнорировались. Женщины из других сословий – купечества, дворянства, духовенства, интеллигенции – объявлялись классово чуждыми и не получали никаких политических прав. Весь тон партийных заявлений первых послереволюционных лет, несмотря на общую освободительную направленность, ставил женщину в позицию «получательницы даров» от освободителей, отнюдь не осознающей себя своей собственной освободительницей. Активизация социально-политического участия женщин мыслилась как закономерный переход от достижения элементарной общеобразовательной грамотности к грамотности политической, а от политической грамотности – к политической активности.

Необходимость воспитания женщин в коммунистическом духе и привлечения их к социалистическому строительству привела к созданию при партийных комитетах женотделов. Перед женотделами различного уровня была поставлена задача: поднять политическое сознание женщин и привить им навык действий в публичной сфере. Женотделы и их активистки участвовали в создании комитетов помощи больным и раненым красноармейцам. После окончания гражданской войны участвовали в борьбе с голодом и разрухой, организовывали субботники, общественные столовые, детские дома и интернаты. По инициативе женотделов принимались декреты о семейном, правовом, брачном и имущественном положении женщин. Фактически это означало активное участие женщин в работе отделов социального обеспечения, труда, народного образования, здравоохранения. Первоначально женотделы существовали исключительно в городе, затем их деятельность была распространена и на деревню, где женщины помимо прочего были призваны способствовать и хозяйственному просвещению крестьян. Именно работа женщин-делегаток впервые предоставила тысячам женщин возможность попробовать свои силы в осуществлении властных функций.

В свою очередь, эта активность не могла не оказать влияния на представления женщин о самих себе и окружающей их социальной реальности. Деятельность женщин сконцентрировалась в основном в привычной для них сфере, и, несмотря на придание их функциям государственной значимости, они были не сравнимы с задачами обороны, финансов, промышленного производства, идеологии, остававшихся по-прежнему в ведении мужчин. Тем самым была заложена определенная традиция, которая сохраняется и до сих пор. Родоначальником политического обоснования подобного рода распределения, оставляющего женщинам в качестве поля для самореализации социальную сферу, систему жизнеобеспечения

семьи, был В.И. Ленин. «В Советской республике для женщин-работниц открывается политическая деятельность, которая будет состоять в том, чтобы своим организаторским умением женщина помогала мужчине» [1, с.204].

Названная концентрация в социальной сфере, по существу, лишала женские организации возможности влиять на принятие важнейших решений, хотя бы и на местном уровне, а также не позволяла ощущать значимость собственной деятельности. А потому женское движение 1920-х годов более всего являлось социально-экономическим явлением, одной из форм классовой борьбы пролетариата, и менее всего – социальным феноменом, признаком определенной ступени развития женской социально-демографической общности. Зарождавшийся в те годы миф о равноправии советской женщины конструировал и закреплял стереотип о том, что главная сфера применения сил советской женщины – это все-таки семья, её жизнеобеспечение, а позднее и сохранение семейных ценностей. В политике же ей отводилась вспомогательная роль – «помощника», «надежного тыла» и т.п. Не следует забывать также и о том, что женотделы, как практически единственные органы женской активности, не мыслились вне партийного контроля. А женщины постоянно представлялись как группа, не способная принимать самостоятельные решения, а потому нуждающаяся в руководстве.

Фактически система политического равноправия мужчин и женщин в ее советском варианте характеризовалась отсутствием женщин как коллективного актора, привносящего в политику свою субъектность и защищающего свои интересы.

Ликвидация женотделов в 1929 году означала, что большевистской партии уже не требовались самостоятельные женские организации. Но в женском труде нуждалось советское государство, не всегда хотевшее брать на себя ответственность за последствия его использования. Патриархатное по своему сознанию общество сделало далеко идущий вывод: советская женщина обязана быть работницей, верной женой и заботливой матерью.

Обращает на себя внимание тот факт, что советские женщины были довольно-таки лояльны по отношению к власти и государству, откликаясь практически на все их призывы. Так, в 1930-е годы женщины активно овладевали мужскими специальностями, становились трактористками, летчицами, машинистами паровозов и т.п., участвовали в стахановском движении. С 1933 года развернулось движение жен-общественниц за культуру на производстве и в быту, которое ставило своей целью работу с домохозяйками для вовлечения их в общественное производство. По призыву В.С.Хетагуровой тысячи женщин поехали осваивать Дальний Восток. Так появилось движение «хетагуровок», известное большинству наших современников по фильму «Девушка с характером». Вполне в духе времени проводились и соответствующие мероприятия: в 1931 г. состоялось Всесоюзное совещание по женскому труду, в 1936 г. Всесоюзное совещание жен комсостава Красной Армии, Всесоюзное совещание жен хозяйственников и инженерно-технических работников тяжелой промышленности. Для идейного воспитания советских женщин создавались специальные журналы. Некоторые из них выдержали испытание временем и существуют до сих пор. Это – «Коммунистка» (1920), «Крестьянка» (1922), «Работница» (1923), «Делегатка» (1923), «Общественница» (1936). Но уже в самом начале 1930-х годов издания «Коммунистка» и «Делегатка» прекратили свое существование, а к 1934 году фактически не стало всех самостоятельных женских делегатских собраний.

В последующие годы, несмотря на указанную лояльность, была уничтожена даже память о том, что когда-то в СССР существовали самостоятельные женские организации для обучения женщин навыкам управления и осознания своих интересов.

Женские интересы на всех уровнях сразу, в том числе и за рубежом стал представлять созданный в 1941 г. Антифашистский комитет советских женщин. Он был преобразован в 1956 г. в Комитет советских женщин (КСЖ). Социальная активность женщин, реализуемая под руководством и контролем Коммунистической партии, направлялась теперь главным образом на укрепление советской семьи и пропаганду многодетных семей. Комитет советских

женщин с его вертикальными структурами был чистым порождением партийно-административной системы и лишь создавал видимость участия советских женщин в принятии решений на правительственном уровне. Но именно данный Комитет стал впоследствии ядром Союза женщин России (лидер А. Федулова). Вероятно, эта привязанность к традиционным ценностям и послужила причиной того, что деятельность данной организации и теперь носит формальный характер.

Таким образом, в 1920-1980-е годы исключительно директивными методами решался вопрос о том, как жить советской женщине: быть ей свободной труженицей или хранительницей домашнего очага. Даже те решения, которые были направлены на ограничение свободы и достоинства самих женщин (именно так можно оценивать закон 1936 г. о запрещении абортов), принимались без каких-либо предварительных консультаций с женщинами. Сверху же задавались формы социальной активности. Но главным достижением советской поры в принципе можно считать не только факт массового участия женщин в политическом голосовании, но и приобретение ими некоторых технических навыков: чтение и прослушивание политической информации, усвоение процедуры заполнения бюллетеней, формирование определенных представлений о структуре и формах политической жизни.

Без партийно-государственной поддержки любой женской организации приходилось более чем трудно. Примером тому может служить судьба женского клуба «Мария», существовавшего в 1979-1982 годах в Ленинграде на общей волне диссидентского движения. В названный клуб входили женщины, в равной мере отрицавшие как традиции русского революционного движения, так и идеи западного феминизма. Участницы клуба считали, что за годы Советской власти произошла мутация и мужчин, и женщин в то, что называлось и называется, вероятно, до сих пор, советским человеком. Клуб «Мария» стремился к борьбе против всеобщего бесправия и гермафродитства, против рабства, стирающего разницу между мужчиной и женщиной.

Политико-культурные нормы советского периода были результатом доминирования государства над гражданами, идеологической риторики и соответствующих им политических действий. Это привело к формированию своеобразного механизма культурной рациональности, а именно политической лояльности как наиболее выигрышной стратегии выживания гражданина. Как следствие, политическое участие в СССР было массовым, активным и подчиненным идеологии. Советский политический активизм во многом основывался на принуждении: отказ от выражения лояльности не одобрялся властью, а потому политическая пассивность была небезопасна. Кроме того, активность была практически полезна и служила залогом роста социального статуса человека. Механизм формирования интереса к политике был схожим, причем независимо от того, разделял ли каждый отдельный гражданин ценности системы или нет. Именно это не позволяет в настоящее время однозначно говорить о мотивированности политического участия советского времени.

Оценивая гендерные отношения в сфере политики эпохи социализма, можно увидеть практически полное отсутствие женщин в сфере управления государством, там, где принимались реальные политические решения.

Вместе с тем, существовали полный набор деклараций о политическом равенстве женщин, их активном участии в строительстве социализма и дежурные женские лица в президиумах партийных и прочих собраний. При подведении итогов выборов обычно подчеркивалось, что советские женщины широко используют свое право избирать и быть избранными: 99% женщин принимают участие в голосовании, женщины участвуют в выдвижении кандидатов в депутаты, ведут агитационную работу, сами баллотируются во все законодательные органы власти.

Благодаря эпохе гласности, стало общеизвестно, что в законодательные органы женщины допускались по спецразрядке, иначе называемой «квота», которая могла меняться в полном соответствии с текущим моментом. Немаловажно и то, что на практике советские

законодательные органы не обладали реальной властью и собирались, главным образом, для того, чтобы одобрить уже принятые партийные решения. А потому, как справедливо утверждает в своих работах С.Г. Айвазова, некорректно сравнивать показатели участия советских женщин в политической жизни с аналогичными показателями стран Запада: слишком различно понимание демократии как таковой [2].

По существу Советское государство рассматривало женщину как объект политики, но не признавало её субъектности. Именно об этом просто и без затей сказал Генеральный секретарь ЦК КПСС Л.И. Брежнев на XXV съезде партии: «Партия считает своим долгом проявлять постоянную заботу о женщине, об улучшении её положения как участницы трудового процесса, матери и воспитательницы детей и хозяйки дома» [3, с.85]. Проявление же любой социальной активности жестко регламентировалось партийным руководством, а формы социального творчества были predetermined заранее. Данное утверждение в полной мере относится и к женским социальным инициативам [4]. Поэтому вообще не могло идти речи о какой-либо самоорганизации общественных объединений в принципе. Исключение составляли организации, существовавшие в 1960-1980-е годы в рамках диссидентства как явления, стремящегося к соблюдению индивидуальных прав и свобод граждан. Подобная ситуация абсолютно соответствовала делению общества на партию и собственно общество.

Вышеизложенное означает, что в советскую эпоху сформировались стойкие традиции жесткой патриархальной политической структуры с маскулинным типом мышления, характеризующимся иерархической системой различий в рамках противопоставления мужественность-женственность, Я – Другой. Именно маскулинный тип мышления и связанные с ним стереотипы поведения побуждают мужчин соревноваться с себе подобными для подтверждения своего статуса, а женщин - отступать в этом соревновании или выступать в качестве зрителя.

Названная иерархия мало соответствует духу гражданского общества, ибо сохраняет общинные отношения, наделяет вышестоящего ценностью и властью над нижестоящими, нивелирует индивидуализм или атомизацию общества. Следовательно, в советское время нельзя было в принципе говорить об автономии «вторичных ассоциаций», составляющих структуру гражданского общества.

Для перестроечных 1990-х годов было свойственно критическое отношение к большинству существовавших общественных организаций, тем более что они не адекватно отражали общественные интересы во властных структурах, слабо влияли на политическую систему и характер социальных отношений. В 1990-е годы российское общество столкнулось с появлением новой социальной практики и женской социальной активности – «независимым женским движением», возникшим из первых женских групп, стремившихся существовать как самостоятельная социальная сила. Это явление в начале своего развития не было масштабным и имело сложную идейную и социально-политическую подоплеку. Несомненно, что на проявления социальной активности участниц независимого женского движения накладывали свой отпечаток нормы и ценности, прочно усвоенные в советскую эпоху и не позволяющие ориентироваться в новых гражданских инициативах. А с другой стороны, опыт женских организаций позволил создать такие социальные практики, которые способны разрушить гендерные стереотипы в их патриархальном и/или советском проявлениях.

Становление женского движения в постсоветский период прошло несколько этапов: период клубно-кружковой неформальной деятельности; период самодеятельности и период институционализации движения как такового. Периодизация женского движения в постсоветский период, где за основу будет взята сущность происходящих процессов, а не относительная условность дат, может быть предложена в качестве самостоятельного предмета исследования.

Социальные движения женщин возникли в период трансформации российского общества, а потому интенсивность их развития во многом определялась социально-

экономическими проблемами. Степень адаптации государственной политики по отношению к женским проблемам во многом предопределила векторность этого явления.

Фактически современные женские социально-политические движения отличаются многообразием организационных форм, целевых ориентиров и достаточно высокой степенью независимости от властных структур и политических партий, что затрудняет возможности создания классификации. Но это необходимо сделать не только с научной точки зрения. Ведь если женской организации трудно идентифицироваться, определить собственные цели и найти специфические способы влияния на общество, то ещё труднее найти в массах собственных сторонников.

В справочнике «Женские неправительственные организации России и СНГ» представлен опыт дескриптивной классификации, позволившей упорядочить имеющуюся на тот момент информацию о женских организациях постсоветского времени. В соответствии с этой классификацией на первое место выходят организации, имеющие международный, общедо- федеральный и межрегиональный статус, а также местные организации, занимающиеся в основном правозащитной деятельностью как по отношению к самим женщинам, так и по отношению к другим группам граждан (чаще всего призывникам и солдатам). Именно подобные организации составляют до 3/5 от общего числа женских объединений. Менее известны организации, которые ведут борьбу с дискриминацией женщин на рынке труда, развивают и поддерживают женское предпринимательство. В провинции же практически отсутствуют организации, занимающиеся женскими проблемами. И очень немногие женские организации заявляют о себе как о сугубо политических объединениях или партиях. Последним вообще трудно самоопределиться и найти оптимальные формы взаимодействия со структурами государственной власти и политической системы общества.

В настоящее время названная классификация несколько устарела и является недостаточной для понимания сущности современных социально-политических движений российских женщин. Реальность объективно сложнее. Ведь женщины объединяются для совместного решения таких проблем, как совмещение семейных и социальных ролей, положение на рынке труда, равные права и возможности их фактического использования, получение конкурентоспособного профессионального образования, обеспечение целенаправленных совместных действий в защиту собственных прав и т.д. Это означает, что многообразие направлений деятельности женских организаций можно объяснить специфическими чертами, характером и направленностью проблем женщин, социально-культурными, этническими и религиозными особенностями, уровнем экономического развития и урбанизации, отраслевой структуры экономики и соответствующей ей профессиональной подготовки женщин, свойственными различным регионам, республикам, областям и муниципальным образованиям России. Но при всем многообразии политических и социальных ориентиров, целевых установок и организационных форм женские организации объективно способствуют повышению социального статуса российских женщин, формируют стратегию гендерного преобразования общества.

Какие женские социально-политические организации и объединения представлены в современном российском обществе? Насколько они отражают интересы женщин как представителей социально-демографической общности и способствуют ли реализации их социального потенциала? Поиск ответов на эти вопросы способствовал созданию авторской классификации социально-политических движений. При этом автор сознательно отказался от традиционных подходов: марксистского (классового), психологического, юридического, идеологического. Так, например, идеологический подход делил бы женские организации на два типа: созданные по «советскому образцу» и независимые организации, тяготеющие к западному стилю деятельности. К первому типу относятся организации, являющиеся правопреемницами (в организационно-идеологическом плане) бывшего Комитета советских женщин, опирающиеся на регионально-административные ресурсы участниц. Ко второму типу можно отнести организации, так или иначе возникшие под влиянием западного феминизма и

реализующие свои проекты во многом за счет грантов западных фондов. Но такая классификация была бы излишне упрощенной, ибо сводила представление о происхождении женских организаций к уровню идеологического противопоставления «советские» – «прозападные».

В основу классификации может быть положен характер деятельности женских организаций, входящих в социальные женские движения. Это, в свою очередь, предполагает изучение социальной базы, специфики генезиса, особенностей системы функций, роли в социуме и характера влияния на социальные процессы. В совокупности подобная структурная классификация позволит раскрыть сущность классифицируемых объектов, то есть женских организаций в структуре социально-политических движений.

Достаточно широко представлены традиционные, социально ориентированные организации, действующие на основе традиционного понимания женских ролей в обществе. Это означает ориентацию на женщину-хранительницу очага и мать детей своего мужа. Подобного рода организации занимаются социальными проблемами семей, детей и матерей, национально-патриотическим воспитанием, но главным образом – благотворительностью. Благотворительные женские организации возникают, как правило, двух типов: организации самих нуждающихся, то есть испытывающих какие-либо затруднения, а потому они одновременно являются организациями благополучателей. Таких организаций относительно немного – благотворительные фонды и клубы многодетных, одиноких матерей, матерей, имеющих детей с ограниченными возможностями. Другой вариант – организации, занимающиеся привлечением спонсорской помощи и пожертвований, направленных на решение социальных проблем. Например, Благотворительный фонд ЭСКО, Фонд имени Великой княгини Елизаветы Федоровны и немногие другие. С определенной долей условности к подобному типу организации можно отнести комитеты и союзы солдатских матерей, которые тяготеют одновременно и к правозащитной деятельности.

Проблемы, которые вызвали появление Движения солдатских матерей, не являлись чисто женскими. Фактически данное Движение – это сеть неправительственных организаций, объединяющих матерей военнослужащих, которые борются за защиту прав военнослужащих. Главной его характеристикой является личное горе или проблема, что создает основу для объединения и определенного рода идентичность. Но гражданская позиция участников движения неразрывно связана с пониманием материнского долга, а роль женщины как матери является своего рода «узаконением» для оправдания вмешательства в мужские дела, то есть в политику. Сложность феномена Движения солдатских матерей позволяет предположить, что оно должно стать предметом самостоятельного изучения. Основы этого изучения были заложены О. Здравомысловой, М. Либоракиной, Л. Дериглазовой. Считаем также необходимым подчеркнуть, что консолидация женских и правозащитных организаций позволяет повысить возможности влияния на политические властные структуры и тем самым содействовать становлению гражданского общества. Движение солдатских матерей является неполитическим, ибо политика в этом случае – средство, а не цель движения. Вовлеченность движения в политику во многом связана с тем, что правозащитная деятельность, так или иначе, направлена на изменение взаимоотношений гражданина и государства. Вероятно, именно поэтому на основе Комитетов солдатских матерей осенью 2004 года была учреждена «Единая народная партия солдатских матерей» (лидер В. Мельникова). Эта партия не позиционирует себя ни женской, ни феминистской, провозглашая гендерное равенство. Программная цель новой партии – построение гражданского общества, развитие демократии, борьба против насилия за содействие гражданскому миру.

Фактически деятельность названных групп, имеющих четко выраженную социальную направленность, заметна и понятна окружающим, а при соответствующей информационной поддержке получает признание социума, особенно на локальном уровне. Но при этом важно обратить внимание и на тот факт, что подобные группы самопомощи относительно равнодушны, нейтральны к проблемам других социальных групп. Следствием этого является сла-

бая потребность в интеграции в женское социальное движение. Специфический «эгоизм» людей, озабоченных своей проблемой, как бы «вычеркивает» всех остальных из сферы интересов. Это в полной мере касается комитетов и союзов солдатских матерей, клубов матерей осужденных, союзов матерей жертв преступлений, клубов пожилых женщин и др. Фактически это означает, что женщины, не имеющие проблем, как бы искусственно противопоставлены женщинам с проблемами. Преобладание в региональной сети подобных женских групп и организаций, во-первых, создает впечатление о женском движении как движении социальных аутсайдеров; во-вторых, сохраняет раздробленность женщин как представителей социально-демографической общности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ленин В.И. О задачах женского рабочего движения в Советской республике: речь на V Московской общегородской беспартийной конференции и работниц 23 сентября 1919 г. / В.И. Ленин // Полн. собр. соч. Т. 39. С. 198-205.
2. Айвазова С. Гендерное равенство в контексте прав человека / С. Айвазова. М.: Эслан, 2001. 80 с.
3. Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976. 280 с.
4. Идеологическая работа и социальное творчество масс (Тенденции и задачи перестройки массового сознания). М.: Мысль, 1989. 220 с.

**Тулузакова Марина Валентиновна** –  
доктор социологических наук,  
доцент, профессор кафедры  
«Социальные и гуманитарные науки»  
Балаковского института техники,  
технологии и управления (филиала)  
Саратовского государственного  
технического университета

**Tuluzakova Marina Valentinovna** –  
Doctor of Sociological Sciences,  
Professor of the Department  
of «Social and Humanitarian Sciences»  
of Balakovo Institute of Engineering,  
Technology and Management (branch)  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 14.06.10, принята к опубликованию 23.09.10*



## СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

---

УДК 316.3:355.341.1

**В.А. Колонтаев**

### **КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВОЕННЫХ ВУЗОВ: СУБЪЕКТИВНЫЕ И ОБЪЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

*Автором исследуются уровень и качество жизни профессорско-преподавательского состава высшего военного учебного заведения внутренних войск МВД России. Опрос проводился среди профессорско-преподавательского состава военно-профессиональных, гуманитарных, юридических, естественных и технических дисциплин.*

Уровень и качество жизни, профессорско-преподавательский состав, высшие военно-учебные заведения.

**V.A. Kolontayev**

### **QUALITY AND LEVEL OF TEACHERS' LIFE IN HIGHER MILITARY INSTITUTIONS: SUBJECTIVE AND OBJECTIVE PARAMETERS**

*The author describes level and quality of teachers' life in higher military educational institutions of Internal Security Troops of the Russian Federation. Interrogation was carried out among the teachers of military, humanitarian, law, technical and natural sciences.*

Level and quality of life, faculty, higher military institutions.

«Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года» и «Стратегия национальной безопасности РФ до 2020 года» актуализируют вопросы динамичного развития и превращения России в одну из лидирующих держав по уровню технического прогресса, качеству жизни населения, влиянию на мировые процессы. Человеческий капитал обозначается как основной фактор экономического развития, а достижение высоких стандартов благосостояния человека в области образования, здравоохранения, обеспечения жильем является одной из актуальных задач.

В этой связи актуализируется интерес к пониманию и основным концепциям качества жизни, факторам их оценки и «стартовому уровню» качества жизни акторов, принимающих непосредственное участие в достижении поставленных целей. Особый интерес представляет институт образования, поскольку оно относится к важной сфере коллективной жизнедеятельности.

тельности, обеспечивающей экономический и социальный прогресс общества. Федеральная программа «Реформирование системы военного образования в Российской Федерации на период до 2010 г.» ставила своей целью повышение качества военного образования. Подготовку офицеров в настоящее время осуществляют 57 военно-учебных заведений с кадровым потенциалом более 18 тыс. чел., более половины преподавателей - специалисты высшей квалификации. Для воплощения в жизнь целей, поставленных вышеуказанными документами, необходимо представлять реальный уровень качества жизни данной социально-профессиональной группы.

За весь период исследований, ведущихся в русле изучения и оценки качества жизни населения, многие отрасли науки: экономика, психология, медицина, социология – обращались к данной проблеме. В каждой области научного знания доминирует своя специфика: экономисты (Дж. Гелбрейт, Р. Инглхарт, Р. Питерсон, Э. Кюнг, О. Берг, И. Штеффен) при изучении качества жизни, как правило, выявляют взаимосвязь «уровня жизни» и «качества жизни», социологи (Ж. Аттали и М. Гийом, А. Марш) интересуются общей оценочной картиной качества жизни населения, некоторые психологи (Э. Фромм), занимаясь данным вопросом, рассматривали его через призму влияния материального благосостояния личности на её индивидуальное качество жизни. Все эти исследования обладают своей научно-отраслевой спецификой при взгляде на определение «качества жизни» и не раскрывают человеческой сущности и содержания концепции качества жизни.

Среди отечественных исследователей основоположниками являются Н.А. Бердяев и И.А. Ильин, говорившие о «качестве нашего бытия». В Советской России использование данной категории вызывало ряд споров [5, с.18-22]. Использовались также категории «качество населения» и «образ жизни».

С.Г. Струмилин предпринял первые попытки расчёта прожиточного минимума и разработки «индекса стоимости жизни», положив начало подсчетам минимальной заработной платы, приравненной к прожиточному минимуму. В.А. Хащенко ставит акцент на субъективном восприятии качества жизни, рассматривая отношение индивида к собственному материальному положению как существенный регулятор его повседневного экономического поведения и отношений собственности, поиска и определения своей позиции в социально-экономической действительности [6, с.43]. По мнению В.А. Хащенко, «важным элементом субъективного экономического благополучия может быть оценка не только личного экономического настоящего и будущего, но и её переживание в виде позитивных или негативных эмоциональных явлений [6, с.46]. Н.М. Римашевская в своих работах рассматривает категорию «качества жизни» как одну из составляющих благосостояния населения, подчёркивая, что данное определение «характеризует, прежде всего, состояние самого субъекта общественной жизни человека» [4, с.75].

Таким образом, качество жизни рассматривается как интегральная качественная характеристика жизни людей, раскрывающей не только жизнедеятельность, жизнеобеспечение, но и жизнеспособность общества как целостного социального организма, и возводится в ранг национальной идеи [1, с.4-7].

Количественное измерение качества жизни затруднено признанием наличия его объективных и субъективных показателей. В 70-е гг. исследователи «субъективного качества жизни», в частности А. Кемпбелл, применяют в измерениях триаду «обладание – отношение – существование», что предполагает наличие удовлетворенности материальным положением, межличностными отношениями, уровнем самооценки [3, с.112]. В исследованиях А. Кемпбелла было установлено, что наличие хороших межличностных отношений, позитивной самооценки, ощущения контроля над своей жизнью «играют более важную роль в общем благополучии, чем реальная жизненная ситуация», то есть категории «отношения» и «существования» признаются столь же, если не более важным фактором качества жизни, как и категория «обладания» (удовлетворенность материальными условиями жизни).

Доминирующим направлением изучения качества жизни за рубежом выступает модель «ощущаемого качества жизни», поскольку сложный характер взаимосвязи объективных и субъективных условий жизни не подтверждает кажущуюся вполне очевидной истину, что люди в лучших материальных условиях жизни более удовлетворены ею, чем находящиеся в относительно худших условиях. Эта модель построена на утверждении, что истинное значение качества жизни отражено в субъективных ощущениях индивидов, формирующихся на основе конкретных материальных условий жизни, эмоционального состояния.

В этой связи представляет интерес соотношение объективных показателей качества жизни профессорско-преподавательского состава высшего военного учебного заведения внутренних войск МВД России и ощущаемого ими качества их жизни.

Социологический опрос проводился в июле 2009 г. в Саратовском военном институте внутренних войск МВД России. Выборочная совокупность составила 25% от генеральной, что обеспечивает репрезентативность исследования. В штатном состав преподавателей военного вуза опрошенных 94% мужчин, 6% женщин, 77% состоят в браке. Среди опрошенных проявляются различия в возрастных категориях. 21% преподавателей – в возрасте до 30 лет, 44% – 31-40 лет, 33% – в возрасте от 41 до 50 лет. 23% профессорско-преподавательского состава не имеют детей, одного ребенка имеют 48%, двух – 25%, трех и более – 4%.

Преподаватели вузов не относятся к числу высокооплачиваемых работников. В связи с особенностями условий труда штатный преподаватель военного вуза не имеет никаких существенных источников дохода, кроме заработной платы, в отличие, например, от преподавателя гражданского вуза, имеющего возможности совместительства. Заработная плата 42% опрошенных составляет 11000-18000 руб., 44% – 19000-22000 руб., 14,6% – более 23000 руб. Уровень заработной платы превышает прожиточный минимум в 2-5 раз, однако следует учитывать также необходимость распределения доходов на всех членов семьи. Данный групповой показатель размера доходов составляет 2 стандарта прожиточного минимума, т.е. каждый из членов семьи офицера существует на сумму примерно 9000 руб. в месяц [2, с.15]. Свое материальное положение респонденты оценивают в основном как среднее (60%), хорошим его считает 8%, плохим – 27%, очень плохим – 6%, 19% затрудняются дать оценку. 77% не имеют возможности откладывать некоторую сумму денег. Нехватку материальных благ отмечают 33% респондентов, времени – 31%, уверенности в завтрашнем дне – 23%.

Уверенность в улучшении финансового положения в ближайшее время выразили 38% преподавателей, считают, что оно не изменится, 38%, ухудшения ожидают 24%. 24,3% отметили влияние на материальное положение в лучшую сторону прохождения военной службы в других регионах страны, при этом затруднились ответить 27%. 43% считают, что этот фактор не повлиял на их материальное благополучие, а 5% отметили влияние в худшую сторону. При этом качество медицинского обслуживания 33% респондентов оценивают как среднее, 67% – ниже среднего. Приобретаемые товары имеют среднее качество у 60%, выше среднего – 13% и ниже среднего – 27%.

В целом качество своей жизни преподаватели военных вузов оценивают в основном как среднее (63%), выше среднего его оценивают 10%, ниже среднего – 27%.

Профессорско-преподавательскому составу также предлагалось оценить собственную жизнь, используя противоположные по смыслу определения: скучная – интересная, лёгкая – тяжёлая, несчастная – счастливая, бесполезная – имеющая смысл, насыщенная – пустая, одинокая – полная общения, свободная – ограниченная, не даёт мне шансов – предлагает мне лучшее. Затем предлагалось оценить «жизнь в целом».

Респонденты оценивают свою жизнь скорее как нелегкую, достаточно интересную, насыщенную и имеющую смысл. Представляется важным высокий показатель параметра (жизнь) «имеющая смысл» – 4 балла, поскольку профессорско-преподавательский состав во-

енного вуза постоянно находится в потоке информации не только о проблемах, целях и задачах жизнедеятельности курсантов, кафедры и коллектива вуза, но и деятельности войск и социальной обстановке в стране. Смыслообразующую составляющую жизни профессорско-преподавательского состава трудно переоценить, так как в его руках находится воспитание нового поколения офицеров. Именно поэтому то, как профессорско-преподавательский состав воспринимает смысл своего существования и деятельности, каких морально-этических принципов придерживается, многом найдёт свое отражение в поведении, взглядах и дальнейшем прохождении службы будущих офицеров.

Восприятие жизни как «нелегкой» обусловлено тем, что деятельность профессорско-преподавательского состава сопряжена с огромным количеством событий, постоянным взаимодействием с курсантами и коллегами, с необходимостью принимать решения, нести груз ответственности за жизнедеятельность своих подопечных, что, несомненно, составляет определённую долю трудности при выполнении профессиональных, творческих и в целом жизненных задач.

Категория жизни «интересная» большинством респондентов была оценена на 3,3 балла. Полученные результаты по категории (жизнь) «полная общения» составили 4 балла из 5 возможных и «насыщенная» – 2,5. Этот факт отражает настрой преподавателей вузов на окружающих их курсантов и коллег, родных и близких и окружающий мир в целом. Суть преподавательской деятельности заключается в постоянном взаимодействии между педагогом и курсантами, обмене информацией и идеями, решении жизненных задач различной степени сложности.

Оценка критерия (жизнь) «предлагает мне лучшее» – 3,3 соотносится с высокой оценкой «жизни в целом» (3,6). В свою очередь, параметр (жизнь) «предлагает мне лучшее» свидетельствует о достаточно высокой оценке степени удовлетворённости респондентов от реализации целей, задач и об определённых положительных итогах жизнедеятельности.

Подводя итоги, можно сказать, что объективные показатели качества жизни профессорско-преподавательского состава соответствуют субъективным оценкам, зафиксированным в исследовании. Качество жизни данной профессиональной группы является средним по материальным показателям и субъективно оценивается так же. Респонденты демонстрируют удовлетворенность витальных потребностей и приоритет ценности семьи над материальными составляющими, не ожидая существенных улучшений своей жизни в ближайшее время.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров В.Н. Качество как национальная идея / В.Н. Азаров, Б.В. Бойцов, Ю.В. Крянев // Качество, инновации, образование. 2002. № 1. С. 4-10.
2. Бычков П.И. Качество жизни семей офицеров Вооруженных сил Российской Федерации: состояние, динамика и пути повышения: автореф. ... канд. социол. наук / П.И. Бычков. М., 2008. 26 с.
3. Петрушина И.Ю. Субъективные индикаторы качества жизни в социологии США: обзор современных интерпретаций / И.Ю. Петрушина // Социологические исследования. 1981. № 1. С. 112-114.
4. Римашевская Н.М. Экономический анализ рабочих и служащих / Н.М. Римашевская. М.: Прогресс, 1965. 220 с.
5. Теодоров А.С. Качество жизни: критика буржуазных теорий / А.С. Теодоров. М.: Прогресс, 1976. 250 с.
6. Хащенко В.А. Модель субъективного экономического благополучия (сообщение 1) / В.А. Хащенко // Психологический журнал. 2005. Т. 26, № 3. С. 40-49.

**Колонтаев Валерий Александрович** –  
адъюнкт очной адъюнктуры  
Саратовского военного института  
внутренних войск МВД России

**Kolontayev Valeriy Aleksandrovich** –  
Post-graduated Student  
of Saratov Military Institute of Internal  
Security Troops of the Russian Federation

*Статья поступила в редакцию 14.04.10, принята к опубликованию 23.09.10*

УДК 316.35

**А.Э. Чаплыгин**

### **СРЕДНИЙ КЛАСС: ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ**

*Представлены различные взгляды относительно природы понятия «средний класс». Подвергаются анализу труды античных и современных исследователей по заявленной теме. Исследуются различные подходы к изучению сущности среднего класса, социальное явление описывается с позиций разнообразных социальных парадигм. Работа посвящена исследованию понятия «средний класс»: его зарождению, развитию в современных условиях и эволюции.*

Средний класс, социальная стратификация, социальное явление, социальная структура.

**A.E. Chaplygin**

### **MIDDLE CLASS: EVOLUTION OF THE CONCEPT**

*The article considers different views concerning the nature of «middle class» concept. Various approaches to the study of middle class essence are investigated; social phenomenon is described from the point of various social paradigms.*

Middle class, social stratification, social phenomenon, social structure.

В настоящее время ведутся жесткие дебаты относительно природы среднего класса. Изучение указанной социальной группы не только вызывает сугубо академический интерес, но имеет определенную политическую направленность. Это еще раз подтверждает актуальность исследования среднего класса, особенно в новых социально-экономических условиях. Обычно в России под средним классом подразумевают группу лиц, которые преуспевают по отношению к основной массе населения [1]. Более того, средний класс может быть рассмотрен как цель, как некая социальная мобильность – шанс перейти из одного социального слоя в другой [2].

Средний класс как понятие вызывало интерес почти на всех стадиях общественного развития человечества. Античные философы определяли классы как иерархию трех основных слоев (высшего, среднего и низшего), которая основана на определенных отличиях между людьми, такими как знатность, власть и богатство. Однако необходимо отметить, что в

Афинском государстве существовала жесткая стратификация, в основе которой лежало деление на граждан и неграждан. Граждане рассматриваются как свободное местное население. Все остальные (рабы и близкие к их положению люди), как правило, не рассматривались как слой, а представляли игнорируемую социальную группу. Поэтому, рассуждая о делении общества на классы, древние ученые исходили из того, что общество состоит из граждан, остальные просто не рассматривались как живые люди. Особо это характерно для эпохи рабовладельческих государств.

Аристотель считал, что каждое государство можно разделить на три составные части: «самостоятельные, крайне неимущие и третьи, стоящие посередине между теми и другими» [2]. Это высказывание о так называемых «срединных людях» хорошо подчеркивает первичное понимание людьми того времени феномена среднего класса.

Таким образом, средний класс в понимании людей античной эпохи воспринимался как остаточная категория. Несмотря на то, что четкого понимания признаков среднего класса в то время еще не существовало, тем не менее, анализировались его социальная значимость и направленность политических реформ на его развитие. Все это свидетельствует об определенной устойчивости в понимании и существовании представлений о среднем классе.

К. Маркс, посвятивший большое внимание вопросу изучения классов и причин классового деления, четко не определял средний класс. Тем не менее он считал, что вместе с ростом промышленности увеличивается рабочий класс, а «все прочие классы приходят в упадок и уничтожаются» [3]. Что же касается среднего класса, то он переходит в ряды пролетариата, так как теряет свои экономические позиции и устойчивость в связи с национализацией богатства меньшинства, как возможностью установления социализма [4].

П. Сорокин также относится к ученым, которые отстаивали наличие среднего класса и считали его инновационной доминантой прогрессивного общественного развития. Важным является то, что автор подтверждал свои высказывания статистическими данными и был не согласен с позицией исчезновения среднего класса. К примеру, в Германии с 1853 по 1902 годы доходы среднего класса и число богатых людей увеличились, в отличие от бедных экономических слоев, численность которых сократилась [5].

Большой вклад в развитие идей социальной стратификации, социальных классов и среднего класса, в частности, внес М. Вебер, который под средним классом понимал всех тех, кто «владеет всеми видами собственности или обладает конкурентоспособностью на рынке труда благодаря соответствующей подготовке» [6, с.154]. По его мнению, в качестве представителей среднего класса могут быть выделены предприниматели (промышленные и сельскохозяйственные), купцы, банкиры, финансисты. Более того, М. Вебер затрагивает вопрос о так называемом «потенциальном среднем классе», который представлен лицами «свободных» профессий, но имеющих хорошее образование и подготовку, а также рабочих, которые благодаря специфическим навыкам являются монополистами на рынке труда, несмотря на отсутствие материальной базы [6, с.153].

Таким образом, М. Вебер представляет социальную структуру капиталистического общества в виде деления на высший, средний и низший классы. При этом в основе ключевого признака различий между классами выступает размер собственности (угодий). Автор указывает, что для представителей среднего класса важно то место, которое они занимают на рынке труда, что обеспечивает им хороший доход. По этому признаку он определяет некую социальную мобильность в отношении рабочих, которые, выступая монополистами – владельцами исключительных знаний, выходят из низших позиций в обществе. Следовательно, профессиональные навыки являются отправной точкой в формировании среднего класса.

А. Тойнби в своей книге «Постижение истории», рассуждая о современной цивилизации, утверждал, что это цивилизация среднего класса [7]. Формирование и развитие среднего класса, по мнению английского философа и историка, является основным достижением общества, по которому оно может называться современным. Тойнби считал, что основной за-

дачей государственного аппарата является оказание помощи среднему классу. Это связано с тем, что он достаточно малочислен, для того чтобы изменить что-либо без соответствующей поддержки «со стороны отдельных личностей, нацеленных на новаторский путь, и наряду с этим – всех остальных, готовых воспринять эту новацию и приспособиться к ней. Цивилизационным можно назвать лишь то общество, в котором эти встречные усилия слились воедино» [7, с.300]. В роли «всех остальных» выступает именно средний класс.

Необходимо отметить, что современная трактовка среднего класса берет свои корни из американской социальной структуры. Это связано с тем, что именно в США, намного ранее, чем в остальных государствах, средний класс сформировался как массовый субъект. С. Блюмин, М. Арчер и Дж. Блау утверждали, что возникновение среднего класса на Западе относится к первой половине XIX века [8, с.5]. Указанные авторы отмечали, что главным свидетельством возникновения среднего класса выступало единство социально-экономического статуса, культуры работы, самоидентификации и нефизического характера труда работников.

В то же время возникновение массового среднего класса связывается с переходом к позднеиндустриальному развитию общества. Рост производственных сил государства и новые технологии объективно нуждались в высококвалифицированных специалистах. В связи с возникновением различных форм юридических лиц (коммерческих образований) возникает необходимость в опытных менеджерах, способных грамотно управлять бизнесом. Все указанное вело к тому, что в обществе возникала новая социальная прослойка – «средний класс». Кроме того, нужно отметить заинтересованность государственного аппарата в развитии среднего класса. В США примером государственной поддержки указанной социальной группы может выступать «Новый курс Рузвельта» (1930 г.). Такая политическая направленность обусловлена тем, что при развитии среднего класса экономика государства увеличивается количеством высококлассного кадрового состава вместе с ростом спроса на товары и услуги, которые стимулируют экономику и укрепляют позиции базисного элемента социальной структуры – среднего класса.

Таким образом, в основе формирования среднего класса в зарубежных государствах (США и западная Европа) в первой половине XX века лежали следующие факторы: изменение производственных отношений и форм их организации, развитие рынка услуг, а также политическая направленность на социально-экономические изменения.

Активным исследованием природы среднего класса той эпохи являлся М. Хальбвакс, который занимался изучением среднего класса французского общества. Автор полагал, что к среднему классу относятся следующие основные группы: ремесленники, чиновники и служащие; а также мелкие предприниматели, работники здравоохранения и иные [9]. Необходимо отметить, что в основе выделения представителей среднего класса того времени лежал социально-профессиональный критерий, по которому образовались группы, характерными особенностями которых выступало следующее: 1) трудовая деятельность; 2) уровень знаний; 3) особое место в социальной структуре общества и отношение субъекта к своим классовым позициям.

М. Кивинен, рассуждая о западном среднем классе, полагал, что «большая часть экономически активного населения капиталистических стран – наемные работники, а средний класс – наиболее привилегированные их группы. Ресурсы власти новых средних классов теперь связаны не с собственностью, а с профессиональными навыками и стратегиями» [10, с.13].

Таким образом, характерными чертами западного среднего класса первой половины XX века являлись нефизический характер труда, хорошее образование, специфические навыки, умение организации своего труда и самоидентификация.

Рассматривая вторую половину XX века, необходимо отметить явную доступность образования, в связи с чем активно начал развиваться третичный сектор экономики – рынок оказания услуг. Благодаря данным процессам, численность западного среднего класса резко увеличивается и начинает сравниться с численностью рабочего класса. Для того периода

времени было характерным выделение двух концепций среднего класса. Согласно первой концепции, средний класс должен был увеличиваться и в результате доминировать в социальной структуре индустриального общества, вторая концепция следовала логике изменения границ рабочего класса и включения в нее в качестве автономного слоя чиновников, инженеров и других.

Важным является то, что во второй половине XX века интерес к изучению среднего класса продолжает увеличиваться и, как следствие, увеличиваются исследования, направленные на раскрытие его основных признаков. В рамках данного подхода средний класс выделялся либо на основании социально-экономического базиса (Р. Льюис [11, с.10-12]), либо на основании специфики социально-профессионального статуса (Г. Коул).

В указанном периоде происходит методологическое переосмысление концепции среднего класса, который начинает рассматриваться в ракурсах «старого» и «нового» среднего класса. Основным отличием нового среднего класса выступало наличие специфического человеческого капитала. Постепенно исследовательский интерес переходит именно на «новый» средний класс, который в то время был представлен менеджерами, учеными, инженерами и другими.

Таким образом, указанные объективные процессы, происходившие в западном обществе, явились поводом для разъединения среднего класса на «подклассы» (старый, новый классы), что в дальнейшем отразилось на методологических и сущностных аспектах исследования среднего класса.

Начиная с 1980-х годов, исследователи среднего класса продолжают все больше классифицировать и расширять границы среднего класса, в связи с чем происходит постепенное стирание базисных представлений о среднем классе. Таким образом, исследования, выполненные различными социологами в конце XX века, показывают отсутствие единого видения его сущностной природы. Процессу размывания среднего класса способствует многообразие тех слоев, которые являются срединными, но еще не получили ярлыка среднего в связи с недостаточной изученностью.

Более того, авторы, увлеченные разделением среднего класса на подгруппы (к примеру, М. Севедж [12, с.16]), в результате представляют социальную структуру, выражающуюся в объединении разных по сути компонентов, не имеющих базовых единых черт. Следовательно, увеличивается число попыток объединить компоненты (группы) среднего класса, которые обладают разными характеристиками [13].

Если говорить о конце XX века, то следует также отметить, что возникает проблема сокращения среднего класса. Е. Райт пишет о том, что увеличивается разница между нижним и верхним средними классами, в ущерб среднего слоя, который теряет свой ресурс в связи с новыми экономическими и социальными изменениями (кризис государств всеобщего благоденствия). В результате происходящих изменений возникает вопрос о переосмыслении существующей социальной структуры. Продолжает активизироваться тенденция увеличения социальной дистанции между высшим и низшим классами, которые за счет своего увеличения оказывают уменьшающее воздействие на средний класс [14]. В качестве основной причины для таких процессов выступают новый уровень и динамика развития – информационное общество, в котором наряду с средним классом существует класс «информационных работников», выполняющих определенную роль в обществе, которые имеют некоторые сходства с профессионалами [15].

Происходящие изменения породили необходимость переосмысления всей теоретико-методологической базы для исследования проблемы классового анализа. Ряд авторитетных социологических журналов («The American Journal of Sociology» и «Acta Sociologica») [16] в 2000-х годах активно поднимают дискуссию вокруг данной проблемы. Многими авторами также поднимается вопрос об изменении стратификационных моделей с учетом особенностей постиндустриальной общественной формации (З. Бауман [17]).



Таким образом, средний класс является сложным гетерогенным явлением, который стал массовым при индустриальной и позднеиндустриальной стадии общественного развития. Его формированию и развитию способствовали развитие экономического пространства, третичного сектора, а также особая политическая направленность государств Запада. Развитию представлений о среднем классе способствовали его повсеместная классификация на подклассы, в результате чего сама суть среднего класса уходит на второй план. Кроме того, наряду с средним классом выделяют иные социальные группы, такие как профессионалы и информационные работники. Все это способствует размыванию четкого представления о среднем классе, в связи с чем вся социальная структура и стратификационные модели нуждаются в новом переосмыслении. Необходимо отметить, что проблема среднего класса продолжает быть спорным предметом для дискуссий, что в том числе вызвано новыми общественными изменениями (финансовый кризис и др.).

В настоящее время нет единой трактовки понятия «средний класс». Существуют разные точки зрения на этот счет. Ряд ученых (например, Ю. Левада) [18] вообще отрицают существование среднего класса в условиях российских реформ. Так, О.И. Шкаратан считает, что средний класс вовсе не стоит изучать, в связи с тем, что он как массовый субъект еще не сформирован и не будет сформирован [19, с.15]. Вместе с тем существуют авторы (большинство), которые отмечают наличие в России среднего класса. К данной группе авторов относятся следующие исследователи: Т.И. Заславская, Е.М. Аврамова, Л.А. Беляева, З.Т. Голенкова, Е.Д. Игитханян. Другие авторы отстаивают точку зрения, что средний класс в России пока еще находится на стадии развития, однако имеет все шансы стать социальной опорой для всего общества.

По мнению Л.А. Беляевой, «средний класс – это реальная социальная группа, которая образуется в обществе, идущем по пути модернизации. Средний класс – это социальное образование, обладающее признаками, характеризующими его материальные ресурсы, культурный капитал и социальный статус» [20, с.17].

По мнению Т. Заславской, средний класс – это то, что находится между нижним и верхним классами в обществе [21, с.5]. Некоторые авторы считают целесообразным остановиться на выделении среднего класса на основе самоидентификации [22, с.34-40]. В свою очередь, З.Т. Голенкова и Е.Д. Игитханян отнесли к среднему слою тех, кто занимает срединное положение в социальной вертикали по позициям: качество семейного бюджета; общая удовлетворенность материальным положением; самоидентификация [23, с.42-43].

Таким образом, средний класс по-разному определяется современными социологами. Основным различием выступают те качественные характеристики, которыми тот или иной ученый наделяет понятие «средний класс». В любом случае ученые различных взглядов относительно природы среднего класса согласны с тем, что российская социальная структура нуждается в существенных изменениях. Данный факт, кроме того, подтверждается социальной нагрузкой, которой наделяется средний класс со стороны политической элиты России, и проводимых в этой связи государственными программами («Стратегия развития страны до 2010 года» (Программа Г. Грефа), форум Единой России «Стратегия-2020»).

С нашей точки зрения, средний класс – понятие комплексное и гетерогенное, которое стало употребляться в Западной Европе с того времени, когда возникла необходимость в осмыслении социального деления общества и создании новой социальной структуры. Полагаем, что средний класс выполняет социальные функции, что подчеркивает значимость его научного и практического изучения. Средний класс является социальным гарантом прогрессивного развития общества, способствует увеличению социальной мобильности перехода из одного слоя в другой. Свидетельством его значимости может выступать политическая направленность российского государства на формирование и поддержку среднего класса.

Характеризуя основные подходы к выделению среднего класса, нельзя не учитывать, что ни один теоретико-методологический подход не может сам по себе гарантировать полу-

чения абсолютной истины в науке; он является лишь инструментом в руках исследователя, с помощью которого тот получает ответ на конкретный интересующий его вопрос. Эффективность анализа, в том числе анализа среднего класса, напрямую зависит от того, насколько адекватно исследовательской задаче избран теоретико-методологический подход, а не от самого этого подхода. Поэтому зачастую один и тот же исследователь в разных своих работах может анализировать проблематику среднего класса с использованием различных подходов. Это позволяет глубже понять и специфику столь своеобразного социального субъекта, как средний класс, и особенности эвристических возможностей каждого из них.

Таким образом, средний класс является сложным гетерогенным явлением, который стал массовым при индустриальной и позднеиндустриальной стадиях общественного развития. По нашему мнению, средний класс может быть определен как единая социальная целостность, в основании которой существуют различные социально-экономические группы, обладающие общими сущностными признаками, характеризующимися системой равнозначных доминант (доход, образование и др.). Его формированию способствовали развитие экономического пространства, третичного сектора, а также особая политическая направленность государств Запада.

Проведенный анализ показывает, что в последние годы большое значение в социологических исследованиях среднего класса приобретает тенденция его повсеместной классификации на подклассы, в результате чего сама суть среднего класса уходит на второй план. Кроме того, наряду с средним классом выделяют иные социальные группы, такие как профессионалы и информационные работники. Все это не способствует формированию четких представлений о среднем классе, в связи с чем вся социальная структура и стратификационные модели нуждаются в новом социологическом переосмыслении. В настоящее время средний класс продолжает быть спорным предметом для дискуссий. Однако это не снижает актуальности его изучения в изменяющихся экономических условиях, так как он является реальной социальной силой для демократических прогрессивных изменений в государстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аврамова Е.М. Средние классы в России: экономические и социальные стратегии / Е.М. Аврамова. М.: Гендальф, 2003. 301 с.
2. Психология и бизнес. <http://www.psycho.ru/library/1202>.
3. Маркс К. Сочинения: в 9 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. М.: Политиздат, 1986. Т. 4. 505 с.
4. Бернштейн Э. Проблемы социализма и социальная демократия / Э. Бернштейн. М.: Норма, 1910. 332 с.
5. Социальный портал. <http://www.otrok.ru/medbook/books/sociology>.
6. Вебер М. Основные понятия социальной стратификации / М. Вебер // Социологические исследования. 1994. № 5. С. 150-156.
7. Тойнби А. Постигание истории / А. Тойнби. М.: ИНФРА-М, 1991. 360 с.
8. Archer M. Class Formation in Nineteenth-Century America: The Case of the Middle Class / M. Archer, J. Blau // Annual Review of Sociology. 1993. Vol. 19. P. 3-22.
9. Хальбвакс М. Характеристики средних классов (1939) / М. Хальбвакс // Социальные классы и морфология. М.: Институт экспериментальной социологии, 2000. С. 150-156.
10. Кивинен М. Перспективы среднего класса / М. Кивинен // Социологический журнал. 2006. № 2. С. 13-16.
11. Lewis R. The English Middle Classes / R. Lewis, A. Maude. N.Y.: A.A. Knopf, Inc., 1950. 340 p.
12. Savage M. Property, Bureaucracy and Culture: Middle class Formation in Contemporary Britain / M. Savage. N.Y.: Routledge, 1992. 333 p.

13. Куценко О.Д. Общество неравных. Попытки западной социологии / О.Д. Куценко. Харьков, 2005. 280 с.
14. Castells M. The Information Age: Economy, Society and Culture / M. Castells. Oxford, UK: Blackwell, 1996-1998. 400 p.
15. Флорида Р. Креативный класс / Р. Флорида. М.: Норма, 2007. 300 с.
16. Sorensen A. Toward a sounder basis for class analysis / A. Sorensen // The American Journal of Sociology. 2000. Vol. 105. № 6. P. 21-29.
17. Бауман З. Индивидуализированное общество / З. Бауман. М.: Логос, 2002. 340 с.
18. Телешкола: дистанционное образование. <http://www.internet-school.ru/>.
19. Шкаратан О.И. Новый средний класс и информационные работники на российском рынке труда / О.И. Шкаратан, С.А. Инясевский, Т.С. Любимова // Общественные науки и современность. 2008. № 1. С. 17-25.
20. Беляева Л.А. И вновь о среднем классе / Л.А. Беляева // Социологические исследования. 2007. № 5. С. 15-20.
21. Заславская Т. Стратификация современного российского общества / Т. Заславская // Экономические и социальные перемены: мониторинг общественного мнения. 1996. № 1. С. 3-15.
22. Хахулина Л. Субъективный средний класс: доходы, материальное положение, ценностные ориентации / Л. Хахулина // Экономические и социальные перемены: мониторинг общественного мнения. 1999. № 5. С. 34-40.
23. Голенкова З.Т. Социальное расслоение и социальная мобильность / З.Т. Голенкова. М.: Норма, 1999. 420 с.

**Чаплыгин Александр Эдуардович** –  
аспирант кафедры  
«Социальная антропология  
и социальная работа»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Chaplygin Aleksandr Eduardovich** –  
Post-graduate Student  
of the Department of «Social Anthropology  
and Social Work»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---

УДК 316

**И.В. Бабаян**

### **ДЖАЗОВЫЙ МУЗЫКАНТ: ПРОФЕССИОНАЛ ИЛИ ЛЮБИТЕЛЬ?**

*Рассматривается профессия джазового музыканта в проблемном поле социологии профессии. На основе проведенного исследования раскрываются условия профессионализации джазового музыканта. С помощью биографического метода анализируются жизненный путь и профессия музыканта.*

Социология профессий, профессия, профессионализм, профессия музыканта, джаз-музыкант, профессиональная биография.

**I.V. Babayan**

### **JAZZ MUSICIAN: MASTER OR AMATEUR?**

*The article discusses the profession of a jazz musician from sociological point of view. Author-based study reveals the conditions of a professional jazz musician. The author uses the biographical method to describe the life and the profession of a musician.*

Sociology of professions, profession, professionalism, professional musician, jazz musician, professional biography.

Профессиональная практика раскрывает особенности социальной структуры профессий, институтов культуры, социальное положение музыканта, его определенную профессиональную позицию. Проблема исследования профессиональной биографии музыканта имеет междисциплинарный характер, интегрируя в себя различные подходы музыковедения, социологии культуры, социологии профессии, культурологии, а профессия, связанная с миром искусства, все же требует профессиональных знаний. Инновационными чертами музыкального языка джаза изначально стали импровизация, полиритмия, основанная на синкопированных ритмах, и уникальный комплекс приёмов исполнения ритмической фактуры – свинг. Отношение советских властей к джазу было неоднозначным: отечественных джаз-исполнителей, как правило, не запрещали, но была распространена жёсткая критика джаза как такового, в контексте критики западной культуры в целом. Во время борьбы с космополитизмом в СССР джаз переживал сложный период, когда коллективы, исполняющие «западную» музыку, подвергались гонениям [1].

Социальное время предлагает сюжеты и социальные сценарии биографий человека в контексте социальных событий и ситуаций, которые воспринимаются и переживаются разной субъективной темпоральностью. В субъективном восприятии индивида не прошлое, а планируемое, ожидаемое, предвидимое будущее обеспечивает единство и целостность его биографии, следовательно, прочность и долговременность его идентификаций [2, с.268]. В процессе социокультурных и институциональных трансформаций биографии, презентующие схожие социальные сценарии, нивелируют различия, что делает их похожими друг на друга, предлагая человеку свободу выбора жизненного сценария и идентичности. Биографические повороты стратифицируют биографии, фиксируют при этом биографические разрывы, выраженные в пересмотре поиска смысла ценностей, жизненных и профессиональных планов, стратегий. Это показательно для современного российского общества, когда разрывы биографий стали столь очевидными.

Вместе с тем сегодня наблюдается усиление исследовательского внимания к проблемам профессии и профессионализма [3-8]. И это внимание направлено не только на известные классические профессии, имеющие стабильное место в реестре занятости, но и новые профессии, находящиеся в процессе утверждения *status quo* в стратифицированной профессиональной структуре общества. А сам дискурс проблематики профессии и профессионализма привлекает разные типы знаний [9] на междисциплинарном стыке антропологии, социологии, этнографии, пересечении проблемных полей на макро- и микроуровнях. Социальный и профессиональный статусы профессии существуют в социальной ткани жизни общества, в триаде рынок – государство – профессии, официальных и неформальных практиках, повседневности профессий и профессиональных групп.

Внимание авторов в рамках англосаксонской модели сфокусировано на социально ориентированные традиционные профессии – юрист, врач, священнослужитель, военный, инженер, исключаются из исследовательского поля творческие профессии – музыкант, художник, артист. Наблюдается несправедливая эксклюзия свободных профессий из проблемного поля науки и практики, за данными профессиональными группами не закрепляется социальная значимость, выраженная в понятиях служения обществу, связи с экономическим, политическим и техническим прогрессом, социальной или военной защитой, обеспечением уровня и качества жизни населения. Этот феномен сравним с процессом дискриминации гуманитарных наук и профессий в технократическом сообществе.

Одним из условий изменения социальной структуры и художественной культуры, так называемого культурного разрыва, смены ценностных ориентиров, коммерциализации и трансформировании самой природы искусства выступает проблема идентификации творческой профессии и профессионализма. Профессии, трудовая деятельность которых связана с миром искусства – театром, музыкой, кино, танцем, литературой, живописью – зачастую находятся в некотором маргинальном состоянии по отношению к доминирующим видам занятости в профессиональной структуре общества. Пограничная ситуация художественных профессий поддерживается разными причинами, хотя профессии музыканта и учителя в каком-то смысле схожи: и того и другого слушают, к ним прислушиваются и делают выводы, и в том, и в другом случаях они понимают, какая ответственность лежит на них перед слушателями и поклонниками. Необходимо наличие определенной харизмы, таланта и желания нести искусство и знания в массы, однако в музыке в отличие от деятельности учителя порой обходятся и без специального образования. Это обстоятельство ярко иллюстрируется биографиями великих джазменов из Нового Орлеана и многих музыкантов последующих культурных эпох и поколений.

Однако ретроспективный взгляд, обращенный к появлению и развитию музыки как вида искусства, профессионализация, то есть формирование профессии музыканта в контексте времени культуры позволяют обнаружить и выявить процесс трансформации социальной роли и статуса музыкального искусства и профессии в обществе. Музыка еще в античный период

выступала консолидирующим механизмом, способствовала преодолению трудовых будней, являлась частью обрядов. Социальное значение музыки осознавалось по-разному в культурно-исторической эволюции, но она всегда находилась в неразрывной связи с социальными практиками, структурой государства, воспитательным процессом, наделялась магическими и терапевтическими функциями, духовным предназначением. Другими словами, музыка является одной из форм социального дискурса, обеспечивающего интеграцию общества.

Социальный и профессиональный статусы музыканта традиционно поддерживаются участием в светской и религиозной жизни общества, подчинением государственным и частным интересам, а с переходом на рыночные отношения в этом процессе возрастает роль рынка, усиливается индивидуализация частной жизни, присутствует большая свобода выбора. Музыка, постоянно воздействующая на индивида, оказывает влияние на формирование его идентичности, а музыкальные предпочтения в последние столетия становятся одной из составляющих социальной идентификации. Социологическая рефлексия музыки Адорно [10] начинается с признания необходимости социальной опосредованности [11], и сегодня в процессе легитимации профессии участвует упомянутая триада акторов государство – рынок – профессия.

Продолжительное время музыканты как профессиональная группа были лишены права автономности, а социальное происхождение музыкантов закрепляло за ними статус служителя, просителя, делая их полностью зависимыми от воли и власти работодателя. Условия *marginal existence*, когда приходилось ожидать крошек со стола господина и для искусства не находилось места в закономерном буржуазном процессе производства, были конкретным социальным предназначением музыки с точки зрения тех, кто ее производил [12].

В России по мере участия музыкантов в общественной жизни положение профессиональных музыкантов приблизилось к автономности, делая их самостоятельными в принятии решений и планировании профессиональной деятельности, учебного процесса по подготовке музыкантов, перераспределении экономических ресурсов. Последовавшие изменения отразились на отношении к музыке как искусству, к подготовке профессионального музыканта. Государственная политика декларировала идеологию доступности общего и высшего профессионального музыкального образования, формируется новый слой музыкантов из представителей рабочей, крестьянской молодежи, трудовой интеллигенции. В то же время государство контролирует подготовку музыканта, регулирует профессиональную деятельность, устанавливает систему материального вознаграждения. Зачастую творческие организации выполняли лишь номинальную функцию.

Вместе с тем «наилучшей стратегией для большинства родов занятости является стремление к самостоятельному регулированию профессиональной деятельности, которое обеспечивает группе большую автономию, защищенный рынок» [13]. Рынок вносит коррективы в государственное регулирование в отношении профессиональных групп. Данный тезис находит свое подтверждение в сокращении филармонических оркестров, учреждений среднего звена – музыкальных школ, количества бюджетных мест на музыкальных факультетах в высших учебных заведениях. Подвергается трансформациям качественная характеристика профессии – профессионализм. В условиях стандартизации и коммерциализации искусства нет необходимости в подтверждении многолетнего обучения и наличия диплома, спрос на популярную музыку разного качества порождает привлечение в данную сферу большого потока дилетантов. Создается ситуация, когда продукт создан неграмотным, но ловким дельцом и его покупают, что обуславливает исчезновение потребности в культуре, профессионализме художника, способствует росту любительщины [14].

Нами был осуществлен выбор музыкантов разных возрастных категорий с целью рассмотреть стадии становления, динамику развития профессии джазового музыканта в биографической траектории. Биография каждого поколения музыканта в различном культурном контексте, смена политического режима, культурные трансформации влекут за собой изменения жизненных и профессиональных стратегий, профессиональной идентичности.

Профессиональная биография музыканта может свидетельствовать о социальной судьбе музыкального направления в искусстве. Джаз в России пережил разные этапы своего становления, которые сопровождались подъемами и спадами. С одной стороны, музыка, декларируемая как прозападная, «музыка толстых» подвергается запретам, музыканты, играющие и слушающие джаз, подвергаются репрессиям. С другой стороны, именно джаз открывает новые возможности для талантов, не получивших профессиональное музыкальное образование. Джазовые ансамбли включают в себя и профессиональные, и смешанные составы.

Воздействие социальных институций оказывает влияние на конструирование биографий разных социальных слоев и социальных групп, усиливая биографические повороты, меняя биографические траектории в трансформационной ситуации, а «ресурсы семьи задают важные ориентиры для всей дальнейшей биографии, а вместе с тем и для положения в структуре социального неравенства» [15], воспроизводя социальное неравенство в биографиях. С другой стороны, человек выступает деятелем своей биографии. В данном контексте актуализируется дискурс о том, является ли биография «продуктом социального мира, в котором исторические события влияют на «нормальный» ход индивидуальной жизни» [16], или биография не репрезентирует собой «социальный продукт» [17].

Как правило, занятия музыкой начинаются еще в детстве и продиктованы скорее желанием родителей, одной из причин может стать их профессиональная ориентированность, например, оба или один из родителей – музыканты: *«Семья у меня значит, отец музыкант, мать медик. Вот поэтому попал в музыкальную школу, получил музыкальное образование»* или их увлеченностью, интересом, пристрастием, потребностью в музыке *«Отец любитель, он на баяне, на гармошке, на балалайке играл, то есть наверно всё от него пошло, любовь к музыке... Всегда любил петь, и до сих пор знает все эти песни и поёт всю жизнь все одни и те же песни»* (Инф. 5), отношением к музыке как элементу эстетического развития: *«Я окончил музыкальную школу в Саратове по классу фортепьяно, но учился не охотно. У меня была не музыкальная семья, родители у меня были простыми людьми, но дома у нас всегда было фортепьяно. Отец, когда женился на моей матери, нанял для нее учителя музыки, но почему-то взрослая женщина стала учиться музыке»* (Инф. 8), обнаружение у ребенка музыкальных способностей *«Уже в первый новогодний праздник мы с моим соседом по парте танцевали «яблочко». Мама пришла посмотреть на меня и оказалась рядом с учительницей музыки. Она (учительница) вдруг, глядя на меня, сказала – «У этого мальчика очень хороший ритм, его надо бы музыке учить». Этого маме оказалось достаточно. Дома у нас было пианино – «Красный октябрь». Меня приняли в районную музыкальную школу»* (Инф. 1).

Только за редким исключением желание заниматься музыкой в раннем возрасте вызвано внутренними потребностями самого ребенка: *«Я рос сиротой, папа у меня был на фронте. Мама не имела никакого отношения к музыке. Мало того, они хотели, чтобы я был печником... Но я сам выбрал свою судьбу»* (Инф. 2). Первые шаги на пути получения музыкального образования информантами были сделаны в рамках музыкальной школы, но по тем или иным причинам не все дошли до выпускного класса. Музыкальная школа призвана распространять музыкальное воспитание детей разных социальных слоев, но с развитием профессионального музыкального образования, ориентированного на подготовку профессионального музыканта, она превращается в производственный конвейер сугубо утилитарного характера [18] и рассматривается как элемент профессионального музыкального образования.

Период обучения в музыкальной школе у информантов окрашен разными оттенками воспоминаний, с одной стороны – это неприятный полученный опыт: *«Мы переехали и я перешла в другую музыкальную школу, там мне не понравилось, мне линейкой по рукам шлёпали, то есть не сразу всё получалось»* (Инф. 5), или трудности учебного процесса: *«Я закончил музыкальную школу в Саратове по классу фортепьяно, но учился не охотно. Брат, он бросил музыкальную школу. У него с теорией было что-то плохо, а играл он здорово»* (Инф. 8). Другой опыт отмечается у музыканта, чей путь начался в центральной музыкаль-

ной школе при консерватории: *«Меня приняли в районную музыкальную школу, год я проучился у Ольги Васильевны – замечательная была женщина. Там я проучился десять лет»*. В процессе обучения формируются и музыкальные предпочтения: *«Всё началось с музыкальной школы. Интерес к музицированию, интерес к инструменту, потом со времен обучения сформировались какие-то вкусы, сформировались какие-то взгляды на определённую музыку, что-то начало нравиться, что-то начало не нравиться»* (Инф. 4). Важным на этом этапе является и выбор направления специальности – инструмента, который во многом определяет и дальнейшее восприятие. За редким исключением как в отношении потребности ребенка обучаться музыке самостоятельно выбор инструмента производится самостоятельно: *«Я пришел в музыкальную школу и значит, к педагогу обратился и говорю: «Я хочу играть на саксофоне». Она ответила: «А саксофон у нас не преподают»*. Отмечаются активная музыкальная деятельность в коллективах самодеятельности и даже составе профессиональных музыкантов конструируют биографию: *«Я учился по классу фортепиано, до 4 класса, потом бросил. В то время сделал электрогитару, а потом ещё и купил, тогда это было очень дорогое удовольствие. Также в детстве, в старших классах школы, я играл на танцах в школе. Потом играл в военной части, где я жил с солдатиками»* (Инф. 9).

Начальный этап обучения в музыкальной школе становится основополагающим при выборе профессии музыканта. Рассмотренный этап позволяет нам дифференцировать типологию профессиональных биографических путей: 1) музыка как основная изначально выбранная профессия, 2) музыка как увлечение. Музыкальная деятельность у этих информантов начинается с участия в коллективах самодеятельности, отмечаются музыкальные практики в профессиональном составе. Во второй типологии в силу ряда причин, которые будут рассмотрены позже, биографические пути разделяются на подтипы: а) трансформация профессионального выбора – профессия музыканта, при наличии базовой специальности, б) музыка становится образом жизни и на протяжении жизненного пути параллельно с основной специальностью осуществляется музыкальная деятельность.

Условия, повлиявшие на выбор профессии, связаны с сугубо личными потребностями в музыке и выбор не подвержен протекающим социальным изменениям. Профессиональный выбор информантов приходится на разные социальные периоды – как советские годы, так и постперестроечные: *«По окончанию музыкальной школы, т.е., как бы желание поступить в музучилище на эстрадное отделение не составило для меня труда определённого, потому что мне нравилась эта музыка (джаз), я ею интересовался»* (Инф. 4), или *«Сомнений у меня никогда не было, куда я пойду учиться. Сейчас молодёжь выбирает учебные заведения, по критерию какие более престижные, где больше зарплату платят, меня никогда не интересовал вопрос, сколько будет моя зарплата. В наше время все в основном поступали в университет, потому что раньше такого выбора не было, как сейчас там экономический, юридический, медицинский, может мне так казалось»* (Инф. 5).

Выбор профессии музыканта представляется одним из возможных вариантов в жизненных стратегиях человека: *«...к тому времени ситуация в семье поменялась... Вот, как любая одинокая мать без папы, ей было страшно за своего ребенка, куда я пойду служить в армию. А, т.к. с пианистами в армии не очень, надо было выбрать профессию, которая ближе к красноармейской»* (Инф. 7). Те, кто первоначально не связал свой профессиональный выбор с музыкой, интерпретируют это следующим образом: *«У нас был выбор или идти профессионально в музыку или работать по профессии. Но, чтобы заниматься музыкой нужно делать её профессионально. В то время у меня не было такой возможности. Если были бы училища (имеется в виду джазовое отделение в музыкальном училище) я, бы, наверное, поступил»* (Инф. 8).

Несмотря на то, что музыка не является основной профессией, музыкальная деятельность таких музыкантов не прекращается, в отдельных случаях даже усиливается. Кого же считать музыкантом? Музыкант – это профессия, увлечение или занятие? Если в фокусе ис-



следования будут лишь те, кто обладает определенным сертификатом, дипломом, подтверждающим их принадлежность к профессиональной группе, то мы ограничим рамки этой профессии. Ретроспективный взгляд на появление профессии джаз-музыканта позволяет определить этапы легитимации и профессионализации. Условно их можно разделить на любительский и профессиональный периоды. Джазовую музыку исполняют как профессиональные музыканты, имеющие классическое профессиональное музыкальное образование, так и студенты, рабочие, порой не имеющие даже начального музыкального образования, но для которых «джаз – это стиль жизни». С открытием отделений эстрадного искусства в 1974 г. в музыкальных учреждениях среднего звена – музыкальном училище, колледже, позже и в высших учебных заведениях – консерватории, институтах с музыкальными факультетами – легитимируется профессия джазового музыканта, джазовые музыканты получают профессиональную подготовку.

Джазовые оркестры, ансамбли наполнялись классическими музыкантами и «любителями» джазовой музыки. Такие оркестры располагались в кинотеатрах, цирке. Музыкальный репертуар утверждался комиссией, отделом культуры, но взаимодействие профессиональных музыкантов и любителей исходит из их способностей и технических возможностей: «У нас строгая была иерархия. И, вот такие как я мы были инженера, которым вырисовывалась гармония не на нотах, а функциями, причём значит, в упрощённом каком-то варианте, чтобы не травмировать» (Инф. 9). Согласимся, что «признать работника искусства профессионалом можно лишь в том случае, если такая идентификация признается аудиторией, коллегами, критиками, знатоками искусства» [19].

Профессионализм джазового музыканта определяется информантами по-разному: «Я считаю, что профессионализм в нынешнее время это знание и классической музыки и джазовой. Хотя джазовый музыкант может и не знать классическую музыку и здорово играть джаз, но профессионально тогда, когда ты владеешь большей информацией» (Инф. 5), «Есть много людей, которые занимаются джазовой музыкой, они могут обойтись без этих знаний каким образом, они много слушают, они много интересуются джазовыми событиями, они интересуются репертуаром... хотят заниматься этим, но они не имеют образования, но с этим ничего не поделаешь, тут, как говорится, человек играет и это ему нравится. Но моё мнение, что качественно умеет играть человек с высшим, но высшее это ещё не показатель профессиональности. Но человек в любом случае должен уметь делать все положенные вещи» (Инф. 4). Тема профессионализма сегодня рассматривается среди джазовых исполнителей в статье важных, очерчивая круг требований. В отличие от самых первых исполнителей, не имеющих профессионального музыкального образования, «мы пытаемся ее поднять, потому что, во всяком случае, у нас на отделе пытаемся прививать такое мнение, что если он хочет быть профессиональным музыкантом, он минимум должен закончить музыкальное училище» (Инф. 4).

Стабильность социально-профессионального пути личности функциональна для социальной структуры и в ином смысле: она создает предсказуемость действий и вынуждает систему к незатратным приспособлениям к новым состояниям [20]. Чем «менее доступен заработный труд и чем большему риску рынок труда подвергает жизненные планы индивида, тем нужнее обеспечить доступ к заработному труду как можно большему числу людей» [21]. В самом деле, вместе с профессиональными музыкантами исполнителям без специального образования музыкальная деятельность приносит дополнительный заработок, порой превышая заработную плату по основной профессии. Таким образом, музыкальная деятельность непрофессионалу тоже приносит материальный доход: «Профессиональным музыкантам деваться было некуда, так сказать много денег на джазе заработать было нельзя, и они всегда в некотором смысле чувствовали себя хуже чем я, потому что я работал в университете, получал там какую-то небольшую, но зарплату, то есть достаточно стабильно, уверенно, у меня там был какой-то профсоюз, путёвки, всякие бонусы. А, джазовый му-

зыкант – кто он такой? Да, никто! И, как правило, все могли зарабатывать деньги только в ресторане, но мы инженера зарабатывали всегда больше, потому что мы работали и в ресторанах и на работе» (Инф. 9).

Статус классических музыкантов, для которых исполнение джаза было возможностью дополнительного заработка, был более стабильным: «Несмотря на сложную ситуацию в стране в то время я зарабатывал больше, чем зарабатываю сейчас. Я работал в кино, я работал в консерватории, получал стипендию» (Инф. 1). Но отсутствие государственной поддержки, утверждения профессии джаз-музыканта в реестре занятости приводило к практикам, когда перед музыкантом возникал выбор между исполнением им джазовой или классической музыки: «Я закончил консерваторию в 63 году и работал в цирке, и я точно знал, что джазовым музыкантам пенсии не выдавали. Оперный коллектив предполагает нагрузку больше, это во-первых, чем джазовый. Во-вторых, надо было давать 18 спектаклей» (Инф. 2).

Тезис о том, что «ориентированность на карьеру – один из факторов преодоления состояния аутсайдерства на рынке труда» [22], не может быть отнесен ко всем видам профессии. В наиболее уязвимом положении оказались профессии, деятельность которых связана с миром искусства, культуры, науки. Вместе с тем успешность в сфере искусства связана с такими показателями как востребованность, творческое и профессиональное признание, материальное вознаграждение, возможность профессиональной самореализации.

Выросло новое поколение профессиональных джазовых музыкантов, их статус в процессе профессионализации трансформируется. Вслед за признанием и востребованностью джазовых исполнителей отмечается тенденция востребованности коммерческой джазовой музыки. Проблемная ситуация отмечается в регионах, отсутствие профессиональных джазовых коллективов и возможности трудоустройства вынуждают музыкантов уезжать в поисках работы, нередки случаи смены профессиональной деятельности. Профессиональная биография музыканта указывает на социально-экономическое положение человека, занимающего определенную профессиональную и социальную позицию в социальной структуре. Здесь вырисовывается схема отношения между государством, рынком, профессией, которая отмечается в период трансформации ценностей, структурной неопределенности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.info-jazz.ru/community/blog/>.
2. Ионин Л.Г. Социология культуры: путь в новое тысячелетие: учеб. пособие для студентов вузов / Л.Г. Ионин. М.: Логос, 2000. 280 с.
3. Антропология профессий: сб. науч. ст. / под ред. П.В. Романова и Е.Р. Ярской-Смирновой. Саратов: Научная книга, 2005. 464 с.
4. Попова И. Профессии и профессионализм в международной дискуссии / И. Попова // Социологические исследования. 2009. № 8. С. 52-57.
5. Профессиональная практика и профессионализм. <http://www.ict.edu.ru/ft002381chapter10.pdf>
6. Ребров А. Влияние мотивационной структуры на результативность труда работников различных профессий / А. Ребров // Социологические исследования. 2008. № 5. С. 74-84.
7. Максимова Л.Н. Профессиональная культура в трансформирующемся обществе: парадоксы и перспективы: монография / Л.Н. Максимова. Саратов: СГТУ, 2009. 248 с.
8. Щепанская Т.Б. Антропология профессий / Т.Б. Щепанская // Журнал социологии и социальной антропологии. 2003. Т. VI. № 1 (21). С. 139-161.
9. Ярская-Смирнова Е. Теория и практика социальной работы: исследование «скрытого знания» / Е. Ярская-Смирнова, П. Романов // Антропология профессий: сб. науч. ст. / под ред. П.В. Романова и Е.Р. Ярской-Смирновой. Саратов: Научная книга, 2005. С. 258-290.

10. Адорно Т.В. Введение в социологию музыки / Т.В. Адорно // Избранное: Социология музыки. СПб.: Университетская книга, 1998. С. 14-25.
11. Михайлов А.В. Выдающийся музыкальный критик. Вступительная статья к кн. Т. Адорно. Избранное: Социология музыки / А.В. Михайлов. [http://www.krotov.info/libr\\_min/a/adorno/adorno283.html](http://www.krotov.info/libr_min/a/adorno/adorno283.html).
12. Адорно Т. Избранное: Социология музыки / Т. Адорно; пер. с нем.; 2-е изд. М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2008. 448 с.
13. Сакс М. Социология профессий: государство, медицина и рынок в Великобритании / М. Сакс, Дж. Олсоп. [www.ecsocman.edu.ru/db/msg/30074.html](http://www.ecsocman.edu.ru/db/msg/30074.html).
14. Кончаловский А. Победа рынка над искусством / А. Кончаловский // Российская газета. Федеральный выпуск № 3694 от 9 февраля 2005 г. <http://www.rg.ru/2005/02/09/konchalovski.html>.
15. Зидлик М. Воспроизводство социального неравенства в биографиях / М. Зидлик // Социальное неравенство. Изменения в социальной структуре: европейская перспектива / под ред. В. Воронкова, М. Соколова; пер. с нем. К. Тимофеевой. СПб.: Алетейя, 2008. С. 111-123.
16. Ярская-Смирнова Е. Социальные изменения и мобилизация ресурсов: жизненные истории российских инвалидов / Е. Ярская-Смирнова // ИНТЕР. 2002. № 1. С. 39-50.
17. Рустин М. Размышляя по поводу поворота к биографиям к социальным наукам / М. Рустин // ИНТЕР. 2002. № 1. С. 7-24.
18. Виноградов Л. Система общего музыкального воспитания / Л. Виноградов. <http://nsc.1september.ru/2004/35/5.htm>.
19. Магидович М.Л. Профессиональная идентичность художника / М.Л. Магидович // Журнал социологии и социальной антропологии. 2004. Т. VII. № 3. С. 139-152.
20. Мещеркина Е. Жизненный путь и биография: преемственность социологических категорий (анализ зарубежных концепций) / Е. Мещеркина // Социологические исследования. 2002. № 7. С. 61-67.
21. Мутц Г. Организация общественного труда в новом трудовом обществе. Социальное время и социальная политика в XXI веке: Специализированная информация / Г. Мутц; РАН ИНИОН, Центр социальных научно-информационных исследований, Отдел социологии и социальной психологии. М.: ИНИОН, 2002. 72 с.
22. Пушкарева Н. Этнография современной российской науки: гендерный аспект / Н. Пушкарева // Антропология профессий: сб. науч. ст. / под ред. П.В. Романова и Е.Р. Ярской-Смирновой. Саратов: Научная книга, 2005. С. 111-133.

#### СПИСОК ИНФОРМАНТОВ

- Информант 1 – мужчина, 1936 г.р., классический пианист, композитор, педагог  
 Информант 2 – мужчина, 1935 г.р., кларнетист, саксофонист, педагог  
 Информант 3 – мужчина, 1951 г.р., джазовый и рок-гитарист, композитор. Окончил Саратовский государственный университет (мехмат, 1976)  
 Информант 4 – мужчина, 1973 г.р., джазовый пианист, педагог  
 Информант 5 – женщина, 1970 г.р., джазовая пианистка, педагог  
 Информант 6 – мужчина, 1936 г.р., любитель джаза, руководитель ансамбля, состав: профессиональные музыканты. Окончил Саратовский государственный университет (физфак, 1960)  
 Информант 7 – мужчина, 1965 г.р., классический музыкант, ударник  
 Информант 8 – мужчина, 1936 г.р., любитель джаза, играет в профессиональном составе джазового ансамбля. Окончил Саратовский политехнический институт  
 Информант 9 – мужчина, 1958 г.р., любитель джаза, играл в различных профессиональных ансамблях

**Бабаян Инна Вячеславовна** –  
магистр социальной работы, ассистент,  
аспирант кафедры «Социальная антропология  
и социальная работа»  
Саратовского государственного  
технического университета

**Babayan Inna Vyacheslavovna**–  
Master of Social Work, Assistant,  
Post-graduate Student of the Department  
of «Social Anthropology and Social Work»  
of Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 316.7

**Т.В. Манакова**

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИУДАИЗМА И ПРАВОСЛАВИЯ ДЛЯ ДУХОВНОГО СТАНОВЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ НА УРОВНЕ СЕМЬИ И ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛИГИОЗНОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ**

*Выявляется функциональная значимость Иудаизма и Православия и ценность религиозной толерантности при анализе духовных оснований семейной конфессиональной традиции в создании семьи, ее иерархического устройства, религиозного воспитания детей, направленного на духовное становление личности, которое дает возможность задуматься о своем предназначении на земле и ответственности не только перед родными, но и всеми людьми вообще.*

Иудаизм, Православие, Ветхий завет, Новый завет, национальная традиция, цивилизационная традиция, религиозная толерантность.

**T.V. Manakova**

### **FUNCTIONAL IMPORTANCE OF JUDAISM AND ORTHODOXY FOR THE SPIRITUAL PERSONALITY DEVELOPMENT ON THE FAMILY LEVEL AND THE FORMATION OF RELIGIOUS TOLERANCE**

*In this article the functional importance of Judaism and Orthodoxy and religious tolerance value are discovered during the analysis of spiritual grounds of a family confessional tradition in the creation of a family, its hierarchy organization, religious upbringing of children based on the spiritual formation of a person that gives a possibility to think about your destiny and the sense of responsibility not only for his relatives but all people in general.*

Judaism, Orthodoxy, the Old Testament, the New Testament, national tradition, civilization tradition, religious tolerance.

С конца XIX века религию изучают «как составную часть культуры, в ее связи и взаимодействии с другими областями деятельности человека: как и какой образ действительности складывается в религиозном сознании, каким образом религия объясняет мир и какие

способы действия, нормы поведения она предлагает, какие обязательства она накладывает на человека и как влияет на эмоциональную жизнь, на поведение индивида. Граждане России, исповедующие Иудаизм и Православие, опираются как на национальные, так и цивилизационные традиции, которые в культурно-историческом аспекте типологически относятся к одной ветхозаветной традиции. Элементы этой традиции, такие, как творение мира и человека, иерархическое построение мира и семьи, нравственные заповеди и предписания, хождение перед Лицом личностного Бога, являясь общими для всех, позволяют на уровне социальном и личностном объединить всех в единый народ. По мнению самой церкви, есть «видимая» церковь и есть «невидимая» церковь. «Эта невидимая церковь шире видимой не только потому, что объемлет всех не только живых, но уже умерших и не родившихся ее членов, но и потому, что, по мудрому слову одного иерарха, «перегородка наших исповеданий не доходит до неба» [4, с.93].

Если рассматривать функциональную значимость Иудаизма в духовном становлении личности на уровне семьи и формировании религиозной толерантности, необходимо обратиться к заповедям Торы, которые должны исполнять евреи. Существует 613 заповедей Торы. В них входят такие заповеди, как почитание отца и матери, помощь ближнему, гостеприимство, забота о больных, помощь бедным невестам в устройстве свадьбы, участие в похоронах, сосредоточенность при молитве, примирение поссорившихся друзей и супругов, изучение Торы, равноценное исполнение всех заповедей Торы и т.д. Исполнение таких заповедей подрастающим поколением не может вести к формированию у него интолерантности к любому проявлению инаковости и не может вызывать протест у православных. Обращаясь в утренней молитве с благословлениями к богу, евреи произносят следующие слова: «не допусти, чтобы мы совершали грехи, поступки и злодеяния, не посылай нам злодеяния и позор, да не возьмет в нас верх дурное начало, и отдали нас от дурного человека и от плохого товарища, и помоги следовать нашему доброму началу и совершать добрые дела и подчини себе нашу греховную природу...» [3, с.40]. А такое каждодневное напутствие, безусловно, не станет способствовать возникновению в душе еврея чувства национальной исключительности и развитию всевозможных фобий по отношению к представителям других этносов.

«Иудаизм отличается от других религий тем, что иудаизм – религия действия, подчиняющая себе весь образ жизни человека» [2, с.26]. Одним из замечательных ее свойств является способность освещать все без исключения события повседневной жизни вплоть до самых прозаических мелочей существования представителя еврейского этноса. Благодаря этому иудаизм, имея дело с повседневными реалиями, придает им особое символическое значение и превращает их в нечто большее. Закон, данный Богом своему народу на Синае, определял весь его быт, и вне этого закона не могло быть других воспитательных требований. Воспитание у евреев было исключительно семейным. Почитание родителей являлось основным принципом ветхозаветного воспитания. Семейные отношения уподоблялись отношению Бога к Своему народу, поэтому от детей требовалось почтение к родителям. Воспитание не допускало ни роскоши, ни наслаждения. При умеренности во всем, особенно в пище, требовалась опрятность. Главным предметом отцовских попечений было возбуждение в сыне религиозного чувства и приучение его к религиозным обычаям и праздникам. Религиозная образованность была характерной чертой и неукоснительным требованием еврейской традиции. Уже в тринадцать лет еврейский мальчик должен был владеть грамотой, чтобы получить право восхождения к Торе. Безусловно, высоко ценилось традиционное религиозное образование.

Еврейская семья, которая стремится следовать религиозным традициям, помогает разумно потреблять духовные ценности, реализовывать свои таланты, обеспечивать активный отдых. Ребенка, который воспитывается в еврейской традиции, учат считаться с чужим мнением, убеждениями, верованием, поведением. Отсюда следует, что его поведенческой нормой в обществе становится толерантность, которая основана, в первую очередь, на религиозной толерантности и является регулятором его межличностного общения. Именно на базе

религиозной толерантности происходит формирование толерантного диалога с представителями других этнических групп, которые проживают на территории России.

Итак, для Ветхого Завета было традиционным понимать личность не в ее субъективной обособленности, а в свете национального целого, то есть в народной жизни, пронизанной религиозными началами и построенной по Божественным заповедям.

Чтобы понять функциональную значимость Православия в духовном становлении личности на уровне семьи и формировании религиозной толерантности, необходимо рассмотреть духовные основания создания православной семьи, ее иерархического устройства, воспитания детей в семье, особенностей развития ребенка в разные периоды его жизни. Воспитание в православной семье, которая согласно церковному Преданию рассматривается как «малая Церковь», дает основу духовно-нравственного становления в православной традиции. Семья устроена иерархически: муж – глава жене, жена почитает мужа и послушна ему, дети находятся в послушании у родителей. Только при условии признания каждым членом семьи этих Богом установленных обязанностей, спасительных и обязательных, происходит духовное становление личности в различные периоды ее развития и раскрытие ее психофизических сил. Ни один из супругов не имеет в браке друг над другом абсолютной власти. Принятие семейной иерархии и нахождение своего места в ней должно быть актом свободной воли каждого члена семьи. Ведь насилие над волею другого убивает саму любовь, и его не оправдывает даже то, что оно сделано во имя любви. Православное воспитание в семье способствует рождению духовной жизни и ее развитию в человеке и осуществляется в родительской деятельности православных супругов. Благодать на воспитание детей дается родителям в Таинстве Брака. С помощью родителей и благодати Божией дети побеждают в себе зачатки грехов и греховных наклонностей, которые достались им по наследству. Основной целью православного воспитания в семье является переход детей на новый, более высокий уровень духовной жизни.

В православной семье весь уклад жизни связан с церковным календарем. Детей в православных семьях приучают к трем формам молитвы, которые являются дыханием духовной жизни. К этим трем формам молитвы относятся следующие: выполнение молитвенных домашних правил, вознесение Богу кратких молитв в течение всего дня, посещение церковного богослужения. В рамках православной традиции понятие «дисциплина» имеет свой смысл. Только в случае греховного овладения развивающимися силами, которое влечет за собой отступление от нормального духовного становления личности, дисциплина выступает как регулятор духовной жизни. А в конкретных ее проявлениях она становится внешней поддержкой неокрепшим духовным силам человека.

Задача православного воспитания – помочь юному человеку сохранить обязывающую силу православного исповедания и православной жизни, посредством опоры на православные обеты, укрепленные в предшествующие годы, наставничества духовно опытных руководителей (хорошо, если эту задачу может выполнить один из родителей). Наставник должен быть терпелив и особо внимателен к духовным нуждам своего подопечного и воспитывать в нем твердость исповедания веры, понимание особенностей духовных опасностей, грозящих ему. Главные опасности – это жажда впечатлений, жажда общения, стремление к другому полу, самовозношение ума. Все это может проявляться в увлечении рассудочными познаниями и личными постижениями. Именно подчинение жизни строгой дисциплине вполне защищает от опасностей. Доверительные отношения со старшим духовно опытным человеком обуславливают целомудренное поведение, воцерковление ума, понимаемое как привычка сверять деятельность собственного разума со свидетельствами церковной традиции.

Новозаветное воспитание заключается в стремлении приблизить человека к Богу и пользоваться при этом всем, что есть лучшего как в науке, так и в искусстве, как в природе, так и в жизни общества, вызвать в телесно-духовном организме индивида полное пробуждение всех сил и способностей так, чтобы мышление его направлялось к истине, воля – к свободе и благу, чувство – к любви при постоянном участии разума, а личность была готова для земной жизни.

Новозаветное Откровение устанавливает преемство с Откровением Ветхого Завета. Видя свое назначение не в уничтожении закона, а в его совершенствовании, Христос укрепил брак – основание нравственной жизни и воспитания, одухотворив его: «Оставит человек отца и мать и прилепится к жене своей, и будут два одною плотью» [1, Мф. 19, 5]. Преемственная связь ветхозаветного и новозаветного типов создания семьи и воспитания детей проявляется в том, что они направлены на духовно-нравственное становление личности: человек призван уклоняться от греха и стремиться к святости, которая составляет природу Бога. Религиозное воспитание, как православное, так и иудейское, необходимо для того, чтобы индивид мог ясно понимать, что если он будет соблюдать правила поведения, основанные на заповедях, внутри себя, то его поведение вполне будет удовлетворять окружающих. В настоящее время религиозное воспитание может быть основано не на церковной религиозности, а на субъективном отношении к Богу. Главным в таком воспитании является следование заповедям, которые требуют от личности задуматься о своем предназначении на Земле и ответственности не только перед родными, но и всеми людьми вообще. Кроме того, следование заповедям способствует формированию религиозной толерантности, ценность которой заключается в следующем: а) воспитание в семейной конфессиональной традиции основывается на убеждении личности в том, что она должна руководствоваться правилами, диктующими ей, чего она не должна делать, то есть быть индифферентной к таким негативным явлениям, как, например, наркотики, гомосексуализм и др., которые противоречат ее моральной и ценностной ориентации; б) религиозное воспитание подразумевает неприятие негативных явлений, но неприятие ни в коем случае не должно относиться к людям, чье поведение непосредственно связано с этими явлениями, так как личность должна руководствоваться, прежде всего, признанием права других людей жить согласно тому, какое место они сами себе отводят в жизни; в) она не должна задумываться над тем, почему так поступает личность, с поведением, верованиями и убеждениями которой она не согласна.

Результаты интервьюирования 80 информантов показали, что представители еврейских и русских семей, которые следуют конфессиональной традиции, убеждены в том, что, прежде всего, у них общая повседневная жизнь, данная им как реальность, которая существует как самоочевидная и непреодолимая фактичность, и один общий на всех мир, и всем живущим в этой реальности не обойтись без постоянного взаимодействия и общения с другими людьми для решения общих задач, которые стоят не только перед отдельными личностями, но и перед всем обществом в целом. Данные результаты позволили сделать следующие выводы:

1. Религия на примере Иудаизма и Православия имеет глубокие исторические корни в сознании человечества, а традиционные религиозные убеждения могут служить основой социального порядка. Религия является интегративной силой в обществе на уровне семьи, общины и всего общества в целом. Именно в этом заключаются неразрывная связь, как русских, так и еврейских религиозных и семейных традиций, и их социальная значимость.

2. Красота вечных нравственных ценностей, содержащихся в религиозных заповедях Ветхого Завета и Нового Завета, проявляется в нерасторжимом единении в жизни каждого конкретного человека, который может являться представителем как православной, так и иудаистской конфессий, существующих в нашем обществе. Чувство единения, привитое как ветхозаветным, так и новозаветным воспитанием, направлено на воспитание адаптированной к российскому поликультурному обществу личности.

3. Преемственная связь ветхозаветного и новозаветного типов воспитания проявляется в том, что они направлены на духовно-нравственное становление личности: человек призван уклоняться от греха и стремиться к святости, которая составляет природу Бога. Религиозное воспитание, как православное, так и иудейское, необходимо для того, чтобы индивид мог ясно понимать, что если он будет соблюдать правила поведения, основанные на заповедях, внутри себя, то его поведение вполне будет удовлетворять окружающих.

4. Необходимо освоение опыта цивилизационной традиции, построение личного бытия на уровне семьи на основе этого опыта, который включает такие элементы, как трудовая и творческая деятельность, ценности и смыслы традиции и построенное на их основе межличностное общение, знание духовной жизни как на уровне этничности, так и на уровне цивилизации, которые помогут формированию религиозной толерантности в межэтническом взаимодействии.

5. Имеющие многовековую историю совместного проживания на территории Российского государства, как русские, так и евреи, имеют реальную мотивацию, подлинные социальные и мировоззренческие ориентации и установки и не стремятся выделить один из двух типов этнического и религиозного сознания как доминантный, если они достаточно образованы и осведомлены о религиозных представлениях представителей другого вероисповедания.

6. Для нормального существования и вынужденного повседневного общения представителям еврейской и православной традиций в силу их духовности в равной мере присущи такие объединяющие черты, как бесконфликтность, уважение к правам других людей, готовность к участию в решении общих дел в экономическом, политическом и социальном планах, которые и определяют толерантность в межэтническом взаимодействии.

7. Духовность является тем самым ядром, которое не позволит разрушить единство и сплоченность такого цивилизационного государства, как Россия, и будет способствовать выработке толерантного отношения к этническим и конфессиональным традициям и обычаям другого этноса, а также стремлению увидеть в инаковой культуре общечеловеческие ценности, которые присущи любой этнической культуре и передаются из поколения в поколение, и отказаться от этноцентризма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Библия. Книги священного писания Ветхого и Нового завета. По заказу Казанской Епархии. Казань: Изд-во Татарского рескома КПСС, 1991. 1346 с.
2. Блу Г. Традиционный еврейский дом / Г. Блу. М.: Мосты культуры – Гешарим, 1998. 447 с.
3. Практика Иудаизма. Раввин – Меир Лау. Израиль: Модан, 1996. 430 с.
4. Франк С. Духовные основы общества, введение в социальную философию / С. Франк // Духовные основы общества. М.: Эксмо, 1992. 352 с.

**Манакова Татьяна Владимировна** – старший преподаватель кафедры «Лингвистика, межкультурная коммуникация и социально-культурный сервис» Самарского государственного архитектурно-строительного университета

**Manakova Tatiyana Vladimirovna** – Senior Lecturer of the Department of «Linguistics, Intercultural Communication and Social and Cultural Service» of Samara State University of Architecture and Civil Engineering

*Статья поступила в редакцию 15.06.10, принята к опубликованию 30.09.10*

УДК 78.071. 1: 78.083.631

**Е.В. Пономарёва**

### **ОСОБЕННОСТИ МИФОПОЭТИКИ ПОЗДНЕГО ТВОРЧЕСТВА ЧАЙКОВСКОГО НА ПРИМЕРЕ ЦИКЛА РОМАНСОВ ОР. 73**

*Исследуются проявления мифопоэтики как особого типа поэтики, обнаруживаемого в позднем творчестве Чайковского. На примере одного из*



наименее изученных сочинений композитора – романсов на стихи Д. Ратгауза оп. 73 – обосновывается влияние структур мифологического типа на циклообразование.

Чайковский, позднее творчество, романсы на стихи Ратгауза оп. 73, мифопоэтика.

E.V. Ponomareva

### THE PECULIARITIES OF TCHAIKOVSKIY'S LATE WORKS MYTHOPOETICS ON THE EXAMPLE OF THE CYCLE OF SONGS OP. 73

*The article investigates the mythopoetics as a special type of poetics, discovered in the late works of Tchaikovsky. The influence of mythological type structures on the cycle formation is based on the example of one of the least-explored works of composer – songs based on the verses of Ratgauz op. 73.*

Tchaikovsky, late works, songs based on the verses of Ratgauz op.73, mythopoetics.

Изучению поэтики позднего творчества Чайковского в отечественном музыковедении всегда отводилось особое место. Обширность чайковинианы по этому вопросу, наверное, ничуть не уступает аналогичному разделу пушкинистики. И вместе с тем, нельзя не отметить совершенно очевидное концептуализирование определённого ряда произведений, в результате чего позднее творчество композитора оказывается исключительно оперно-симфоническим. Камерно-инструментальные и камерно-вокальные жанры в свете этого стало привычным в лучшем случае рассматривать факультативно. Отчасти «сломить» сложившийся стереотип и призвана настоящая статья, где в качестве объекта исследования избирается последний вокальный цикл Чайковского.

Романсы на стихи Ратгауза оп. 73 были написаны за пять месяцев до смерти и являлись произведением-спутником уподобляемой самим композитором реквиему Шестой симфонии. Как известно, тема **смерти** становится одной из центральных в поздних сочинениях Чайковского. Мысли о смерти чрезвычайно беспокоили композитора в эти годы. Другим, не менее показательным для стилевой поэтики этого периода образом, находимым, наряду с ратгаузовским циклом, в «Пиковой даме», «Иоланте», «Щелкунчике», – является **ночь**.

Впервые ночь в ратгаузовском цикле появляется во втором романсе («Ночь»), здесь же имеется и первое упоминание о **сне**. Так возникает архетипически инспирированная рядоположность понятий **Ночь**, **Сон** и **Смерть**. Весьма интересно, что практически аналогичный образно-символический ряд выявляет в своём исследовании мифопоэтики балета «Щелкунчик» И. Скворцова [5, с.44]. На основании этого можно говорить о стилеобразующем (в рамках позднего творчества) статусе вышеобозначенной мифопоэтической «триады».

Обращает на себя внимание то, что прямого упоминания слов «страх» и «смерть» в цикле нет (!). Симптоматично, что после «Пиковой дамы», в которой дыхание смерти было так пугающе реально, композитор даже в письмах старается слово «смерть» заменять эвфемизмами («курноска», «старуха»), словно накладывая на него табу. Умышленная эвфемизация имеет место и в цикле. Отсюда то огромное значение, которое приобретает, по сути, носитель этой эвфемизации – сон.

Противопоставление жизни и смерти есть отражение типичных оппозиций, унаследованных от мифов, в которых, как известно, также присутствует обхождение некоторых понятий, упомянутая *эвфемизация*. В работах творца структурной типологии мифов, виднейшего

представителя структурной антропологии К. Леви-Стросса [2] это явление синонимично технике «бриколлажа». Исследователь видел в мифе «логический инструмент разрешения фундаментальных противоречий посредством медиации, прогрессивного посредничества» [2, с.69]. Речь идет не о реальном их разрешении, а о преодолении их посредством своеобразного ускользания.

Проследим действие механизма прогрессирующей медиации в рассматриваемом цикле. В первом романсе «Мы сидели с тобой...» медиатором между **звучком** («Загремело вдали... Надвигалась гроза...») и **тишиной** («И тебе ничего, ничего не сказал») является метафора с налетом оксюморона (парадоксальное совмещение) – «жизненный звук отзвучал». В романсе «В эту лунную ночь» антиномия **статика** («В серебре чуть колышется озера гладь») и **динамика** («Ночь не ждет, ночь летит...») преодолевается метафорой – «жизни волна» с ее снижающей оппозицией прилива и отлива. Медиатором же между странным синхронно-диахронным существованием **прошлого** («Из мглы туманной прошлых лет») и **настоящего** («При свете дня, в ночной тиши делюсь восторгами души») в романсе «Средь мрачных дней...» является собственно **сон**. Именно в этом романсе происходит аннулирование исходной ситуации и новое приобретение: сон становится явью (диахрония приобретает качества синхронии). Таким образом, эти романсы выстраиваются в три категориальных пространства, связанных с представлением о пребывании **во вне: пространство звука, движения и времени**.

В двух романсах «Ночь» и «Закатилось солнце» можно наблюдать противоположное движение – **во внутрь** самого себя, при котором посредством сна сначала происходит обретение **души** («речь душа заводит» («Ночь»)), а далее, как зеркальное отражение предыдущего символического ряда, и обретение **счастья** («я безумно счастлив, ...бесконечно счастлив» («Закатилось солнце»)).

Появление **души**, как отражения одного из основных архетипов коллективного бессознательного – Анимы (К.-Г. Юнг) [8], всегда обозначает нечто чудесное и бессмертное. В данном случае скоррелированность архетипического и сновиденческого несомненна. В романсе «Ночь» именно сон является проводником в мир души («На печальные глаза тихо сон нисходит... И с прошедшим в этот миг речь душа заводит»).

Таким образом, с первого по пятый романс наблюдается преодоление глобальных оппозиций. Все использованные метафоры, прошедшие акт прогрессирующей медиации и исчерпав противоречия, словно задали систему координат, определяемую основными векторами «**во вне**» и «**во внутрь**». Вот она, картография мифотворчества, именуемая Леви-Строссом «механизмом восстановления нарушенной гармонии» [2, с.65]. Но если гармонизация состоялась, то почему же тогда это не финал цикла? И что же таит в себе тот самый шестой романс («Снова, как прежде, один»)?

Любопытно, что именно в этом романсе впервые указывается на постройку («Смотрится тополь в окно»). Здесь окно выступает как медиатор между пребыванием внутри и во вне. В этом же романсе и обретается «вертикаль духа», как восхождение от реального мира к небесному («окно», «тополь», «небеса»). Получается, что дерево и окно – это два проводника в потусторонний мир («Смотрится тополь в окно»). В этом контексте особое значение приобретает дополнение – *soda* романса. По сути, это акт молитвы («Друг! помолись за меня, я за тебя уж молюсь!..»). Итак, сначала вертикаль проявляется как пространственное, а потом и как символическое явление. Так происходит необходимое примирение внутреннего и внешнего через обретение веры.

Особое внимание заслуживает музыкальная поэтика этого романса. Рассматривая «Снова, как прежде, один» как яркий пример подчинения «принципу стиха» в романсовой лирике Чайковского, О.Белова пишет: «В синтаксическом строении мелодии романса торжествует идея повторности: из 12 мелодических синтагм, соответствующих 12 строкам стихотворного, 6 – полностью идентичны, 4 – повторяют ритмоформулу первой синтагмы. Таким

образом, первая синтагма является интонационно-ритмической моделью для всех последующих. Интонационное обновление мелодии минимально: первые 6 синтагм опираются на нисходящее движение в объеме малой терции, заданное первой синтагмой. И лишь в 7-й и 8-й синтагмах осуществляется секвенционное движение с небольшим вариантным обновлением» [1, с.111].

Что же происходит в этом романсе? По сути, мы имеем дело с неким интонационным *ostinato*, сопряженным с такими яркими приемами «принципа множественного и концентрированного воздействия» (Л. Мазель), как «скрытая псалмодия» в средних голосах фактуры и тонический органнй пункт, пронизательно названный В.А. Цуккерманом [7] «эмоциональной сурдиной».

Если перейти на язык структурной поэтики, то это не что иное, как приобретение некими структурными элементами черт автоматической предсказуемости, что, по мнению Ю.М. Лотмана [4] неминуемо должно привести к смене структурных доминант. Таким образом, парадигматический слой, через нарочитую повторность-эквивалентность, начинает сигнализировать о своей приоритетности и вместе с тем требует иного герменевтического обоснования (трактовки), становясь уже семантически доминирующим.

Что же это за удивительная интонация – *c-h-a*, пронизывающая этот романс и заставляющая воспринимать его как некое магическое заклинание или молитву?! Весьма интересно то, что при переводе этих звуков на латиницу обнаруживается очевидное совпадение с первыми буквами фамилии Чайковского (Т)СНА(ikovsky). Получается, что мы имеем дело с анаграммой его собственного имени, а точнее **монограммой**. Вот, поистине, и есть то главное, что должно было появиться в результате описанной выше мифологической гармонизации. Так определение Леви-Стросса дополняется ещё одной поэтичной формулой мифа, найденной А.Ф. Лосевым: «Миф есть развёрнутое магическое имя» [3, с.195].

Таким образом, попытка мифопоэтического обоснования циклообразования романсов на стихи Д. Ратгауза ещё раз показала активность мифомышления в позднем творчестве Чайковского. Но если в «Пиковой даме», «Иоланте» или «Щелкунчике» мифопоэтика была **эмплицитной**, изначально привнесенной в музыкальный текст из литературного первоисточника, то в романсах, с их абсолютно авторским выбором стихов и сюжетной компоновкой, мифологизм имеет скорее **имплицитный** характер. Этот тип мифомышления В.Н. Топоров объяснял через связь с психофизиологическими основами художественного творчества, в результате чего некоторые особенности поэтики интерпретируются как бессознательное обращение художника к универсальным бинарным оппозициям и другим структурам мифологического типа. В итоге возникает ситуация, при которой, как пишет исследователь, «тексты осуществляют способность выступать... в «активной» функции, и тогда они сами формируют и «разыгрывают» мифологическое и символическое и открывают архетипическому пути из темных глубин подсознания к свету сознания» [6, с.4]. Именно это и становится причиной, по которой в финальном романсе цикла музыкальная суггестивность интонации С-Н-А приобретает осознанную вербальность, а мифопоэтика в конце концов конденсируется в собственном имени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белова О. Романсовая мелодика Чайковского. Между принципом стиха и принципом прозы / О. Белова // П.И. Чайковский. К 100-летию со дня смерти: материалы науч. конф. // Научные труды Московской консерватории. Сб. 12. М., 1995. С. 109-116.
2. Леви-Стросс К. Структурная антропология / К. Леви-Стросс. М.: Прогресс, 1999. 512 с.
3. Лосев А.Ф. Философия. Мифология. Культура / А.Ф. Лосев. М.: Искусство, 1991. 526 с.

4. Лотман Ю.М. Структура художественного текста / Ю.М. Лотман // Об искусстве. СПб.: Искусство-СПБ, 2000. 704 с.

5. Скворцова И. «Щелкунчик». Проблемы позднего стиля / И. Скворцова // П.И. Чайковский: вопросы истории и теории // Научные труды Московской консерватории. Сб. 2. М., 1991. С. 38-53.

6. Топоров В.Н. Миф. Ритуал. Символ. Образ. Исследования в области мифопоэтического / В.Н. Топоров. М.: Прогресс; Культура, 1995. 624 с.

7. Цуккерман В.А. Выразительные средства лирики Чайковского / В.А. Цуккерман. М.: Искусство, 1971. 246 с.

8. Юнг К.-Г. Архетип и символ / К.-Г. Юнг. М.: Прогресс, 1991. 304 с.

**Пономарёва Елена Владимировна** –  
старший преподаватель  
кафедры «Теория музыки и композиции»  
Саратовской государственной консерватории  
им. Л.В. Собинова

**Ponomareva Elena Vladimirovna** –  
Senior Lecturer of the Department  
of «Music Theory and Composition»  
of Saratov State Conservatory  
named after Leonid Sobinov

*Статья поступила в редакцию 26.05.10, принята к опубликованию 23.09.10*

## 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