

**ВЕСТНИК  
САРАТОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
2007**

**№ 3 (26)  
Выпуск 1**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Июль 2007 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 ученой степени доктора наук по направлениям: машиностроение, управление, вычислительная техника и информатика, экономика; ученой степени кандидата наук по направлениям: энергетика, электроника, измерительная техника, радиотехника и связь, социология*

Статьи соискателей, принятые к опубликованию до 31.12.06, учитываются при приеме и защите диссертаций в соответствии с предыдущим перечнем ВАК

<b>Главный редактор</b>	д.т.н., профессор Ю.В. Чеботаревский
<b>Зам. главного редактора</b>	д.э.н., профессор В.Р. Атоян
<b>Ответственный секретарь</b>	д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

**Редакционный совет:** д.э.н. В.Р. Атоян (заместитель председателя), д.т.н. В.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес, д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатъев, д.т.н. В.В. Калашников, д.ф.-м.н. Л.Ю. Коссович, д.т.н. И.А. Новаков, д.т.н. А.Ф. Резчиков, д.т.н. Ю.В. Чеботаревский (председатель), 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. А.И. Андриющенко, 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. Климочкин, д.т.н. В.А. Коломейцев, д.т.н. А.В. Королев, д.т.н. В.А. Крысько, д.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. А.И. Финаенов, д.социол.н. А.Ю. Слепухин, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор О.А. Панина  
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой  
Перевод на английский язык А.М. Руст

Адрес редакции:  
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
Телефон: (845 2) 52 74 02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru; vra @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Факс: (845 2) 50 67 40

Подписано в печать 20.07.07  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 29,0 Уч.-изд. л. 28,5  
Тираж 500 экз. Заказ 365  
Отпечатано в РИЦ СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**Подписной индекс 18378**  
(каталог «Газеты. Журналы» на 1-е полугодие 2008 г.)

ISBN 978-5-7433-1850-6

© Саратовский государственный  
технический университет, 2007

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2007**

**№ 3 (26)  
Edition 1**

Scientific Journal

Since 2003  
Once in a quarter  
July 2007

*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 of sciences in machinebuilding, management, computer technics and information sciences, economics; a candidate of sciences in power engineering, electronics, measuring technology, radio engineering and connection directions, sociology are published*

Articles of competitors, accepted for publishing until 31.12.06, considered at acceptance and theses defend in connection with previous list of Higher Testing Committee

<b>Editor-in-chief</b>	Doctor of Technical Sciences, Pr. Y.V. Chebotarevsky
<b>Editor-in-chief assistant</b>	Doctor of Economics, Pr. V.R. Atoyan
<b>Executive secretary</b>	Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Ignatyev

**Drafting committee:** Pr. V.R. Atoyan (Vice of the Chairman), 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. L.Y. Kossovich, Pr. I.A. Novakov, Pr. A.F. Rezhnikov, Pr. Y.V. Chebotarevsky (the Chairman), 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. A.I. Andryushenko, 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. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. A.I. Finaenov, Pr. A.Y. Slepukhin, Pr. M.A. Sherbakov.

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

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street  
Saratov, 410054  
Russia  
Telephone: +8452/52-74-02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru; vra @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Fax: +8452/50-67-40

Signed for publishing: 20.07.07  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 29,0 Acc.-pbl. l. 28,5  
Edition 500 psc. Order 365  
Printed in EPC of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

ISBN 978-5-7433-1850-6

© Saratov State Technical University, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

- Абросимов А.А., Айрапетьянц Г.А., Филатов В.Н.** Потеря устойчивости и закритическое поведение пологих оболочек, различным образом закрепленных на прямоугольном контуре ..... 7
- Губарева Н.В.** Статический расчет прямых замкнутых призматических оболочек методом Бубнова – Галеркина с учетом двойной нелинейности..... 12
- Кондратов Д.В., Могилевич Л.И.** Математическое моделирование процессов взаимодействия двух цилиндрических оболочек со слоем жидкости между ними при свободном торцевом истечении в условиях вибрации ..... 22
- Чеканин А.В., Старостенко С.И.** Математическая модель устойчивости тонкостенных конструкций вращения при осесимметричном нагружении и кручении..... 31
- Попов В.С., Христофорова А.В.** Математическое моделирование динамических процессов в гидродинамической опоре с трехслойным статором..... 38
- Элькин М.Д., Осин А.Б., Колесникова О.В.** Естественные координаты в молекулярной динамике ..... 46

**НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

- Виноградов А.Н.** Комплексные модели термодеструкционного переноса углерода в процессе финишной обработки шаров на шароодоводочном оборудовании ..... 52
- Мироседи А.И.** Повышение эффективности абразивной обработки путем совершенствования структуры инструмента с применением стохастического моделирования..... 61
- Никитин Д.А., Ерюшев М.В., Постников Д.Е.** Учет нелинейности упругих свойств чугунов при расчете поршневых колец..... 67
- Петров Д.Ю.** Надежность манипуляционных роботов ..... 71

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

- Бирюков А.В., Артеменко С.Е., Сотников В.В., Бирюков В.П.** Оптимизация процесса ориентации полипропиленовой нити..... 83

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

- Бровкова М.Б.** Информационные аспекты оптимизации сложного технологического оборудования в реальном времени ..... 90
- Игнатъев С.А., Подвигалкин В.Я.** Мониторинг автоматизированного производства витых протяжённых конструктивов ..... 95

**ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

- Подвигалкин В.Я., Ушаков Н.М.** Оптоэлектронные объемные интегральные схемы как базовые элементы для быстродействующих электронных систем управления ..... 100
- Роках А.Г., Сердобинцев А.А., Матасов М.Д., Кондратьев А.П.** О спектральной характеристике вторично-ионного фотоэффекта..... 106

**АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

- Горнаев Н.А., Никишин В.Е., Кочетков А.В.** Холодный регенерированный асфальт ..... 112
- Шумячер В.М., Барабанщикова Т.К., Кулявцев И.Ю., Пушкарская О.Ю., Денисова С.П.** Исследование возможности использования вторичного сырья в составе строительных композитов ..... 116

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

<b>Дубровский И.Н., Кузьмин В.М.</b> Автономный источник переменного напряжения стабильной частоты на основе двухмашинного совмещённого генератора.....	121
<b>Косова О.Ю.</b> Расчет трубчатого реактора типа «газовзвесь» для термической обработки твердого топлива .....	128
<b>Кузнецов П.А., Аверьянов С.В.</b> Анализ ожидаемых механических нагрузок на провода (грозотросы) воздушных линий электропередачи в процессе их эксплуатации .....	131

#### **ЭКОНОМИКА**

---

<b>Алексеева А.В.</b> Функционирование промышленного предприятия в условиях неравномерного потока заявок и способы обеспечения равномерности производства в звеньях предприятия .....	141
<b>Астафьева Н.В.</b> Интеллектуальный капитал в системе высшего образования.....	147
<b>Астафьева Н.В., Пахомова А.В., Рыбаков И.В.</b> Управление знаниями в области логистики как инновационного направления повышения эффективности экономических систем.....	155
<b>Купреева В.Р.</b> Расширение возможностей источников финансирования некоммерческих организаций.....	162
<b>Лудищев С.С., Кащеев С.Л.</b> Оценка оптимальных условий управления запасами продовольствия .....	167
<b>Кордюченко А.И.</b> Детальная экспертиза диверсификационных проектов на предприятиях ТЭК (на примере предприятия «Астраханьгазпром») .....	169
<b>Минеева Т.В.</b> Развитие системы государственной поддержки малого предпринимательства в Астраханской области .....	176
<b>Олейникова Е.В.</b> Концептуальные подходы к развитию сферы ремонта на основе возможностей аутсорсинга .....	180

#### **СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

---

<b>Алабердеева Г.Р.</b> Эвтаназия как медико-социальная проблема .....	187
<b>Варламова М.А.</b> Эффективность интеллектуального труда в сфере деловых услуг .....	191
<b>Керими К.М.</b> Управление профессиональной карьерой специалиста туристического бизнеса.....	196
<b>Потапов А.В.</b> Элементы гомогетерогеники в теоретико-методологическом обеспечении качества жизни .....	200
<b>Ситникова В.П.</b> Особенности воспитания патриотизма в современной системе образования России .....	204
<b>Федин С.А.</b> Стратегия развития государственной молодёжной политики: региональный аспект .....	208
<b>Шишкина Е.А.</b> Информация в глобализирующемся мире: социально-экологический аспект .....	217

#### **ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

---

<b>Пулин В.Ф.</b> К вопросу о возникновении и развитии Вселенной .....	224
--	-----

## CONTENTS

**PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES**

<b>Abrosimov A.A., Ayrapetyants G.A., Filatov V.N.</b> Loss sustainability and supercritical behavior shallow shell in various ways out of a rectangular outline.....	7
<b>Gubareva N.V.</b> Of the direct closed prismatic shells static calculation by Bubnov – Galerkin method taking into consideration double nonlinearity .....	12
<b>Kondratov D.V., Mogilevich L.I.</b> Mathematical modelling of processes of interaction of two cylindrical environments with the layer of the liquid between them under free leakage conditions of foundation vibration .....	22
<b>Chekanin A.V., Starostenko S.I.</b> Thin-slab structure rotation stability mathematical model at axisymmetric weighting and torsion.....	32
<b>Popov V.S., Hristoforova A.V.</b> Dynamic processes mathematical modeling in hydrodynamic support with three-layer stator .....	39
<b>Elkin M.D., Osin A.B., Kolesnikova O.V.</b> Natural coordinates in molecular dynamics .....	46

**MACHINE RELIABILITY**

<b>Vinogradov A.N.</b> Complex models of thermo-deformation transfer of carbon during finishing processing spheres on the equipment for operational development of spheres.....	52
<b>Miroseidy A.I.</b> Abrasive processing efficiency enhancement by the instrument structure improvement with stochastic modeling use .....	61
<b>Nikitin D.A., Erushev M.V., Postnikov D.E.</b> Bounce features nonlinearity dependence consideration for cast iron at the piston rings shape calculation.....	67
<b>Petrov D.Yu.</b> Manipulative robots reliability .....	71

**NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES**

<b>Birukov A.V., Artjomenko S.E., Sotnikov V.V., Birjukov V.P.</b> Process optimization of polypropylene thread orientation.....	83
--	----

**AUTOMATION AND MANAGEMENT**

<b>Brovkova M.B.</b> Information aspects of the complicated technological equipment within the real timeframe.....	90
<b>Ignatjev S.A., Podvigalkin V.Ja.</b> Twisted extensive form-factor automated production monitoring.....	96

**ELECTRONICS AND INSTRUMENT MARKING**

<b>Podvigalkin V.Ya., Ushakov N.M.</b> Optoelectronic bulk integral circuits like base elements for fast electronic control systems .....	100
<b>Rokakh A.G., Serdobintsev A.A., Matasov M.D., Kondratjev A.P.</b> About spectral characteristic of secondary-ion photoeffect .....	106

**ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

<b>Gornajev N.A., Nickishin V.E., Kochetkov A.V.</b> Asphalt's cold regeneration .....	112
<b>Shumyacher V.M., Barabanshikova T.K., Kulyavtsev I.Yu., Pushkarskaya O.Yu., Denisova S.P.</b> Secondary raw material application opportunity research within building composites structures.....	116

**POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING**

<b>Dubrovskiy I.N., Kuzmin V.M.</b> Alternating voltage independent supply source on the basis of dual integrated generator system.....	121
---	-----

- Kosova O.J.** Gas suspension type tubular reactor calculation for firm fuel thermal processing .... 128  
**Kuznetsov P.A., Averyanov S.V.** Expected mechanical loadings analysis on wires (storm-tow) of the overhead power lines during their operation..... 131

#### **ECONOMICS**

---

- Alexeeva A.V.** An industrial enterprise operation in condition of the uneven flow of the demands and ways of the provision to uniformities production in an enterprise sections ..... 141  
**Astafieva N.V.** Intellectual capital in the higher education system ..... 148  
**Astafieva N.V., Pahomova A.V., Rybakov I.V.** Knowledge management in logistics as economic systems' innovative direction effectiveness increase ..... 156  
**Kupreeva V.R.** The enlargement opportunities of the non-profit organizations financials sources ..... 162  
**Ludishew S.S., Kascheew S.L.** Optimum conditions Estimation of food reserve management ... 167  
**Kordjuchenko A.I.** Detailed expertise of diversification projects on fuel and energy complexes (on the example of Astarkhan-gasprom company) ..... 170  
**Minejeva T.V.** State support system development of small business sector in the Astrakhan region ..... 176  
**Oleynikova E.V.** Conceptual approach in the sphere of repair by outsourcing possibility ..... 180

#### **SOCIAL PROBLEMS OF THE PRESENT**

---

- Alaberdejeva G.P.** Euthanasia as a medico-social problem..... 187  
**Varlamova M.A.** Intellectual work efficiency in the sphere of business services ..... 191  
**Kerimi K.M.** Professional career management in the tourism industry ..... 196  
**Potapov A.V.** Gomogeterogeneity elements in theoretical-methodological provision quality of life..... 200  
**Sytnikova V.P.** Patriotism upbringing peculiarities within modern system of education in Russia..... 204  
**Fedin S.A.** The state youth policy development strategy: regional aspect..... 209  
**Shishkina E.A.** Information within the globalizing world: social-ecological aspect ..... 217

#### **HUMANITIES**

---

- Pulin V.F.** The development of the Universe..... 224

## ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 539.3

А.А. Абросимов, Г.А. Айрапетьянц, В.Н. Филатов

### ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ И ЗАКРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК, РАЗЛИЧНЫМ ОБРАЗОМ ЗАКРЕПЛЕННЫХ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ КОНТУРЕ

*В высоких приближениях метода Бубнова – Галеркина, с использованием систем аппроксимирующих функций, базирующихся на системах синусов, исследуется напряженно-деформированное состояние гибких пологих оболочек прямоугольного плана, различным образом закрепленных по сторонам несмещаемого контура.*

A.A. Abrosimov, G.A. Ayrapetyants, V.N. Filatov

### LOSS SUSTAINABILITY AND SUPERCRITICAL BEHAVIOR SHALLOW SHELL IN VARIOUS WAYS OUT OF A RECTANGULAR OUTLINE

*In high approximation of Bubnov Galerkin method using systems based on the basic functions of sinuses, studied hard deformed condition flexible membrane shallow rectangular plan differently on the part of irremovable circuit.*

Пластины и оболочки находят широкое использование в строительстве, авиации, ракетостроении, являются элементами приборов точного машиностроения. Совершенствование расчетов таких конструкций является актуальным.

Уравнения теории гибких пологих оболочек постоянной толщины в перемещениях при отсутствии температурного поля имеют вид [1]:

$$\begin{aligned} & [(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2)]'_x + \mu_1[\varepsilon_{12}]'_y = 0; \quad [(\mu\varepsilon_1 + \varepsilon_2)]'_y + \mu_1[\varepsilon_{12}]'_x = 0; \\ & -A_0 [(k_1 + W_{xx})(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2) + 2\mu_1 W_{xy}\varepsilon_{12} + (k_2 + W_{yy})(\mu\varepsilon_1 + \varepsilon_2)] + \\ & + A_2 [(W_{xx} + \mu W_{yy})''_{xx} + 4\mu_1 W_{xxyy} + (\mu W_{xx} + W_{yy})''_{yy}] = (1 - \mu^2)q. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $\mu_1 = 0,5 \cdot (1 - \mu)$ ;  $\varepsilon_1 = U_x - k_1 W + 0,5 \cdot W_x^2$ ,  $\varepsilon_2 = V_y - k_2 W + 0,5 \cdot W_y^2$ ,  $\varepsilon_{12} = U_y + V_x + W_x W_y$ ;  $U = U(x, y)$ ,  $V = V(x, y)$  и  $W = W(x, y)$  – искомые компоненты перемещения соответственно в направлении взаимно ортогональных координатных осей  $OX$  и  $OY$ , направленных по линиям главных кривизн координатной поверхности

сти оболочки прямоугольного плана (размеров  $a \times b$ ) и оси  $OZ$ , направленной по нормали к координатной поверхности в сторону вогнутости (вниз);  $k_1, k_2$  – кривизны оболочки соответственно в направлении осей  $OX$  и  $OY$ ;  $A_0 = Eh$ ,  $A_2 = Eh^3/12$ , где  $h$  – толщина оболочки;  $E$  – модуль упругости материала оболочки;  $q=q(x,y)$  – распределенная нагрузка, перпендикулярная плану оболочки. Индексы  $x$  и  $y$  при искомым составляющих перемещения означают дифференцирование по соответствующей координате.

Напряжения в конструкции определяются по формулам

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{E}{1-\mu^2} [U_x + \mu V_y - (k_1 + \mu k_2)W + 0,5(W_x^2 + \mu W_y^2) - z(W_{xx} + \mu W_{yy})], \\ \sigma_{22} &= \frac{E}{1-\mu^2} [\mu U_x + V_y - (\mu k_1 + k_2)W + 0,5(\mu W_x^2 + W_y^2) - z(\mu W_{xx} + W_{yy})], \\ \sigma_{12} &= \frac{E\mu_1}{1-\mu^2} [U_y + V_x + W_x W_y - 2z W_{xy}]. \end{aligned} \quad (2)$$

Будем решать систему (1) методом Бубнова – Галеркина в высоких приближениях, аппроксимируя компоненты перемещения в виде

$$U = \sum_{i,j=1}^N A_{ij} \cdot X_{1i}(x) \cdot Y_{1j}(y), \quad V = \sum_{i,j=1}^N B_{ij} \cdot X_{2i}(x) \cdot Y_{2j}(y), \quad W = \sum_{i,j=1}^N C_{ij} \cdot X_{3i}(x) \cdot Y_{3j}(y). \quad (3)$$

При этом для функций, аппроксимирующих компоненты перемещения, берем производящей систему синусов [2, 3]. Тогда функции, аппроксимирующие тангенциальные перемещения, когда точки контура оболочки не смещаются, будут

$$X_{1m}(x) = X_{2m}(x) = \sin(m\pi x/a), \quad Y_{1n}(y) = Y_{2n}(y) = \sin(n\pi y/b).$$

Функции, аппроксимирующие прогиб оболочки, имеют вид

$$X_{3m}(x) = \sin(m\pi x/a) + C_3(m) \cdot x^3 + C_2(m) \cdot x^2 + C_1(m) \cdot x + C_0(m). \quad (4)$$

Значения констант  $C_i=C_i(m)$ , ( $i=0, 1, 2, 3$ ) зависят от способа закрепления оболочки на краях контура  $x=0$  и  $x=a$ .

Кромки  $x=0$  и  $x=a$  закреплены шарнирно, тогда

$$X_{3m}(0) = X_{3m}(a) = X'_{3m}(x)|_{x=0} = X'_{3m}(x)|_{x=a} = 0.$$

Реализуя эти граничные условия для (4), получим

$$\begin{aligned} C_3(m) = C_2(m) = C_1(m) = C_0(m) = 0 \text{ и} \\ X_{3m}(x) = \sin(m\pi x/a), \quad (m = 1, 2, 3, \dots). \end{aligned} \quad (5)$$

Последняя система – хорошо изученная и широко применяемая в расчетах полная система функций.

Кромки  $x=0$  и  $x=a$  жестко защемлены, тогда

$$X_{3m}(0) = X_{3m}(a) = X'_{3m}(x)|_{x=0} = X'_{3m}(x)|_{x=a} = 0.$$

Реализуя эти граничные условия для (4), имеем

$$C_3(m) = -\frac{m\pi}{a^3} [1 + (-1)^m]; \quad C_2(m) = \frac{m\pi}{a^2} [2 + (-1)^m]; \quad C_1(m) = -\frac{m\pi}{a}; \quad C_0(m) = 0.$$

И система функций, аппроксимирующих прогиб в направлении оси  $Ox$

$$X_{3m}(x) = \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) - m\pi \cdot [1 + (-1)^m] \cdot \left(\frac{x}{a}\right)^3 + m\pi \cdot [2 + (-1)^m] \cdot \left(\frac{x}{a}\right)^2 - m\pi \cdot \frac{x}{a}. \quad (6)$$



Если же  $X_{3m}(0) = X_{3m}(a) = X'_{3m}(x)|_{x=0} = X'_{3m}(x)|_{x=a} = 0$ ,

то

$$C_3(m) = -\frac{m \cdot \pi \cdot (-1)^m}{2 \cdot a^3}; C_2(m) = 0; C_1(m) = \frac{m \cdot \pi \cdot (-1)^m}{2 \cdot a}; C_0(m) = 0.$$

При  $X_{3m}(0) = X_{3m}(a) = X'_{3m}(x)|_{x=0} = X''_{3m}(x)|_{x=a} = 0$ ,

$$C_3(m) = -\frac{m \cdot \pi}{2 \cdot a^3}; C_2(m) = \frac{3}{2} \cdot \frac{m\pi}{a^2}; C_1(m) = -\frac{m \cdot \pi}{a}; C_0(m) = 0.$$

Аппроксимирующие функции перпендикулярного направления подбираются аналогично. Полученные системы функций являются полными исходя из способа их построения.

Полученные в результате применения метода Бубнова – Галеркина нелинейные алгебраические уравнения относительно коэффициентов разложений (3)  $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}$ , линеаризовались методом последовательных нагружений (МПН) [4].

Решены задачи для оболочек с кривизнами  $\bar{k}_1 = \frac{a^2}{h} k_1 = \bar{k}_2 = \frac{b^2}{h} k_2 = 16$ , различным образом закрепленных по сторонам квадратного ( $a=b$ ) в плане контура на действие равномерно распределенной перпендикулярной плану оболочки нагрузкой  $q$ . Схемы закрепления, не смещаемого в тангенциальных направлениях сторон контура оболочки, приводятся на рис. 1. На схеме 1 – оболочка, шарнирно закрепленная по контуру, на схеме 6 – защемленная по контуру оболочка, на схемах 2-5 – оболочки со смешанным закреплением. Результаты проведенных расчетов приводятся ниже на рис. 2-6.

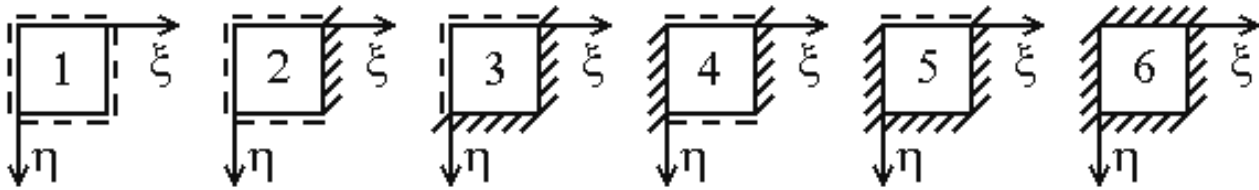


Рис. 1

На рис. 2 приводятся графики «безразмерная нагрузка  $\bar{q} = \frac{a^4}{Eh^4} q$  – безразмерный прогиб в центре оболочки  $\bar{W}(u) = \bar{W}(0,5; 0,5) = \frac{1}{h} W(0,5a; 0,5a)$ » для всех шести вариантов закрепления сторон контура оболочки. Здесь видны моменты потери устойчивости оболочек – верхние критические точки (ВКТ) и закритическое поведение центральной точки оболочек. Цифры 1-6 соответствуют номерам схем оболочек.

На рис. 3-4 приводятся эпюры безразмерных прогибов в ВКТ. На рис. 3 по сечению ( $\xi = x/a; \eta = y/b = 0,5$ ), здесь горизонтальная ось – ось  $O\xi$ .

На рис. 4 по сечению ( $\xi=0,5; \eta$ ), здесь горизонтальная ось – ось  $O\eta$ . По вертикальной оси на этих рисунках откладывается безразмерный прогиб.

На рис. 5-6 приводятся эпюры безразмерных напряжений в ВКТ, которые строятся на верхнем волокне оболочек. На рис. 5 по сечению ( $\xi=0,5; \eta$ ) приводятся значения безразмерных напряжений  $\bar{\sigma}_{11} = \frac{(1-\mu^2) a^2}{Eh^2} \sigma_{11}$ .

Здесь горизонтальная ось – ось  $Oo$ , по вертикальной оси откладываются безразмерные напряжения  $\bar{\sigma}_{11}$ . На рис. 6 по сечению ( $\xi = 0,5; \eta$ ) приводятся значения безразмерных напряжений  $\bar{\sigma}_{22} = \frac{(1-\mu^2) b^2}{Eh^2} \sigma_{22}$ , здесь горизонтальная ось – ось  $O\eta$ , по вертикальной оси откладываются безразмерные напряжения  $\bar{\sigma}_{22}$ .

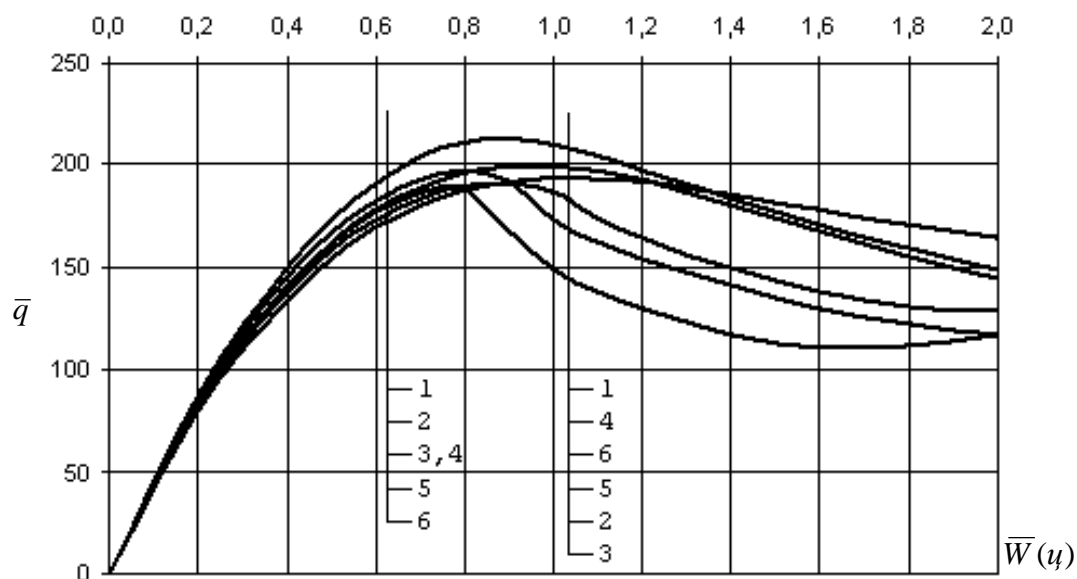


Рис. 2

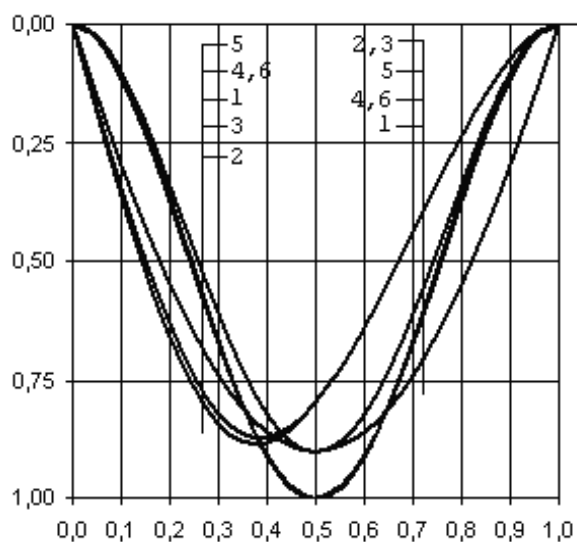


Рис. 3

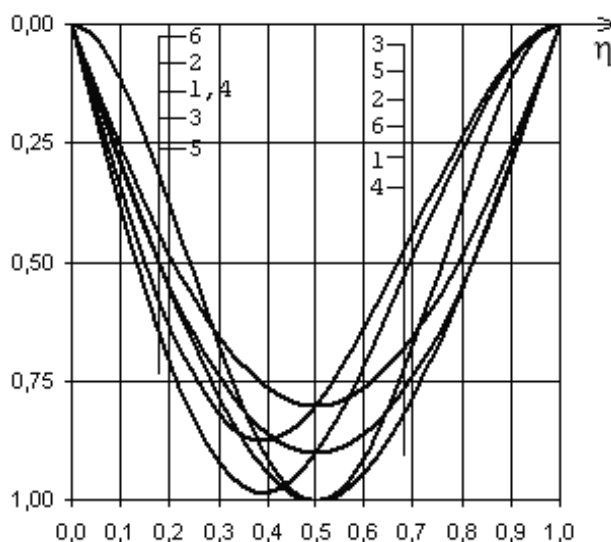


Рис. 4

На рис. 3-6 хорошо просматривается характер прогибов и напряжений, возникающих в оболочках по взаимно перпендикулярным сечениям оболочек, проходящих через центр оболочек. Ярко видна зависимость характера изменения прогибов и напряжений от способов закрепления сторон контуров оболочек. Все вышеприведенные результаты получены при удержании в двойных рядах разложений искомым компонентом перемещения по 16 членов (в шестнадцатом приближении).

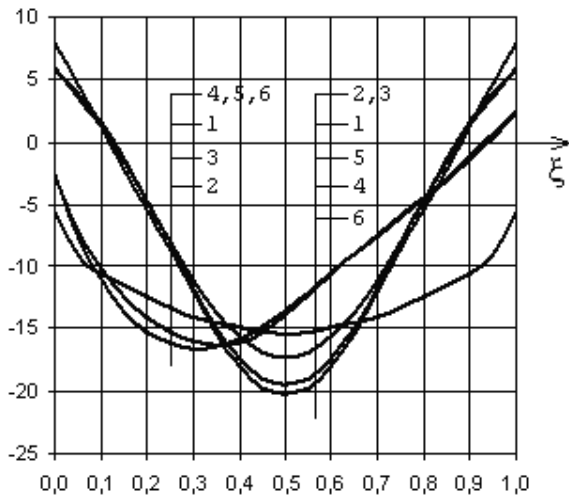


Рис. 5

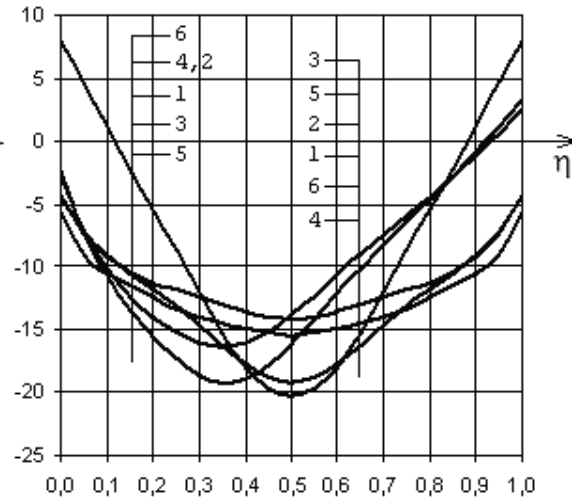


Рис. 6

В реальных конструкциях закрепление стороны контура может отличаться от идеального закрепления расчетной схемы. Поэтому следует вести расчет на всевозможные закрепления сторон контура и выбирать наиболее невыгодное с точки зрения момента потери устойчивости закрепление сторон. В нашем случае, таким наиболее невыгодным вариантом закрепления сторон контура является вариант схемы номер 3 на рис. 1. Здесь потеря устойчивости оболочкой происходит при  $\bar{q} = 189,2$ ,  $\bar{W}(\eta) = 0,8$ . Этот невыгодный вариант отличается от наиболее выгодного случая, когда оболочка закреплена шарнирно по всем сторонам, в этом случае в ВКТ  $\bar{q} = 213,1$ ,  $\bar{W} = 0,9$ , на 12,6% для величины верхней критической нагрузки. Такая подстраховка даст оправданный коэффициент запаса при расчете оболочечных конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатъев О.В. Вариационно-параметрический метод в нелинейной теории оболочек ступенчато-переменной толщины / О.В. Игнатъев, В.В. Карпов, В.Н. Филатов. Волгоград: ВолГАСА, 2001. 210 с.
2. Филатов В.Н. Построение систем аппроксимирующих функций с помощью модификации статического метода В.З.Власова, служащих для решения задач теории гибких пластин / В.Н. Филатов / Саратов. политехн. ин-т. Саратов, 1985. 26 с. Деп. в ВИНТИ 20.10.85. № 7427-В85.
3. Филатов В.Н. Исследование НДС пологих оболочек переменной толщины с использованием разных систем аппроксимирующих функций / В.Н. Филатов, А.А. Абросимов, К.В. Молодчиков // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвуз. темат. сб. тр. Вып. 11 / СПбГАСУ. СПб., 2005. С. 89-103.
4. Петров В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек / В.В. Петров. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 120 с.

**Абросимов Алексей Анатольевич** –  
аспирант кафедры «Высшая математика»  
Саратовского государственного технического университета

**Айрапетьянц Георгий Артурович** –  
студент Саратовского государственного технического университета

**Филатов Валерий Николаевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика»

Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 10.04.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 539.3

**Н.В. Губарева**

**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ  
ПРЯМЫХ ЗАМКНУТЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК  
МЕТОДОМ БУБНОВА – ГАЛЕРКИНА С УЧЕТОМ ДВОЙНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ**

*Рассматривается статический расчет прямых замкнутых призматических оболочек с учетом физической нелинейности при конечных перемещениях. При выводе разрешающих уравнений использован метод В.З. Власова. В результате линеаризации исходных нелинейных соотношений получена краевая задача для системы линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Для решения задачи использован метод Бубнова – Галеркина.*

**N.V. Gubareva**

**OF THE DIRECT CLOSED PRISMATIC SHELLS STATIC CALCULATION  
BY BUBNOV – GALERKIN METHOD TAKING  
INTO CONSIDERATION DOUBLE NONLINEARITY**

*Static calculation of the direct closed prismatic shells is considered in this article taking into account the physical nonlinearity at final moving. At derivation of solving equations V.Z. Vlasova method is used. As a result of a linearization of initial nonlinear ratio the boundary value problem for a system of linear differential equations with variable factors is obtained. For the solution of a problem Bubnov – Galerkin method is used.*

*Рассматривается расчет прямых тонкостенных замкнутых призматических оболочек средней длины, принятых за расчетную схему конструкций, широко применяемых в различных областях техники и строительства. Например, несущие конструкции крыла самолета, транспортных машин и железнодорожных вагонов, телескопические стрелы подъемных кранов, пролетные строения стальных мостов. Конструкции такого типа обладают повышенной деформативностью. Поэтому их расчетная схема должна возможно более полно учитывать реальные условия эксплуатации.*

*Предполагается, что материал оболочки изготовлен из физически нелинейного материала. Расчет ведется с учетом геометрически нелинейных соотношений.*

*Цель исследований:* разработать методику статического расчета оболочек рассматриваемого типа, с учетом нелинейных соотношений удобную для использования на этапе вариантного проектирования конкретных конструкций.

Данная работа является продолжением исследований, выполненных в [1]-[3].

Продольные и поперечные перемещения точек контура, в соответствии с методом В.З. Власова, имеют вид

$$u_i(z, s) = B u_i(z) \varphi_i(s), \quad v_h(z, s) = B v_h(z) \psi_h(s), \quad \langle i \rangle, \langle h \rangle; \quad (B = d_2), \quad (1)$$

где  $\varphi_i(s)$ ,  $\psi_h(s)$  – безразмерные аппроксимирующие функции перемещения точек контура,  $u_i(z)$ ,  $v_h(z)$  – неизвестные, подлежащие определению. Угловые скобки  $\langle \rangle$  означают суммирование по соответствующему индексу.

Разрешающие уравнения расчета прямых замкнутых призматических оболочек с учетом физической нелинейности при конечных перемещениях получены на основе прямого применения принципа Лагранжа [4]. Вид используемых физических и геометрических соотношений приведен в [2]-[4]. В соответствии с методом Бубнова – Галеркина неизвестные обобщенные перемещения представим в виде

$$u_i(z) = u_i^\alpha \chi_{i\alpha}(z), \quad v_h(z) = v_h^\Delta \lambda_{h\Delta}(z); \quad \langle \alpha \rangle, \langle \Delta \rangle; \quad (\alpha = 1, \dots, s; \Delta = 1, \dots, e), \quad (2)$$

где  $\chi_{i\alpha}(z)$ ,  $\lambda_{h\Delta}(z)$  – аппроксимирующие функции;  $u_i^\alpha(z)$ ,  $v_h^\Delta(z)$  – неизвестные постоянные, подлежащие определению.

Разрешающая система линейных алгебраических уравнений оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности при конечных перемещениях в форме метода Бубнова – Галеркина имеет вид [4]

$$\begin{cases} \left[ \frac{1}{\eta_1^2} A_{\gamma\alpha\beta}^i - l_1 B_{\gamma\alpha\beta}^i \right] u_i^\alpha - \frac{l_1}{\eta_1} \left[ C_{\gamma\delta\beta}^h - \frac{1}{l_1 \eta_1^2} (F_{\gamma\Delta\beta}^h + F_{1\gamma\Delta\beta}^h) \right] v_h^\Delta = -\frac{\eta_2}{E} \Delta P_{\gamma\beta}, \\ \frac{l_1}{\eta_1} \left[ D_{k\alpha\delta}^i + \frac{1}{l_1 \eta_1^2} (E_{k\alpha\delta}^i + E_{1k\alpha\delta}^i) \right] u_i^\alpha + \frac{l_1}{\eta_1^2} \left[ R_{k\Delta\delta}^h + \frac{1}{l_1 \eta_1^2} (G_{k\Delta\delta}^h + G_{1k\Delta\delta}^h) \right] v_h^\Delta = -\frac{\eta_2}{E} \Delta R_{k\delta}. \end{cases} \quad (3)$$

( $\alpha = 1, \dots, s, \quad \delta = 0, \dots, e$ ), ( $i = 1, \dots, n, \quad h = 0, \dots, m$ ), ( $\beta = 1, \dots, s, \delta = 0, \dots, e$ )  
 $\langle \Delta \rangle, \langle \alpha \rangle, \langle i \rangle, \langle h \rangle$ ).

Вид коэффициентов системы (3) приведен в [4].

При использовании методов типа Бубнова – Галеркина важным этапом является выбор аппроксимирующих функций. При удачном выборе этих функций получаем решения при небольшом числе слагаемых разложения (2). Это позволяет сократить трудоемкость решения и на основе вида разложения (2) осуществлять некоторый анализ НДС оболочки без проведения непосредственных вычислений.

В работе для практически важных случаев закрепления торцов оболочки, которая находится под действием равномерно распределенной нагрузки, предлагаются системы аппроксимирующих функций. Анализируется их сходимость к точному решению, за которое берется решение, полученное в результате численного интегрирования.

Рассматриваются следующие закрепления торцов оболочки (рис. 2).

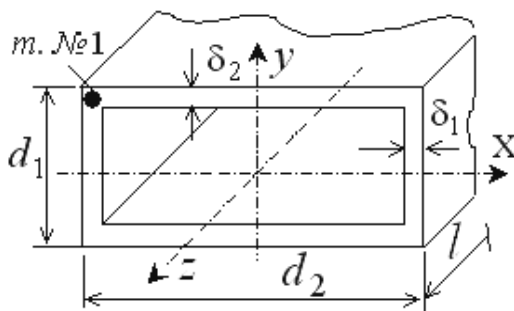


Рис. 1

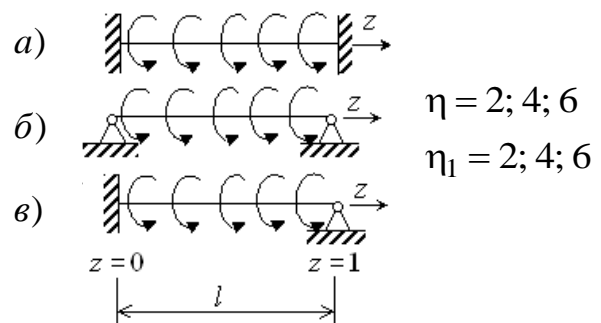


Рис. 2

Рассматривается оболочка с однозамкнутым контуром поперечного сечения (рис. 1). В этом случае в СЛАУ (3) имеем  $h, k = 0$ ;  $i, \gamma = 1$ .

Рассматривается оболочка со следующими геометрическими и физическими параметрами:

$$\begin{aligned} \nu = 0.5; \quad l_1 = \frac{1}{2(1+\nu)} = \frac{1}{3}; \quad P_1(z) = 0 \quad (R_0 = \text{const}); \\ \eta = \frac{d_2}{d_1} = 2; 4; 6; \quad \eta_1 = \frac{l}{d_2} = 2; 4; 6; \quad \bar{\delta}_1 = \bar{\delta}_2 = 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Правая часть СЛАУ (3), которая задает нагрузку, берется в виде  $\frac{\eta_1^2 \eta_2}{l_1 E} R_0$  и принимает следующие значения:

$$\frac{\eta_1^2 \eta_2}{l_1 E} R_0 = 0.0072 \quad \text{при } \eta = 2, \quad \frac{\eta_1^2 \eta_2}{l_1 E} R_0 = 0.00192 \quad \text{при } \eta = 4;$$

$$\text{при } \frac{\eta_1^2 \eta_2}{l_1 E} R_0 = 0.00104 \quad \text{при } \eta = 6.$$

Отметим, что аппроксимирующие функции зависят только от граничных условий и вида нагружения и не зависят от формы поперечного сечения оболочки, поэтому на этапе выбора аппроксимирующих функций выбирается самый простой вид поперечного сечения (рис. 1).

*Жесткое закрепление торцов (рис. 2, а).*

Геометрические граничные условия имеют вид:

$$z = 0; 1, \quad u_1(z) = 0, \quad v_0(z) = 0.$$

Для удовлетворения статических граничных условий должно выполняться условие при  $z = 0; 1$ ,  $u_1'(z) \neq 0$ , а также для оболочек такого типа полагается при  $z = 0; 1$ ,  $v_0'(z) \neq 0$ .

Известно, что для рассматриваемых закреплений торцов оболочки и вида внешней нагрузки характер изменения вдоль оси оболочки для  $u_1(z)$ ,  $u_1'(z)$ ,  $v_0(z)$ ,  $v_0'(z)$ , полученный в результате численного интегрирования разрешающих уравнений, имеет вид (рис. 3)

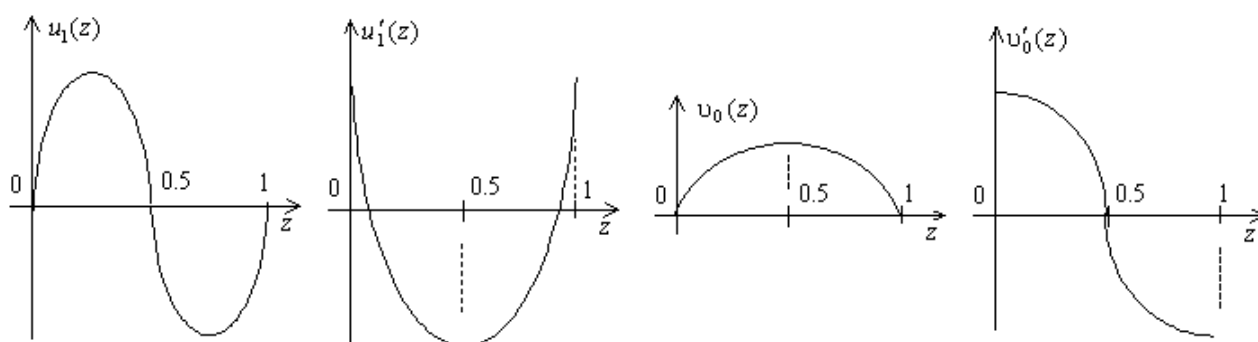


Рис. 3

С учетом сказанного выше аппроксимирующие функции выбираем в виде:

$$\chi_\alpha(z) = \sin 2\pi\alpha z, \quad \lambda_\delta(z) = \sin \pi(2\delta - 1)z; \quad (\alpha = 1, \dots, s; \delta = 1, \dots, e). \quad (5)$$

Значения коэффициентов  $u_\alpha$ ,  $v_1$  разложения (2) при  $\eta=4$   $\Delta=1$  для  $s=2-100$  приведены в табл. 1. Значения  $u_\alpha$ ,  $v_1$  практически совпадают, начиная с  $s=3$ .

На рис. 4 приведены графики исследуемых величин при  $\eta=4$  ( $\Delta=1$   $s=1, 2, 4, 100$ ). Точное решение на рис. 4 обозначено сплошной линией [5]. Точному решению соответствует

решение, полученное в результате численного интегрирования соответствующей краевой задачи. Пунктирные линии с номерами 1; 2; 4 соответствуют приближениям  $s=1; 2; 4$   $e=1$ . На рис. 4, а, б приведены графики продольного перемещения  $u_1(z)$  и её производной  $u_1'(z)$  угловой точки контура № 1 (рис. 1) вдоль оси оболочки; на рис. 4, в, г – изменения угла поворота поперечного сечения  $v_0(z)$  и его производной  $v_0'(z)$ .

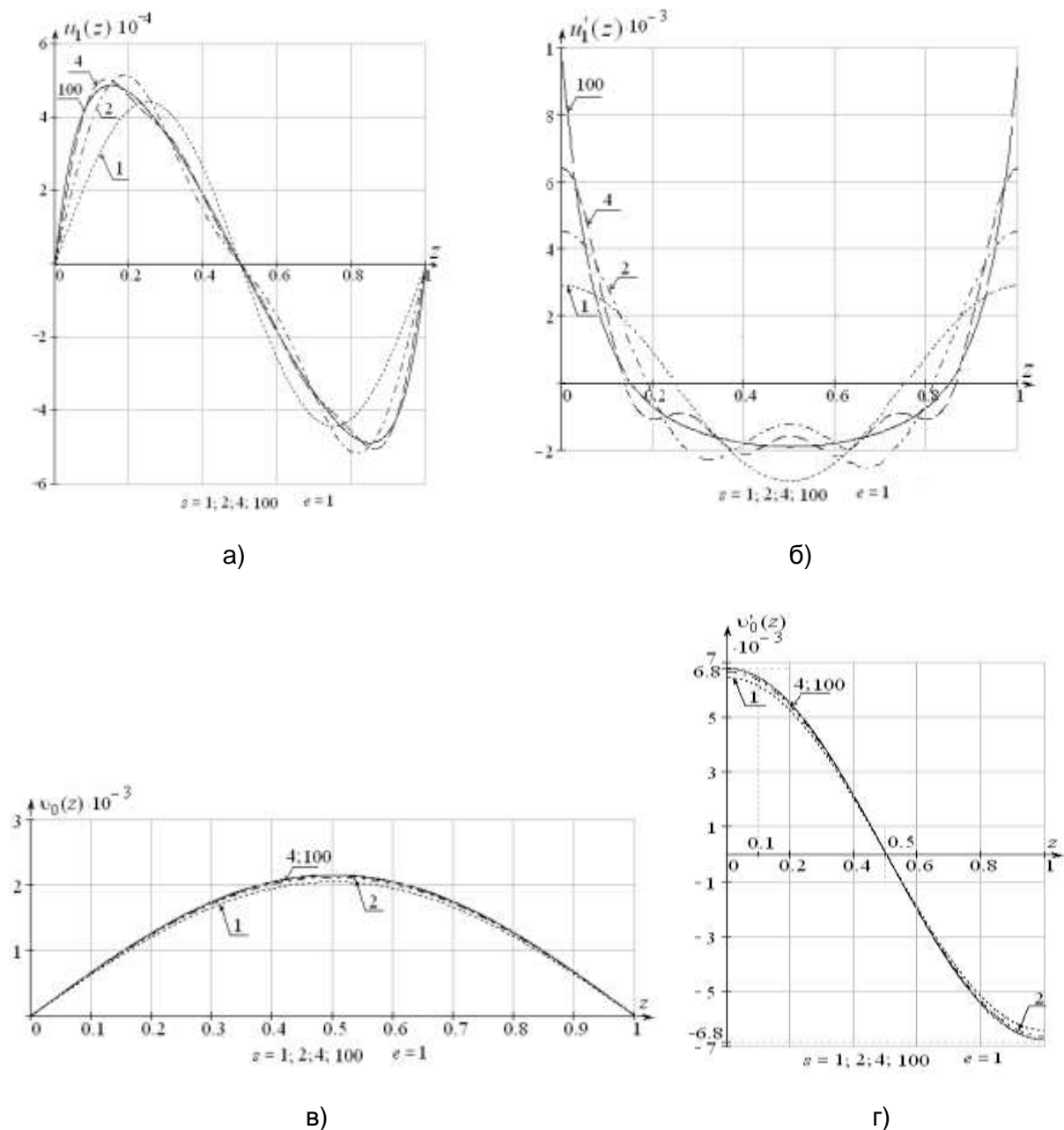


Рис. 4

Таблица 1

$e = 1$	$u_\alpha \cdot 10^4$ при $\eta_1 = 4, \Delta = 1, \eta = 4$							
$\alpha$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=7$	$s=10$	$s=20$	$s=30$	$s=100$
1	4.5805	4.6248	4.6418	4.6557	4.6584	4.6598	4.6600	4.6601
2	1.3079	1.3206	1.3254	1.3294	1.3302	1.3306	1.3306	1.3307

$e = 1$	$u_\alpha \cdot 10^4$ при $\eta_1 = 4, \Delta = 1, \eta = 4$							
$\alpha$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=7$	$s=10$	$s=20$	$s=30$	$s=100$
3	–	0.5748	0.5769	0.5787	0.5790	0.5792	0.5792	0.5792
4	–	–	0.2943	0.2952	0.2954	0.2955	0.2955	0.2955
5	–	–	–	0.1677	0.1678	0.1678	0.1678	0.1678
7	–	–	–	0.0676	0.0677	0.0677	0.0677	0.0677
10	–	–	–	–	0.0246	0.0246	0.0246	0.0246
20	–	–	–	–	–	0.0032	0.0032	0.0032
30	–	–	–	–	–	–	0.0009	0.0009
50	–	–	–	–	–	–	–	0.0002
100	–	–	–	–	–	–	–	0.00003
$v_1 \cdot 10^3$	2.1147	2.1352	2.1430	2.1494	2.1507	2.1514	2.1515	2.1515

В табл. 2 приведены значения исследуемых компонентов напряженно-деформированного состояния вдоль оси оболочки ( $z=0-0.5$ ) при  $s=2; 4; 100, e=1$ .

Таблица 2

$\eta = 4$	$u_1(z) \cdot 10^4$			$u'_1(z) \cdot 10^3$			$v_0(z) \cdot 10^3$			$v'_0(z) \cdot 10^3$		
	s			s			s			s		
z	2	4	100	2	4	100	2	4	100	2	4	100
0	0	0	0	4.52	6.41	9.6	0	0	0	6.6	6.7	6.8
0.1	3.94	4.71	4.57	2.84	1.94	1.38	0.65	0.66	0.66	6.32	6.40	6.43
0.2	5.13	4.57	4.69	0.44	-1.10	-0.73	1.24	1.13	1.13	5.37	5.45	5.47
0.3	3.59	3.58	3.54	-2.22	-1.14	-1.47	1.71	1.17	1.17	3.91	3.96	3.97
0.4	1.45	1.84	1.88	-1.82	-2.11	-1.81	2.01	2.04	2.05	2.05	2.08	2.09
0.5	0	0	0	-1.23	-1.60	-1.91	2.11	2.14	2.15	0	0	0

Шарнирное опирание торцов (рис. 2, б).

Геометрические граничные условия имеют вид:

$$z = 0; 1, \quad u'_1(z) = v_0(z) = 0.$$

Учитываем также, что из условий закрепления должны выполняться условия

$$z = 0; 1, \quad u_1(z) \neq 0; \quad v'_0(z) \neq 0.$$

Характер изменения величин  $u_1(z)$ ,  $u'_1(z)$ ,  $v_0(z)$ ,  $v'_0(z)$  вдоль оси оболочки имеет вид (рис. 5).

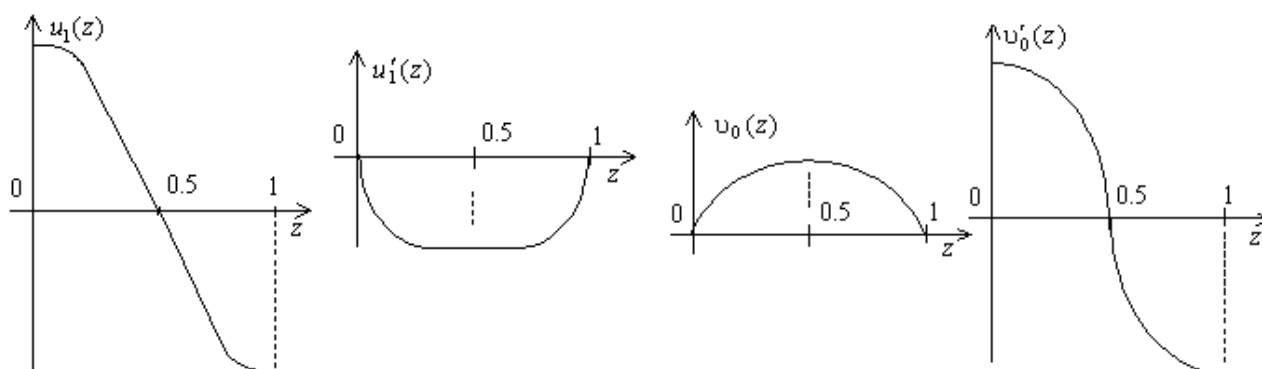


Рис. 5



Аппроксимирующие функции выбираем в виде:

$$\chi_\alpha(z) = \cos \pi(2\alpha - 1)z; \quad \lambda_\Delta(z) = \sin \pi(2\Delta - 1)z. \quad (6)$$

На рис. 6 приведены графики изменения вдоль оси оболочки продольного перемещения угловой точки контура № 1  $u_1(z)$ ,  $u'_1(z)$  и изменения угла поворота поперечного сечения  $v_0(z)$  для  $\eta=4$ ,  $\Delta=1$ . Кривые на рис. 6, а, б с номерами 2; 4 соответствуют приближениям  $s=2$ ; 4  $e=1$ , кривые на рис. 6, в с номерами 1; 4 соответствуют приближениям  $s=1$ ; 4  $e=1$ .

Отметим, что расчет оболочки с данным закреплением торцов выполнялся методом Ритца – Тимошенко в [1], [3].

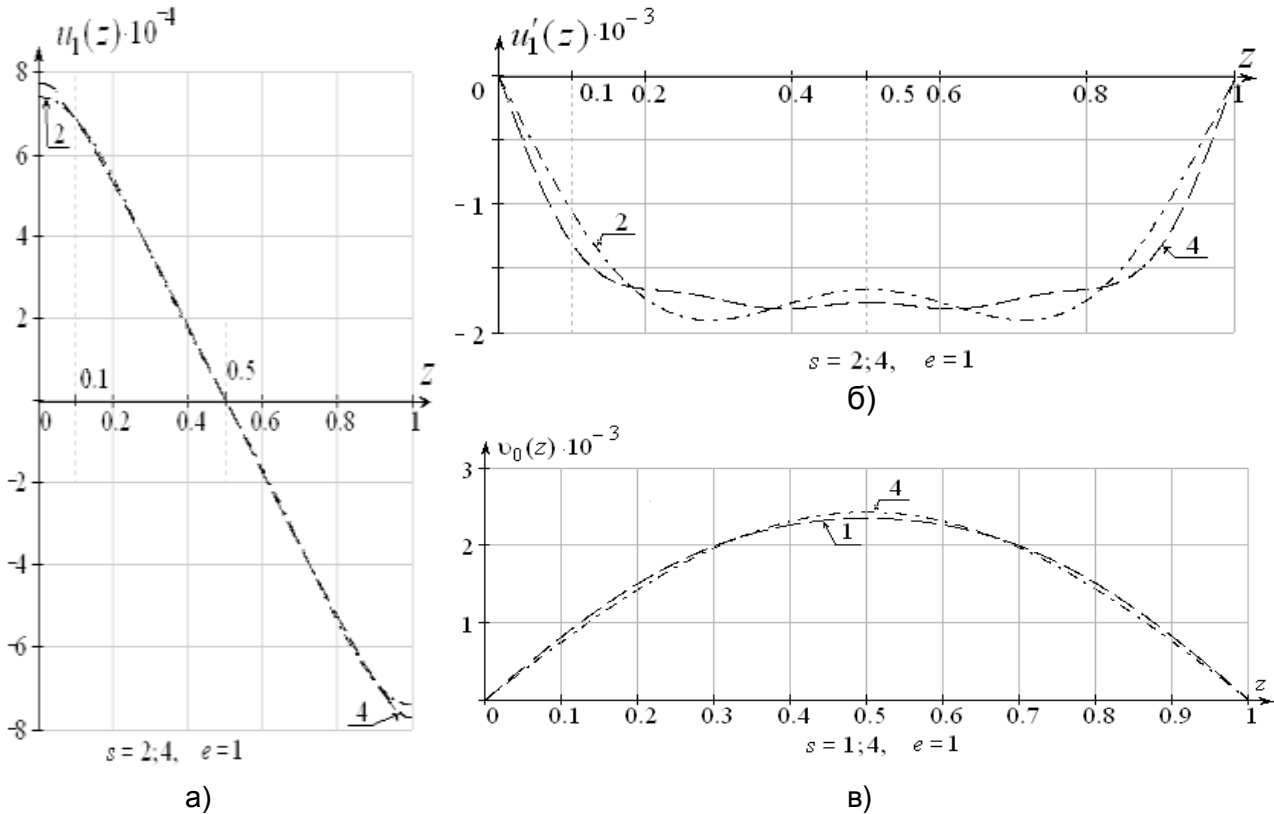


Рис. 6

Оболочка с жестким закреплением левого торца и шарнирным опиранием правого торца (рис. 2, в).

Граничные условия имеют вид:

$$z=0, \quad u_1(z)=0, \quad v_0(z)=0,$$

$$z=1, \quad u'_1(z)=0, \quad v_0(z)=0.$$

Учитываем также, что из условий закрепления должны выполняться условия

$$z=0; \quad u'_1 \neq 0; \quad v'_0 \neq 0;$$

$$z=1; \quad u_1 \neq 0; \quad v'_0 \neq 0.$$

Характер изменения вдоль оси оболочки  $u_1(z)$ ,  $u'_1(z)$ ,  $v_0(z)$ ,  $v'_0(z)$  имеет вид (рис. 7).

Аппроксимирующие функции выбираем в виде:

$$\chi_\alpha(z) = \sin(2\alpha - 1)\frac{\pi}{2}z, \quad \lambda_\delta(z) = \sin \delta \pi z. \quad (7)$$

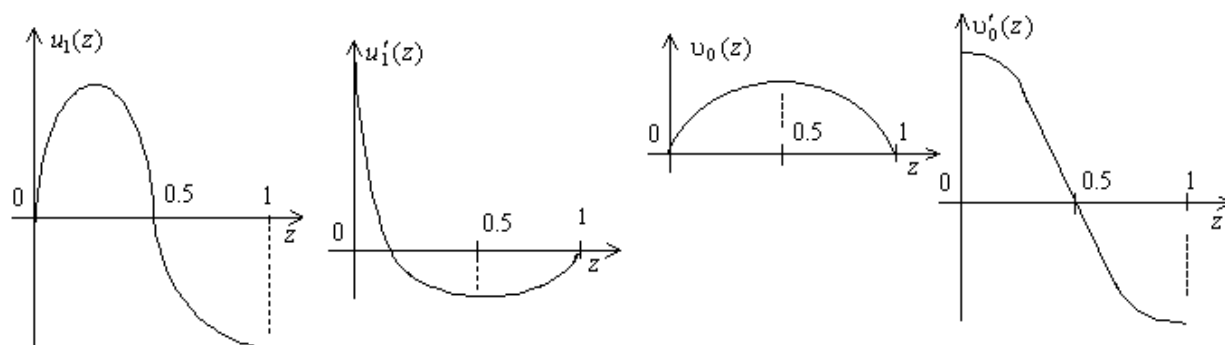


Рис. 7

Значения коэффициентов  $u_\alpha$ ,  $v_1$  разложения (2) для  $\eta=4$ ,  $\Delta=1$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

$e=1$	$u_\alpha \cdot 10^4$ при $\eta_1 = 4$ , $\Delta=1$ , $\eta = 4$							
$\alpha$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=7$	$s=10$	$s=20$	$s=30$	$s=100$
1	-2.6435	-2.7419	-2.7792	-2.8120	-2.8191	-2.8229	-2.8234	-2.8236
2	4.4206	4.5853	4.6475	4.7024	4.7143	4.7208	4.7215	4.7218
3	–	1.5934	1.6151	1.6341	1.6383	1.6405	1.6408	1.6409
4	–	–	0.8894	0.8999	0.9022	0.9034	0.9036	0.9036
5	–	–	–	0.5591	0.5605	0.5612	0.5613	0.5614
7	–	–	–	0.2553	0.2559	0.2563	0.2563	0.2563
10	–	–	–	–	0.1015	0.1016	0.1016	0.1016
20	–	–	–	–	–	0.0140	0.0140	0.140
30	–	–	–	–	–	–	0.0042	0.0042
50	–	–	–	–	–	–	–	0.0009
100	–	–	–	–	–	–	–	0.0001
$v_1 \cdot 10^3$	2.1351	2.2147	2.2448	2.2712	2.2770	2.2801	2.2805	2.2806

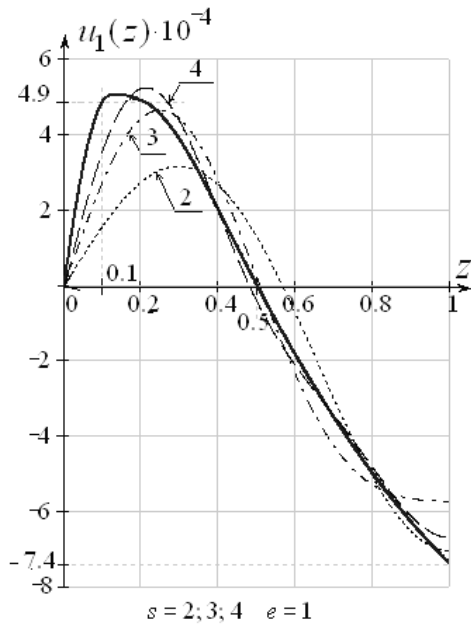
На рис. 8 приведены графики изменения вдоль оси оболочки продольного перемещения  $u_1(z)$  угловой точки контура №1 (рис. 1), её производной  $u_1'(z)$  и угла поворота поперечного сечения  $v_0(z)$ , его производной  $v_0'(z)$  для  $\eta=4$ ,  $\Delta=1$ .

Точное решение [5] на рис. 8 обозначено сплошной линией. Пунктирные линии под номерами 2-4 (рис. 8, а, б), 1, 2, 4, 30 (рис. 8, в, г) соответствуют приближениям  $s=1-4$ ; 30,  $e=1$ .

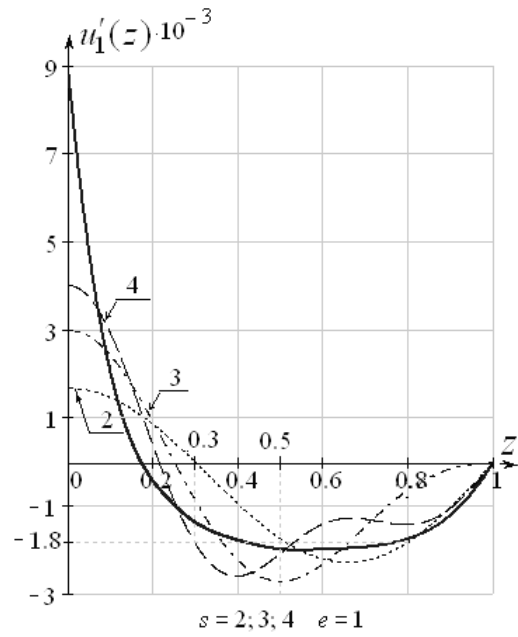
В табл. 4 приведены значения исследуемых компонентов напряженно-деформированного состояния вдоль оси оболочки ( $z=0-0.5$ ) для  $\eta=4$  при  $s=2$ ; 4; 7; 30.  $e=1$ .

Таблица 4

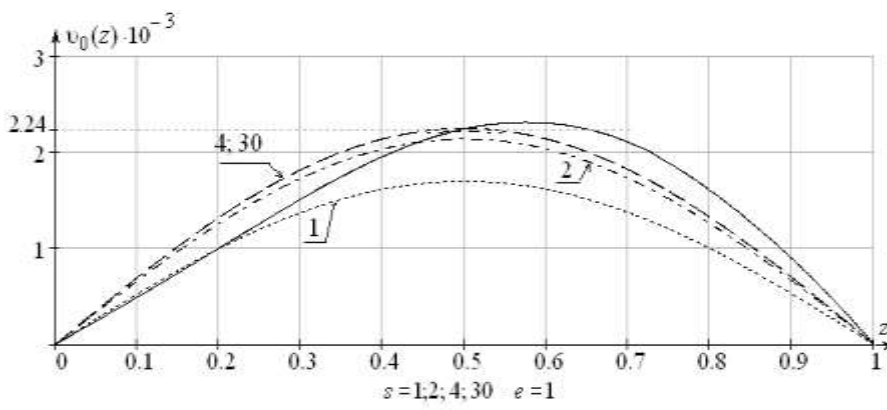
$z$	$u_1(z) \cdot 10^4$			$-u_1'(z) \cdot 10^3$			$v_0(z) \cdot 10^3$			$v_0'(z) \cdot 10^3$		
	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	$s$	
	4	7	30	4	7	30	2	7	30	2	7	30
0	0	0	0	3.83	5.63	8.35	0	0	0	6.68	7.08	7.10
0.1	3.46	4.53	4.59	2.75	2.60	1.56	0.66	0.70	0.70	6.35	6.66	6.76
0.2	5.04	4.97	4.80	0.31	-1.19	-0.68	1.25	1.32	1.33	5.40	5.67	5.75
0.3	4.20	3.46	3.67	-1.81	-1.44	-1.5	1.72	1.82	1.83	3.93	4.12	4.18
0.4	1.91	2.04	1.95	-2.51	-1.63	-1.88	2.02	2.14	2.15	2.06	2.16	2.20
0.5	-0.41	0.02	0	-2.03	-2.27	-1.99	2.13	2.25	2.26	0	0	0



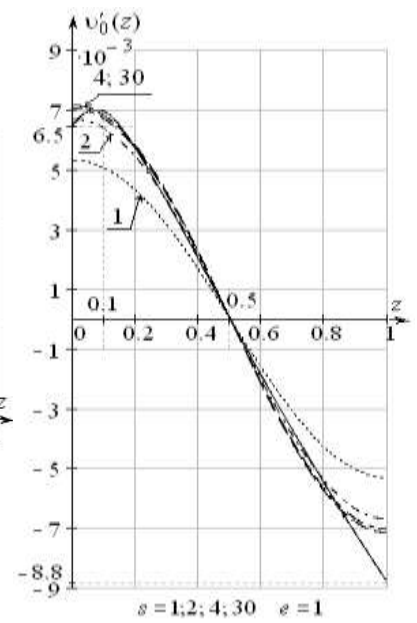
а)



б)



в)



г)

Рис. 8

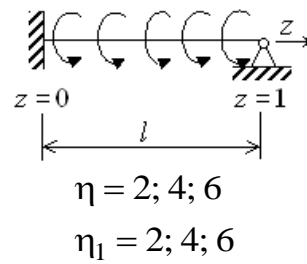
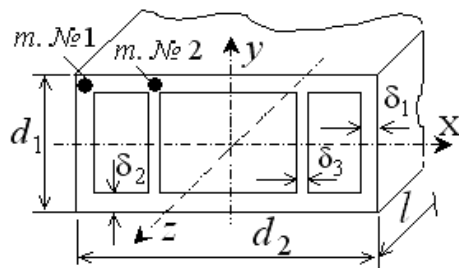


Рис. 9

Построенные системы аппроксимирующих функций используем для расчета оболочки с многозамкнутым контуром поперечного сечения (рис. 9).

В этом случае выражение (1) записываем в виде

$$u(z, s) = B(u_1(z)\varphi_1(s) + u_2(z)\varphi_2(s)), \quad v(z, s) = Bv_0(z)\psi_0(s), \quad (8)$$

где  $u_1(z)$  – задает продольное перемещение т. № 1,  $u_2(z)$  – т. № 2.

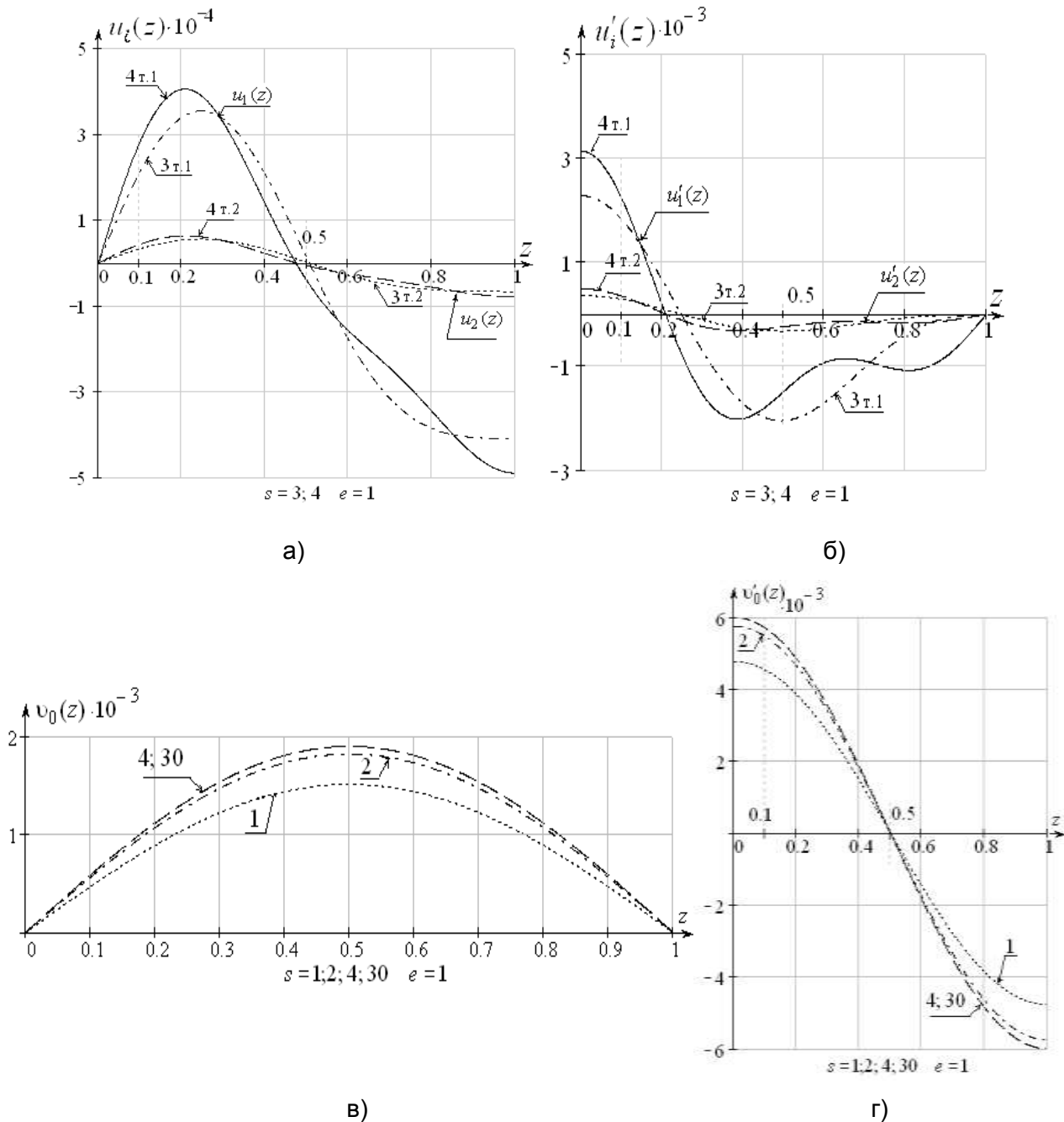


Рис. 10

Разрешающая система линейных алгебраических уравнений получается из (3) при  $i, \gamma=2, h, k=0$ . Тогда имеем

$$\left[ \frac{1}{\eta_1^2} A_{1\alpha\beta}^1 - l_1 B_{1\alpha\beta}^1 \right] u_1^\alpha + \left[ \frac{1}{\eta_1^2} A_{1\alpha\beta}^2 - l_1 B_{1\alpha\beta}^2 \right] u_2^\alpha - \frac{l_1}{\eta_1} C_{18\beta}^0 v_0^\Delta = -\frac{\eta_2}{E} \Delta P_{1\beta} = 0,$$

$$\left[ \frac{1}{\eta_1^2} A_{2\alpha\beta}^1 - l_1 B_{2\alpha\beta}^1 \right] u_1^\alpha + \left[ \frac{1}{\eta_1^2} A_{2\alpha\beta}^2 - l_1 B_{2\alpha\beta}^2 \right] u_2^\alpha - \frac{l_1}{\eta_1} C_{2\beta\beta}^0 v_0^\Delta = -\frac{\eta_2}{E} \Delta P_\beta = 0, \quad (9)$$

$$\frac{l_1}{\eta_1} (D_{0\alpha\delta}^1 u_1^\alpha + D_{0\alpha\delta}^1 u_2^\alpha) + \frac{l_1}{\eta_1^2} R_{0\Delta\delta}^1 v_0^\Delta = -\frac{\eta_2}{E} \Delta R_{0\delta}.$$

$$(\alpha = 1, \dots, s, \quad \delta = 0, \dots, e), \quad (\beta = 1, \dots, s, \delta = 0, \dots, e)$$

$$\langle \Delta \rangle, \quad \langle \alpha \rangle, \quad \langle i \rangle, \quad \langle h \rangle.$$

На рис. 10 приведены графики исследуемых величин при  $\eta=4$  ( $s=3,4$   $\Delta=1$ ). На рис. 10, а, б – графики продольного перемещения  $u_1(z)$ ,  $u_2(z)$  и их производных  $u_1'(z)$ ,  $u_2'(z)$ . Кривые с номерами 3; 4 на рис. 10, а, б соответствуют приближениям  $s=3$ ;  $4$   $e=1$ . Символ «т» соответствует номеру угловых точек 1 и 2. На рис. 10, в, г – изменения угла поворота поперечного сечения  $v_0(z)$  и его производной  $v_0'(z)$ . Кривые на рис. 10, в, г с номерами 1; 2; 4; 30 соответствуют приближениям  $s=1$ ; 2; 4; 30  $e=1$ .

### Вывод

Предложены аппроксимирующие функции, которые для типовых закреплений торцов оболочки и внешней крутящей нагрузки обеспечивают быструю сходимость приближенного решения.

Предложенная методика обладает меньшей вычислительной трудоемкостью по сравнению с численным интегрированием и поэтому более удобна в практике вариантного проектирования соответствующих конструкций.

Предложенная методика апробирована на примере расчета оболочек с многозамкнутым контуром поперечного сечения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Губарева Н.В. Применение метода Ритца – Тимошенко при решении физически нелинейных задач статического расчета призматических оболочек / Н.В. Губарева // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. № 1 (11). Вып. 2. С. 5-13.
2. Губарева Н.В. Расчет прямых призматических оболочек с жестко заделанным одним торцом и шарнирно опертым другим с учетом физической нелинейности / Н.В. Губарева // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2006. С. 146-152.
3. Кузнецов О.Р. Сходимость метода Ритца-Тимошенко при расчёте замкнутых призматических оболочек с учетом физической нелинейности / О.Р. Кузнецов, Н.В. Губарева // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 138-146.
4. Кузнецов О.Р. Расчет прямых многострингерных призматических оболочек методом Бубнова – Галёркина с учётом физической нелинейности при конечных перемещениях / О.Р. Кузнецов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. № 3 (14). Вып. 1. С. 14-20.
5. Страшнова Н.А. Расчет прямых замкнутых призматических оболочек при конечных перемещениях с учетом физической нелинейности: дис. ... канд. техн. наук / Н.А. Страшнова. Саратов, 1996. 164 с.

### Губарева Наталья Валентиновна –

ассистент кафедры «Механика деформируемого твердого тела»  
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 27.10.06, принята к опубликованию 26.12.06

**Д.В. Кондратов, Л.И. Могилевич**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК  
СО СЛОЕМ ЖИДКОСТИ МЕЖДУ НИМИ  
ПРИ СВОБОДНОМ ТОРЦЕВОМ ИСТЕЧЕНИИ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИИ**

*Проведено исследование амплитудных частотных характеристик (АЧХ) двух вложенных упругих замкнутых цилиндрических оболочек, содержащих между собой слой вязкой несжимаемой жидкости, при свободном ее истечении в условиях вибрации механической системы. Показано, что значения АЧХ для внутренней и внешней оболочек на резонансных частотах совпадают. Рассмотрены частные случаи указанной механической модели.*

**D.V. Kondratov, L.I. Mogilevich**

**MATHEMATICAL MODELLING OF PROCESSES  
OF INTERACTION OF TWO CYLINDRICAL ENVIRONMENTS  
WITH THE LAYER OF THE LIQUID BETWEEN  
THEM UNDER FREE LEAKAGE CONDITIONS OF FOUNDATION VIBRATION**

*The amplitude frequency characteristics (AFC) of two enclosed elastic closed cylindrical environments with a layer of a viscous incompressible liquid is carried out under free leakage of fluid conditions of foundation vibration of mechanical system is researched in this article. It is demonstrated that the meanings of AFC for internal and external environments at resonance frequencies coincide. Special cases of the specified mechanical model are considered here.*

Современные конструкции, используемые в различных отраслях техники, могут быть описаны моделью, которая состоит из двух цилиндрических оболочек, вложенных друг в друга, между которыми расположена жидкость. Следует заметить, что оболочки могут быть как упругими, так и абсолютно жесткими. Примерами использования модели с двумя цилиндрическими оболочками можно считать двигатели внутреннего сгорания, поплавковые приборы навигации, жидкостные ракетные двигатели, телескопические шасси, силовые цилиндры с полым плунжером [1-4]. В последних примерах ни одну из оболочек нельзя считать абсолютно жесткой, т.к. по технологическим особенностям данные элементы должны быть достаточно тонкими. Следует отметить, что в такой модели жидкость между оболочками может служить как для демпфирования собственных колебаний оболочек, так и для охлаждения этих оболочек.

При вибрации упругая податливость внутренней и внешней оболочек приводит к динамическому воздействию на слой жидкости, в котором, вследствие этого, возникают зоны пониженного и повышенного давления. В рассматриваемой колебательной системе – «упругая оболочка – охлаждающая жидкость – упругая оболочка» возможен резонанс, при котором прогибы внутренней и внешней оболочек будут максимальны, а в слое охлаждающей жидкости возникает кавитация на частотах, соответствующих резонансным.

Учитывая, что радиус срединной поверхности внешней и внутренней оболочек значительно превосходит толщину стенки, их можно считать упругими цилиндрическими оболочками. Будем предполагать, что на торцах оболочек обеспечивается жесткое защемление (т.е. не возможны поворот и перемещение), следовательно, обе оболочки могут рассматриваться как цилиндрические оболочки с жестким защемлением на торцах.

Таким образом, для определения критических частот вибрации, которые могут вызывать излишний прогиб оболочек и кавитационный износ, необходимы постановка и решение задачи упругогидродинамики внутренней и внешней оболочек силового цилиндра, содержащих слой вязкой несжимаемой жидкости в межрубашечном пространстве [3, 4].

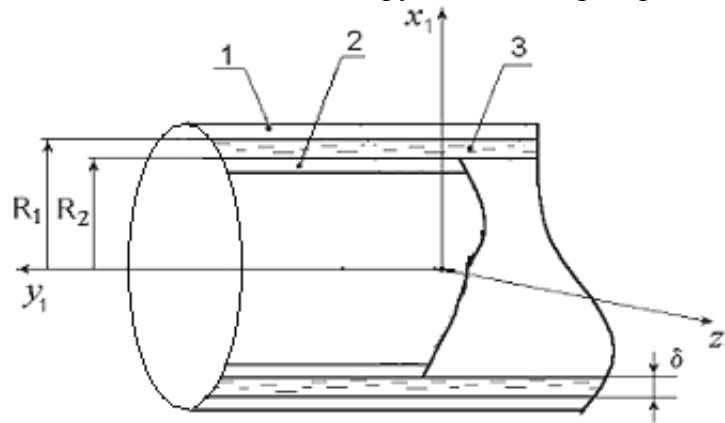


Рис. 1. Физическая модель механической системы

Рассмотрим далее следующую физическую модель механической системы (рис. 1).

Механическая система представляет собой внешнюю оболочку 1, которая является упругой замкнутой цилиндрической оболочкой, жестко защемленной по торцам. Внутренняя оболочка 2 – также упругая замкнутая цилиндрическая оболочка, жестко защемленная по торцам. Зазор между стенками оболочек 2 и 1  $R_2$  и  $R_1$  полностью заполнен вязкой несжимаемой жидкостью 4. Наружная поверхность внешней оболочки и поверхность внутренней оболочки образуют цилиндр в цилиндре длиной  $l_2$ . Радиальный зазор цилиндрической щели  $\delta = R_1 - R_2 \ll R_2$ . Жидкость свободно вытекает из цилиндрической щели. Перемещения внутренней оболочки относительно внешней как твердого тела отсутствуют [1].

Таким образом, физическая модель механической системы представляет собой две упругие замкнутые цилиндрические оболочки, взаимодействующие между собой через слой жидкости под воздействием вибрации.

Систему координат  $O_1x_1y_1z_1$  свяжем с основанием, к которому крепится силовой цилиндр. Положим, что перемещения вдоль оси  $O_1y_1$  отсутствуют. Обозначим виброускорение основания, к которому крепится механическая система, через  $\ddot{x}_0, \ddot{z}_0$ . Введем в рассмотрение необходимую далее цилиндрическую систему координат  $r, \theta, y$ , полюс которой совпадает с началом координат  $O_1x_1y_1z_1$ , направления осей  $Oy, O_1y_1$  цилиндрической и декартовой систем координат совпадают (рис. 2).

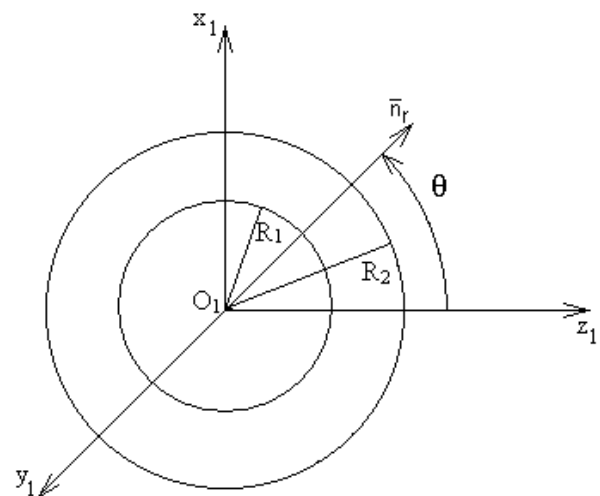


Рис. 2. Выбор системы координат

Поступательное движение механической системы, как абсолютно жесткого тела, и его абсолютное ускорение представляются в виде (относительно инерциального пространства)

$$x_0(t) = E_x f_{x_0}(\omega t), \quad y_0(t) \equiv 0, \quad z_0(t) = E_z f_{z_0}(\omega t), \quad (1)$$

$$W_{1x1} = \ddot{x}_0 = E_x \omega^2 f_{x_0}''(\omega t), \quad W_{1y1} \equiv 0, W_{1z1} = \ddot{z}_0 = E_z \omega^2 f_{z_0}''(\omega t),$$

где штрих означает производную функции по ее аргументу, а  $E_x, E_z$  – амплитуды поступательных колебаний;  $\omega = 2\pi f$  – частота поступательных колебаний, рад/с.

В реальных механических системах отношение  $\delta$  к  $R_2$  очень мало, поэтому можно ввести малый параметр  $\psi = \delta/R_2 \ll 1$ , характеризующий ширину цилиндрического слоя жидкости, окружающей внутреннюю цилиндрическую оболочку.

Малый параметр  $\psi$  позволяет упростить постановку задачи гидроупругости с цилиндрическими оболочками. Перейдем к безразмерным переменным, вводя редуцированное давление для цилиндрической щели [2, 3]

$$\xi = (r - R_2)/\delta, \quad \theta = \theta, \quad \tau = \omega t, \quad \zeta = 2y/l_2, \quad \lambda = w_m/\delta; \quad V_r = w_m \omega u_\xi, \quad V_\theta = (w_m \omega/\psi) u_\theta,$$

$$V_y = (w_m \omega/\psi) (l_2/2R_2) u_\zeta; \quad u_1 = u_m U_1, \quad u_2 = v_m U_2, \quad u_3 = w_m U_3, \quad \tilde{u}_1 = \tilde{u}_m \tilde{U}_1, \quad \tilde{u}_2 = \tilde{v}_m \tilde{U}_2, \quad \tilde{u}_3 = \tilde{w}_m \tilde{U}_3,$$

$$c^2 = E/[\rho_0(1-\mu_0^2)], \quad \tilde{c}^2 = \tilde{E}/[\tilde{\rho}_0(1-\tilde{\mu}_0^2)], \quad a_0^2 = h_0^2/(12R^2), \quad \tilde{a}_0^2 = \tilde{h}_0^2/(12\tilde{R}^2), \quad \psi = \delta/R_2 \ll 1,$$

$$\tilde{\lambda} = \tilde{w}_m/\delta; \quad p = p_0 + \rho R_2 \frac{w_m \omega^2}{\psi \text{Re}} \left\langle P - \text{Re} \left[ \frac{\psi E_z}{w_m} f_{z_0}''(\tau) \cos(\theta + \varphi) + \frac{\psi E_x}{w_m} f_{x_0}''(\tau) \sin(\theta + \varphi) \right] \right\rangle, \quad (2)$$

где  $p_0, \rho, v$  – уровень отсчета давления, плотность и кинематический коэффициент вязкости жидкости;  $h_0, \rho_0, E, \mu_0$  – толщина, плотность, модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала внешней оболочки;  $\tilde{h}_0, \tilde{\rho}_0, \tilde{E}, \tilde{\mu}_0$  – толщина, плотность, модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала внутренней оболочки;  $P$  – редуцированное безразмерное давление жидкости;  $u_1 = u_1(y, \theta, t)$  – продольное упругое перемещение внешней оболочки, положительное в направлении  $\bar{n}_s$ , противоположном направлению  $\bar{j}$ ;  $u_2 = u_2(y, \theta, t)$  – окружное упругое перемещение внешней оболочки в направлении  $\bar{n}_\theta$ ;  $u_3 = u_3(y, \theta, t)$  – прогиб внешней оболочки, положительный в направлении  $\bar{n}$ , совпадающем с  $\bar{n}_r$  и противоположном направлению к центру кривизны;  $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$  – аналогичные параметры внутренней оболочки;  $V_r, V_\theta, V_y$  – проекции скорости жидкости на  $r, \theta, y$ .

Уравнения динамики поддерживающего и демпфирующего слоев жидкости в нулевом приближении по  $\psi$  примут вид:

$$\frac{\partial P}{\partial \xi} = 0, \quad \text{Re} \left[ \frac{\partial u_\theta}{\partial \tau} + \lambda \left( u_\xi \frac{\partial u_\theta}{\partial \xi} + u_\theta \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_\zeta \frac{\partial u_\theta}{\partial \zeta} \right) \right] = - \frac{\partial P}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \xi^2}, \quad (3)$$

$$\text{Re} \left[ \frac{\partial u_\zeta}{\partial \tau} + \lambda \left( u_\xi \frac{\partial u_\zeta}{\partial \xi} + u_\theta \frac{\partial u_\zeta}{\partial \theta} + u_\zeta \frac{\partial u_\zeta}{\partial \zeta} \right) \right] = - \left( \frac{2R_2}{l_2} \right)^2 \frac{\partial P}{\partial \zeta} + \frac{\partial^2 u_\zeta}{\partial \xi^2},$$

$$\frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_\zeta}{\partial \zeta} = 0; \quad \text{Re} = \frac{\delta^2 \omega}{v}.$$

Граничные условия на непроницаемых поверхностях в нулевом приближении по  $\psi$  запишутся в виде:

$$u_\xi = \frac{\partial U_3}{\partial \tau}; \quad u_\theta = 0; \quad u_\zeta = 0 \quad \text{при} \quad \xi = \xi^* = 1 + \lambda U_3;$$

$$u_\xi = \frac{\tilde{w}_m}{w_m} \frac{\partial \tilde{U}_3}{\partial t}; \quad u_\theta = 0; \quad u_\zeta = 0 \quad \text{при} \quad \xi = \tilde{\xi}^* = \tilde{\lambda} \tilde{U}_3, \quad \text{где} \quad \tilde{\lambda} = \frac{\tilde{w}_m}{w_m} \lambda. \quad (4)$$



Рассмотрим случай, когда ширина торцевой щели  $a$  значительно больше ширины цилиндрической щели  $\delta$  ( $a \gg \delta$ ).

Условия для редуцированного давления  $P$  при свободном истечении жидкости из цилиндрической щели в торцевые:

$$P = 0 \quad \text{при } \zeta = \pm 1. \quad (5)$$

Уравнения динамики корпусов силового цилиндра и плунжера в безразмерных переменных (2) с учетом условия  $\psi \ll 1$  запишутся в виде:

$$\begin{aligned} & \frac{c^2 \rho_0 h_0}{R^2} \left\{ \left( \frac{2R}{l_2} \right) u_m \frac{\partial^2 U_1}{\partial \zeta^2} + \frac{1 - \mu_0}{2} u_m \frac{\partial^2 U_1}{\partial \theta^2} - \frac{1 + \mu_0}{2} \left( \frac{2R}{l_2} \right) v_m \frac{\partial^2 U_2}{\partial \zeta \partial \theta} - \mu_0 \left( \frac{2R}{l_2} \right) w_m \frac{\partial U_3}{\partial \zeta} \right\} - \\ & - \rho_0 h_0 \omega^2 u_m \frac{\partial^2 U_1}{\partial \tau^2} = -q_s \Big|_{\xi = \xi_*}; \\ & \frac{c^2 \rho_0 h_0}{R^2} \left\{ -\frac{1 + \mu_0}{2} \frac{2R}{l_2} u_m \frac{\partial^2 U_1}{\partial \zeta \partial \theta} + \frac{1 - \mu_0}{2} \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 v_m \frac{\partial^2 U_2}{\partial \zeta^2} + v_m \frac{\partial^2 U_2}{\partial \theta^2} + w_m \frac{\partial U_3}{\partial \theta} + \right. \\ & + a_0^2 v_m \left[ 2(1 - \mu_0) \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial^2 U_2}{\partial \theta^2} \right] - a_0^2 w_m \left[ (2 - \mu_0) \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^3 U_3}{\partial \zeta^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 U_3}{\partial \theta^3} \right] \Big\} - \\ & - \rho_0 h_0 \omega^2 \left( \frac{W_{1x1}}{\omega^2} \cos(\theta + \varphi) - \frac{W_{1z1}}{\omega^2} \sin(\theta + \varphi) + v_m \frac{\partial^2 U_2}{\partial \tau^2} \right) = -q_0 \Big|_{\xi = \xi_*}; \\ & \frac{c^2 \rho_0 h_0}{R^2} \left\{ -\mu_0 \frac{2R}{l_2} u_m \frac{\partial U_1}{\partial \zeta} + v_m \frac{\partial U_2}{\partial \theta} - a_0^2 v_m \left[ (2 - \mu_0) \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^3 U_2}{\partial \zeta^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 U_2}{\partial \theta^3} \right] + \right. \\ & + w_m U_3 + a_0^2 w_m \left[ \left( \frac{2R}{l_2} \right)^4 \frac{\partial^4 U_3}{\partial \zeta^4} + 2 \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^4 U_3}{\partial \zeta^2 \partial \theta^2} + \frac{\partial^4 U_3}{\partial \theta^4} \right] \Big\} - \\ & - \rho_0 h_0 \omega^2 \left( \frac{W_{1x1}}{\omega^2} \sin(\theta + \varphi) + \frac{W_{1z1}}{\omega^2} \cos(\theta + \varphi) + w_m \frac{\partial^2 U_3}{\partial \tau^2} \right) = -q_n \Big|_{\xi = \xi_*}, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} q_s &= -\frac{\rho R_2 w_m \omega^2}{\text{Re}} \left( \frac{l_2}{2R_2} \frac{\partial U_\zeta}{\partial \xi} + \lambda \frac{2R_2}{l_2} \frac{\partial U_3}{\partial \zeta} Q \right) \quad q_0 = \frac{\rho R_2 w_m \omega^2}{\text{Re}} \left( \frac{\partial U_\theta}{\partial \xi} + \lambda \frac{\partial U_3}{\partial \theta} Q \right), \\ q_n &= -\frac{\rho R_2 w_m \omega^2}{\text{Re} \psi} Q; \quad Q = \frac{\text{Re} \psi p_0}{\rho R_2 w_m \omega^2} + P - \text{Re} \left[ \frac{\psi E_x}{w_m} f''_{x0}(\tau) \sin(\theta + \varphi) + \frac{\psi E_z}{w_m} f''_{z0}(\tau) \cos(\theta + \varphi) \right], \\ & \frac{\tilde{c}^2 \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0}{R^2} \left\{ \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right) \tilde{u}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_1}{\partial \zeta^2} + \frac{1 - \tilde{\mu}_0}{2} \tilde{u}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_1}{\partial \theta^2} - \frac{1 + \tilde{\mu}_0}{2} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right) \tilde{v}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_2}{\partial \zeta \partial \theta} - \tilde{\mu}_0 \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right) \tilde{w}_m \frac{\partial \tilde{U}_3}{\partial \zeta} \right\} - \\ & - \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \omega^2 \tilde{u}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_1}{\partial \tau^2} = -\tilde{q}_s \Big|_{\xi = \tilde{\xi}_*}; \\ & \frac{\tilde{c}^2 \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0}{\tilde{R}^2} \left\{ -\frac{1 + \tilde{\mu}_0}{2} \frac{2\tilde{R}}{l_2} \tilde{u}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_1}{\partial \zeta \partial \theta} + \frac{1 - \tilde{\mu}_0}{2} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \tilde{v}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_2}{\partial \zeta^2} + \tilde{v}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_2}{\partial \theta^2} + \tilde{w}_m \frac{\partial \tilde{U}_3}{\partial \theta} + \right. \\ & + \tilde{a}_0^2 \tilde{v}_m \left[ 2(1 - \tilde{\mu}_0) \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^2 \tilde{U}_2}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial^2 \tilde{U}_2}{\partial \theta^2} \right] - \tilde{a}_0^2 \tilde{w}_m \left[ (2 - \tilde{\mu}_0) \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^3 \tilde{U}_3}{\partial \zeta^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 \tilde{U}_3}{\partial \theta^3} \right] \Big\} - \\ & - \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \omega^2 \left( \frac{W_{1x1}}{\omega^2} \cos(\theta + \varphi) - \frac{W_{1z1}}{\omega^2} \sin(\theta + \varphi) + \tilde{v}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_2}{\partial \tau^2} \right) = -\tilde{q}_0 \Big|_{\xi = \tilde{\xi}_*}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\tilde{c}^2 \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0}{\tilde{R}^2} \left\{ -\tilde{\mu}_0 \frac{2\tilde{R}}{l_2} \tilde{u}_m \frac{\partial \tilde{U}_1}{\partial \zeta} + \tilde{v}_m \frac{\partial \tilde{U}_2}{\partial \theta} - \tilde{a}_0^2 \tilde{v}_m \left[ (2 - \tilde{\mu}_0) \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^3 \tilde{U}_2}{\partial \zeta^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 \tilde{U}_2}{\partial \theta^3} \right] + \right. \\ & \left. + \tilde{w}_m \tilde{U}_3 + \tilde{a}_0^2 \tilde{w}_m \left[ \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^4 \frac{\partial^4 \tilde{U}_3}{\partial \zeta^4} + 2 \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \frac{\partial^4 \tilde{U}_3}{\partial \zeta^2 \partial \theta^2} + \frac{\partial^4 \tilde{U}_3}{\partial \theta^4} \right] \right\} - \\ & - \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \omega^2 \left( \frac{W_{1x1}}{\omega^2} \sin(\theta + \varphi) + \frac{W_{1z1}}{\omega^2} \cos(\theta + \varphi) + \tilde{w}_m \frac{\partial^2 \tilde{U}_3}{\partial \tau^2} \right) = \tilde{q}_n \Big|_{\xi=\tilde{\xi}_*}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{q}_s &= -\frac{\rho R_2 \tilde{w}_m \omega^2}{\text{Re}} \left( \frac{l_2}{2R_2} \frac{\partial U_\zeta}{\partial \xi} + \tilde{\lambda} \frac{2R_2}{l_2} \frac{\partial \tilde{U}_3}{\partial \zeta} \tilde{Q} \right), \quad \tilde{q}_\theta = \frac{\rho R_2 \tilde{w}_m \omega^2}{\text{Re}} \left( \frac{\partial U_\theta}{\partial \xi} + \tilde{\lambda} \frac{\partial \tilde{U}_3}{\partial \theta} \tilde{Q} \right), \\ \tilde{q}_n &= -\frac{\rho R_2 \tilde{w}_m \omega^2}{\text{Re} \psi} \tilde{Q}, \quad \tilde{Q} = \frac{\text{Re} \psi p_0}{\rho R_2 \tilde{w}_m \omega^2} + P - \text{Re} \left[ \frac{\psi E_x}{\tilde{w}_m} f''_{x0}(\tau) \sin(\theta + \varphi) + \frac{\psi E_z}{\tilde{w}_m} f''_{z0}(\tau) \cos(\theta + \varphi) \right]. \end{aligned}$$

Условия жесткого заземления на торцах внешней и внутренней оболочек запишутся в виде

$$U_1 = U_2 = U_3 = \frac{\partial U_3}{\partial \zeta} = 0 \quad \text{при } \zeta = \pm 1. \quad (8)$$

$$\tilde{U}_1 = \tilde{U}_2 = \tilde{U}_3 = \frac{\partial \tilde{U}_3}{\partial \zeta} = 0 \quad \text{при } \zeta = \pm 1. \quad (9)$$

Таким образом, получена связанная задача упругогидродинамики. Для решения задачи упругогидродинамики (3)-(9) применяется метод возмущений. За малые параметры принимаются относительные прогибы внутренней и внешней оболочек  $\tilde{\lambda}$  и  $\lambda$ , которые считаются величиной, значительно меньше единицы, что применительно к реальным механическим системам действительно имеет место. Введенные в рассмотрение малые параметры  $\tilde{\lambda}$  и  $\lambda$  позволяют линеаризовать задачу. Решение задачи (3)-(9) будем искать в виде:

$$P = P_0 + \lambda P_1 + \dots, \quad (10)$$

$$u_\theta = u_{\theta 0} + \lambda u_{\theta 1} + \dots, \quad u_\zeta = u_{\zeta 0} + \lambda u_{\zeta 1} + \dots, \quad u_z = u_{z 0} + \lambda u_{z 1} + \dots,$$

$$U_1 = U_{10} + \lambda U_{11} + \dots, \quad U_2 = U_{20} + \lambda U_{21} + \dots, \quad U_3 = U_{30} + \lambda U_{31} + \dots,$$

$$\tilde{U}_1 = \tilde{U}_{10} + \tilde{\lambda} \tilde{U}_{11} + \dots, \quad \tilde{U}_2 = \tilde{U}_{20} + \tilde{\lambda} \tilde{U}_{21} + \dots, \quad \tilde{U}_3 = \tilde{U}_{30} + \tilde{\lambda} \tilde{U}_{31} + \dots$$

Разложения (10) подставляются в уравнения (3), (6), (7), в граничные условия (4) со снесением их на невозмущенную поверхность (т.е. разложением в ряд Тейлора искомого величин на этой поверхности), в граничные условия (8), (9). Результатом будет являться связанная система уравнений в нулевом приближении по  $\lambda$  и  $\tilde{\lambda}$ . Для решения получившейся линейной задачи определяется частное решение неоднородных линейных уравнений в виде гармонических функций по времени с коэффициентами, зависящими от координат. Общее решение соответствующих однородных уравнений не определяется и переходный процесс не исследуется, так как в колебательной системе присутствует демпфирующий слой жидкости, взаимодействующий с цилиндрическими оболочками. Наличие демпфирования приводит к тому, что переходный процесс со временем быстро затухает, влияние начальных условий перестает сказываться на колебаниях и возникают установившиеся (периодические или гармонические) вынужденные колебания. Следовательно, при процессах, более длительных, чем переходный, общее решение однородных уравнений и начальные условия можно отбросить с самого начала.

Для решения задачи динамики цилиндрической оболочки применяется метод Бубнова – Галеркина по продольной координате при гармоническом законе по окружной координате, при этом упругие перемещения внутренней и внешней оболочек представляются в виде

$$\begin{aligned}\tilde{u}_{10} &= \tilde{u}_m \tilde{U}_{10} = \tilde{u}_m \zeta (1 - \zeta^2) \{ (\tilde{a}_{10C} \cos \varphi + \tilde{a}_{10S} \sin \varphi) \sin(\tau + \tilde{\varphi}_{u1}) + \tilde{a}_{10O} \}, \\ \tilde{u}_{20} &= \tilde{v}_m \tilde{U}_{20} = \tilde{v}_m (1 - \zeta^2) \{ \tilde{a}_{20S} \cos \varphi + \tilde{a}_{20C} \sin \varphi + \tilde{a}_{20O} \} \sin(\tau + \tilde{\varphi}_{u2}),\end{aligned}\quad (11)$$

$$\begin{aligned}\tilde{u}_{30} &= \tilde{w}_m \tilde{U}_{30} = \tilde{w}_m (1 - \zeta^2)^2 \{ (\tilde{a}_{30C} \cos \varphi + \tilde{a}_{30S} \sin \varphi) \sin(\tau + \tilde{\varphi}_{u3}) + \tilde{a}_{30O} \}, \\ u_{10} &= u_m U_{10} = u_m \zeta (1 - \zeta^2) \{ (a_{10C} \cos \varphi + a_{10S} \sin \varphi) \sin(\tau + \varphi_{u1}) + a_{10O} \}, \\ u_{20} &= v_m U_{20} = v_m (1 - \zeta^2) \{ a_{20S} \cos \varphi + a_{20C} \sin \varphi + a_{20O} \} \sin(\tau + \varphi_{u2}),\end{aligned}\quad (12)$$

$$u_{30} = w_m U_{30} = w_m (1 - \zeta^2)^2 \{ (a_{30C} \cos \varphi + a_{30S} \sin \varphi) \sin(\tau + \varphi_{u3}) + a_{30O} \}.$$

Учтем, что в системе присутствует демпфирование, возникающее за счет жидкости, что приводит к быстрому затуханию собственных колебаний системы и возникновению установившихся вынужденных колебаний одной формы. Поэтому будем предполагать, что колебания механической системы носят гармонический характер

$$f_{x0}(\tau) = \sin(\tau + \varphi_{x0}), \quad f_{z0}(\tau) = \sin(\tau + \varphi_{z0}).$$

Подставляя формулы (11), (12) в уравнения динамики оболочки в нулевом приближении по  $\lambda$ , приравнивая коэффициенты при одинаковых тригонометрических функциях в левой и правой частях этих уравнений и применяя по  $\zeta$  процедуру метода Бубнова – Галеркина в первом приближении, получим систему линейных алгебраических уравнений для определения коэффициентов, входящих в формулы (11), (12). Из полученной системы уравнений определяются необходимые в дальнейшем коэффициенты (данные коэффициенты из-за громоздкости не приводятся). Подставляя полученные коэффициенты в выражения (11), (12), получим следующие выражения для прогибов внутренней и внешней оболочек:

$$\begin{aligned}\tilde{u}_{30} &= -(1 - \zeta^2)^2 p_0 \tilde{R}^2 / \left\{ \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{c}^2 \left[ \frac{16}{21} - \frac{32}{147} \tilde{\mu}_0^2 + 24 \tilde{a}_0^2 \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^4 \right] \right\} + \\ &+ \frac{\text{num}_{\text{inn}}}{\text{den}} (1 - \zeta^2)^2 \times [E_z \omega^2 \cos \theta \sin(\omega\tau + \varphi_{z0} + \tilde{\eta}(\omega)) + E_x \omega^2 \sin \theta \sin(\omega\tau + \varphi_{x0} + \tilde{\eta}(\omega))];\end{aligned}\quad (13)$$

$$\begin{aligned}u_{30} &= (1 - \zeta^2)^2 p_0 R^2 / \left\{ \rho_0 h_0 c^2 \left[ \frac{16}{21} - \frac{32}{147} \mu_0^2 + 24 a_0^2 \left( \frac{2R}{l_2} \right)^4 \right] \right\} + \\ &+ \frac{\text{num}_{\text{out}}}{\text{den}} (1 - \zeta^2)^2 \times [E_z \omega^2 \cos \theta \sin(\omega\tau + \varphi_{z0} + \eta(\omega)) + E_x \omega^2 \sin \theta \sin(\omega\tau + \varphi_{x0} + \eta(\omega))],\end{aligned}\quad (14)$$

где

$$\begin{aligned}\text{num}_{\text{out}} &= a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1^2 \tilde{g}_1^2 b_{33}^2 + 2 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_1 g_1 b_{33} \tilde{b}_{33} + a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 g_1^2 \tilde{b}_{33}^2 + \\ &+ 4 w \varepsilon^2 \tilde{a}_{11} a_{11}^2 d e_1 \tilde{g}_1 g_1 \tilde{g}_2 B_0 + 4 w^2 \varepsilon^4 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1^2 \tilde{g}_1^2 B_0^2 + a_{11}^2 \tilde{g}_1^2 g_1^2; \\ \text{num}_{\text{inn}} &= a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1^2 \tilde{g}_1^2 b_{33}^2 + 2 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_1 g_1 b_{33} \tilde{b}_{33} + a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 g_1^2 \tilde{b}_{33}^2 + \\ &+ 4 w \varepsilon^2 a_{11} \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_1 g_1 g_2 \tilde{B}_0 + 4 w^2 \varepsilon^4 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 g_1^2 \tilde{B}_0^2 + \tilde{a}_{11}^2 \tilde{g}_1^2 g_1^2; \\ \text{den} &= g_2^2 \tilde{g}_2^2 + (288 v^2 B_0 \tilde{B}_0 - 8 w^2 \varepsilon^4 B_0 \tilde{B}_0) \tilde{a}_{11} a_{11} d e_1 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_2 g_2 + \\ &+ (16 w^4 \varepsilon^8 B_0^2 \tilde{B}_0^2 + 2304 w^2 \varepsilon^4 v^2 B_0 \tilde{B}_0^2) \tilde{a}_{11}^2 a_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 d e_1^2 + 144 v^2 d e_1^2 a_{11}^2 \tilde{g}_2^2 B_0^2 + \\ &+ 144 v^2 d \tilde{e}_1^2 \tilde{a}_{11}^2 g_2^2 \tilde{B}_0^2 - 1152 v^2 w \varepsilon^2 a_{11}^2 \tilde{a}_{11} \tilde{g}_2 d \tilde{e}_1 d e_1^2 B_0 \tilde{B}_0 - 1152 v^2 w \varepsilon^2 \tilde{a}_{11} a_{11} g_2 d e_1 d \tilde{e}_1^2 \tilde{B}_0 B_0;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= -\frac{8}{5} \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 - \frac{8}{105} (1 - \mu_0) + \frac{16}{105} \frac{R^2 \omega^2}{c^2}, \quad a_{12} = \frac{4}{15} \frac{2R}{l_2} (1 + \mu_0), \\
 a_{13} &= \frac{64}{105} \frac{2R}{l_2} \mu_0, \quad a_{22} = -\frac{4}{3} \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 (1 + 4a_0^2) (1 - \mu_0) - \frac{16}{15} (1 + a_0^2) + \frac{16}{15} \frac{R^2 \omega^2}{c^2}, \\
 a_{23} &= -\frac{32}{15} \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 (2 - \mu_0) a_0^2 - \frac{32}{35} (1 + a_0^2), \\
 a_{33} &= \frac{256}{315} (1 + a_0^2) + \frac{128}{5} \left( \frac{2R}{l_2} \right)^4 a_0^2 + \frac{512}{105} \left( \frac{2R}{l_2} \right)^2 a_0^2 - \frac{256}{315} \frac{R^2 \omega^2}{c^2} + 2\varepsilon^2 w B_0, \quad b_{33} = -12\nu B_0, \\
 de_1 &= a_{11} a_{22} - a_{12}^2, \quad de_2 = a_{12} a_{13} - a_{11} a_{23}, \quad de_3 = a_{13} a_{22} - a_{12} a_{23}, \\
 de_7 &= a_{33} de_1 - a_{23} de_2 + a_{13} de_3, \quad de_8 = de_7^2 + b_{33}^2 de_1^2, \\
 \tilde{a}_{11} &= -\frac{8}{5} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 - \frac{8}{105} (1 - \tilde{\mu}_0) + \frac{16}{105} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2}, \quad \tilde{a}_{12} = \frac{4}{15} \frac{2\tilde{R}}{l_2} (1 + \tilde{\mu}_0), \quad \tilde{a}_{13} = \frac{64}{105} \frac{2\tilde{R}}{l_2} \tilde{\mu}_0, \\
 \tilde{a}_{22} &= -\frac{4}{3} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 (1 + 4\tilde{a}_0^2) (1 - \tilde{\mu}_0) - \frac{16}{15} (1 + \tilde{a}_0^2) + \frac{16}{15} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2}, \quad \tilde{a}_{23} = -\frac{32}{15} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 (2 - \tilde{\mu}_0) \tilde{a}_0^2 - \frac{32}{35} (1 + \tilde{a}_0^2), \\
 \tilde{a}_{33} &= \frac{256}{315} (1 + \tilde{a}_0^2) + \frac{128}{5} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^4 \tilde{a}_0^2 + \frac{512}{105} \left( \frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \tilde{a}_0^2 - \frac{256}{315} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2} + 2\varepsilon^2 w \tilde{B}_0, \quad \tilde{b}_{33} = -12\nu \tilde{B}_0, \\
 d\tilde{e}_1 &= \tilde{a}_{11} \tilde{a}_{22} - \tilde{a}_{12}^2, \quad d\tilde{e}_2 = \tilde{a}_{12} \tilde{a}_{13} - \tilde{a}_{11} \tilde{a}_{23}, \quad d\tilde{e}_3 = \tilde{a}_{13} \tilde{a}_{22} - \tilde{a}_{12} \tilde{a}_{23}, \quad d\tilde{e}_7 = \tilde{a}_{33} d\tilde{e}_1 - \tilde{a}_{23} d\tilde{e}_2 + \tilde{a}_{13} d\tilde{e}_3, \\
 d\tilde{e}_8 &= d\tilde{e}_7^2 + \tilde{b}_{33}^2 d\tilde{e}_1^2, \quad B_{00} = -\frac{\rho R_2}{\operatorname{Re} \Psi} \left[ \frac{256}{315} - \frac{1}{\sigma^2} \frac{256}{105} + \frac{1}{\sigma^4} \frac{128}{5} - \frac{1}{\sigma^6} 384 Q_1 - \frac{1}{\sigma^2} \frac{128}{15} Q_1 (1 - F) \right], \\
 Q_1 &= 1 - \frac{3}{\sigma} \operatorname{cth} \sigma + \frac{3}{\sigma^2}, \quad F = 1 - \frac{15}{\sigma^3} Q_1 \operatorname{th} \sigma, \quad B_0 = \frac{R^2 \omega^2}{\rho_0 h_0 c^2} B_{00}, \quad \tilde{B}_0 = \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{c}^2} B_{00}, \\
 g_1 &= \frac{16}{15} \frac{R^2}{c^2} \left( \frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_1 - \frac{4}{3} \frac{R^2}{c^2} de_2, \quad \tilde{g}_1 = \frac{16}{15} \frac{\tilde{R}^2}{\tilde{c}^2} \left( \frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) d\tilde{e}_1 - \frac{4}{3} \frac{\tilde{R}^2}{\tilde{c}^2} d\tilde{e}_2, \\
 g_2 &= de_2 + (a_{33} a_{11} + a_{13}^2) de_1, \quad \tilde{g}_2 = d\tilde{e}_2 + (\tilde{a}_{33} \tilde{a}_{11} + \tilde{a}_{13}^2) d\tilde{e}_1.
 \end{aligned}$$

Из формул (13) и (14) находим амплитудные частотные характеристики для внешней и внутренней оболочек

$$A(\omega) = \frac{\operatorname{num}_{\text{out}}}{\operatorname{den}}; \quad (16)$$

$$\tilde{A}(\omega) = \frac{\operatorname{num}_{\text{inn}}}{\operatorname{den}}. \quad (17)$$

Расчеты произведены для модели с параметрами  $R_2=1,775 \cdot 10^{-1}$  м,  $l_2=7,82 \cdot 10^{-1}$  м,  $\delta \delta=2 \cdot 10^{-2}$  м,  $\rho=10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $R_1=1,975 \cdot 10^{-1}$  м,  $\nu=10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $h_0=1,85 \cdot 10^{-2}$  м,  $E=1,6 \cdot 10^{11}$  Па,  $\mu_0=0,25$ ,  $\rho_0=7,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\tilde{h}_0=9,25 \cdot 10^{-2}$  м,  $\tilde{E}=6,96 \cdot 10^{10}$  Па,  $\tilde{\mu}_0=3,4 \cdot 10^{-1}$ ,  $\tilde{\rho}_0=2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Расчеты показывают (табл. 1), что значения резонансных частот и амплитудной частотной характеристики, рассчитанные по формулам (16), (17), практически совпадают на всем диапазоне частот.

В амплитудной частотной характеристике системы наблюдаются шесть резонансных частот, что может быть объяснено именно наличием двух упругих оболочек, у каждой из которых есть свои три резонансные частоты. Следует заметить, что совпадение резонансных частот и значений АЧХ для внутренней и внешней оболочек можно объяснить несжимаемостью жидкости, находящейся между оболочками. Таким образом, в случае, когда в системе вязкая несжимаемая жидкость находится между двумя замкнутыми упругими оболочками со свободным торцевым истечением жидкости, тогда вся система начинает колебаться как единое целое. Тогда подбором материалов и типоразмеров системы можно не только уменьшить величины АЧХ на резонансных частотах, но и сдвинуть резонансы в области более высоких или низких частот.

Таблица 1

Резонансные частоты и величины АЧХ на резонансных частотах для внутренней и внешней оболочек

Частота, Гц	$\tilde{A}(\omega)$ , м	$A(\omega)$ , м
535	$4,66 \cdot 10^{-6}$	$1,72 \cdot 10^{-5}$
1659	$3,77 \cdot 10^{-5}$	$3,49 \cdot 10^{-5}$
4351	$2,04 \cdot 10^{-8}$	$3,01 \cdot 10^{-8}$
6822	$1,23 \cdot 10^{-8}$	$2,16 \cdot 10^{-9}$
7526	$3,15 \cdot 10^{-8}$	$2,92 \cdot 10^{-8}$
9415	$4,70 \cdot 10^{-7}$	$4,24 \cdot 10^{-7}$

Следует отметить, что указанная математическая модель может применяться для описания жидкостных реактивных двигателей, силовых цилиндров с полым плунжером, телескопических шасси и других механических систем, состоящих из двух упругих цилиндрических оболочек и слоя жидкости между ними.

Если в физической модели механической системы, описанной ранее, внутреннюю оболочку считать абсолютно жестким цилиндром, а внешнюю оболочку считать упругой замкнутой цилиндрической оболочкой, то получившаяся механическая модель будет являться физической моделью двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с водяным охлаждением, характерным для дизелей тепловозов с упругой рубашкой или плунжерных пар.

При рассмотрении ДВС дизельных тепловозов с водяным охлаждением необходим учет упругих свойств металлической рубашки, содержащей слой охлаждающей жидкости и абсолютно жесткую гильзу цилиндра. Аналогичный учет необходим также в плунжерных парах, телескопических шасси и многих других механических системах.

Математическая модель ДВС с водяным охлаждением получается из математической модели, описанной выше, путем предельного перехода от упругой внутренней оболочки к абсолютно жесткому внутреннему цилиндру. Математически это означает, что в уравнениях (3)-(9)  $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$  равны нулю. Здесь и далее будем считать, что внутренний цилиндр абсолютно жесткий с параметрами, описанными выше.

Для решения задачи гидроупругости применяется метод, описанный выше. В результате получаем амплитудную частотную характеристику (АЧХ) для прогиба

$$A(\omega) = \frac{4 R^2}{3 c^2} \frac{\left( \frac{4}{5} \left( \frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) d e_1 - d e_2 \right)}{\sqrt{d e_8}} \quad (18)$$

или, разделив на аналогичное выражение при  $\omega=0$ , получим выражение для коэффициента динамичности

$$K(\omega) = \frac{\left( \frac{4}{5} \left( \frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_1 - de_2 \right) / \left( \frac{4}{5} \left( \frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_{10} - de_{20} \right)}{\sqrt{de_8} / \sqrt{de_{80}}}, \quad (19)$$

где  $de_{10} = de_1|_{\omega=0}$ ,  $de_{20} = de_2|_{\omega=0}$ ,  $de_{80} = de_8|_{\omega=0}$ .

Приведем результаты расчета резонансных частот для модели с параметрами, описанными ранее (табл. 2).

Таблица 2

Значения амплитудной частотной характеристики рубашки на резонансных частотах колебаний

$f$ , Гц	$A(\omega)$ , м	$K(\omega)$
592	$2.63 \cdot 10^{-5}$	$8.02 \cdot 10^2$
4152	$1.83 \cdot 10^{-6}$	$5.57 \cdot 10^1$
6827	$-4.42 \cdot 10^{-8}$	$-1.34 \cdot 10^0$

Из проведенного анализа выражений (18) и (19) в колебательной системе «оболочка – жидкость» будут наблюдаться три резонансных частоты.

Величина АЧХ и коэффициента динамичности падает с ростом частоты. Таким образом, самыми опасными являются низкие и средние частоты, т.к. именно на них и происходят наибольшие прогибы оболочки и, следовательно, давление в сдавливаемом слое жидкости на этих частотах будет уменьшаться, а скорость жидкости – увеличиваться, что может приводить к кавитации и, следовательно, к разрушению как упругой рубашки, так и гильзы двигателя.

Если в исходной модели внешнюю оболочку считать жестким цилиндром, а внутреннюю – упругой, то получится модель ДВС упругой гильзы цилиндра [3]. Прodelывая аналогичные действия, получим АЧХ для упругой гильзы цилиндра в следующем виде:

$$\tilde{A}(\omega) = \frac{4}{3} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2} \frac{\frac{4}{5} d\tilde{e}_1 \left( \frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) + d\tilde{e}_2}{\sqrt{d\tilde{e}_8}}, \quad (20)$$

или коэффициент динамичности

$$\tilde{K}(\omega) = \sqrt{\frac{d\tilde{e}_8^0 \left( \frac{4}{5} d\tilde{e}_1 \left( \frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) + d\tilde{e}_2 \right)^2}{d\tilde{e}_8 \left( \frac{4}{5} d\tilde{e}_1^0 \left( \frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) + d\tilde{e}_2^0 \right)^2}}. \quad (21)$$

Приведем результаты расчета резонансных частот для модели с параметрами, описанными ранее (табл. 3).

Таблица 3

Значения амплитудной частотной характеристики рубашки на резонансных частотах колебаний

$f$ , Гц	$\tilde{A}(\omega)$ , м	$\tilde{K}(\omega)$
1006	$-1.07 \cdot 10^{-5}$	$1.50 \cdot 10^2$
6886	$-1.02 \cdot 10^{-6}$	$1.44 \cdot 10^1$
8656	$3.60 \cdot 10^{-7}$	$-5.07 \cdot 10^1$

Таким образом, предложенная математическая модель применима для большого класса объектов, состоящих из упругих, жидких и абсолютно жестких тел, при свободном торцевом истечении жидкости. Объекты такого типа широко применяются на автомобильном, железнодорожном, речном, морском, авиационном транспорте, а также в ракетно-космических системах. Предложенные математические модели позволяют уже на стадии проектирования выявить резонансные частоты и путем изменения типоразмеров механической системы сдвинуть их в область более низких или высоких частот.

*Выполнено при поддержке гранта РФФИ № 06-08-00043а.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. М.: Машгиз, 1963. 696 с.
2. Андрейченко К.П. Динамика гироскопов с цилиндрическим поплавковым подвесом / К.П. Андрейченко, Л.И. Могилевич. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1987. 160 с.
3. Могилевич Л.И. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении / Л.И. Могилевич, В.С. Попов. Саратов: Изд-во СГАУ, 2003. 156 с.
4. Симдянкин А.А. Контактное-силовое взаимодействие деталей цилиндропоршневой группы / А.А. Симдянкин. Саратов: Изд-во СГАУ, 2003. 144 с.

#### **Кондратов Дмитрий Вячеславович –**

кандидат физико-математических наук,  
докторант кафедры «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Могилевич Лев Ильич –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 02.04.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 624.042

**А.В. Чеканин, С.И. Старостенко**

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ОСЕСИММЕТРИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ И КРУЧЕНИИ**

*Публикуются результаты разработки математической модели устойчивости осесимметричных оболочечных конструкций при совместном действии осесимметричного нагружения и кручения. Для расчета используется дискретно-континуальный подход. Дискретным элементом является оболочка вращения. Для анализа используется метод перемещений. Матрицы реакций оболочечных элементов вычисляются с помощью ортогональной прогонки Годунова [1].*

**THIN-SLAB STRUCTURE ROTATION STABILITY MATHEMATICAL MODEL AT AXISYMMETRIC WEIGHTING AND TORSION**

*The article presents the results of the development of the thin-slab structure rotation stability mathematical model at axisymmetric weighting and torsion. A discrete-continuous approach is used for calculation. A discrete element in this model is a shell of rotation. The method of displacements is used for the analysis. The rigidity matrix is constructed by Godunov's orthogonal-sweep procedure [1].*

**1.** Под осесимметричной оболочечной конструкцией понимается конструкция, которую можно аппроксимировать набором оболочек вращения с произвольной формой меридиана, жестко соединенных между собой. Рассматриваются три вида упругих конструкционных материалов, из которых могут быть изготовлены слои оболочек: изотропный; ортотропный; ортотропный перекрестно армированный.

Рассматриваются только оболочки, для которых справедлива гипотеза Кирхгофа-Лява. В основу анализа положен вариант теории тонких оболочек в форме Новожилова [7]. Предполагается, что оболочки могут быть нагружены осесимметричными нагрузками и сдвигающими усилиями  $S^0$ . Будем использовать обозначения, принятые в [3].

**2.** Геометрические соотношения теории оболочек записываются в форме

$$\begin{aligned} E_{11} &= u' + k_1 w + \frac{1}{2} \theta_1^2; & E_{22} &= v^* + \phi u + k_2 w + \frac{1}{2} \theta_2^2; \\ E_{12} &= v' - \phi v + u^* + \theta_1 \theta_2; & K_{11} &= \theta_1'; & K_{22} &= \theta_2^* + \phi \theta_1; \\ K_{12} &= \theta_1^* - \phi \theta_2 + k_2 v'; & K_{21} &= \theta_2' + k_1 (u^* - \phi v), \end{aligned} \tag{1}$$

где  $K_{12} = K_{21}$ ;  $\phi = \phi_{2,1}$ .

Физические соотношения имеют вид

$$N = [C] \varepsilon - D, \tag{2}$$

где

$$\begin{aligned} N &= [T_{11} \quad T_{22} \quad M_{11} \quad M_{22} \quad S \quad H]^T \\ \varepsilon &= [E_{11} \quad E_{22} \quad K_{11} \quad K_{22} \quad E_{12} \quad 2K_{12}]^T \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} D &= [D_{11}^{(0)} \quad D_{22}^{(0)} \quad D_{11}^{(1)} \quad D_{22}^{(1)} \quad 0 \quad 0]^T \\ S &= T_{12} - k_2 M_{21} = T_{21} - k_1 M_{12}; \quad M = M_{12} = M_{21}; \end{aligned}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11}^{(0)} & C_{12}^{(0)} & C_{11}^{(1)} & C_{12}^{(1)} & & \\ C_{21}^{(0)} & C_{22}^{(0)} & C_{21}^{(1)} & C_{22}^{(1)} & & \\ C_{11}^{(1)} & C_{12}^{(1)} & C_{11}^{(2)} & C_{12}^{(2)} & & \\ C_{21}^{(1)} & C_{22}^{(1)} & C_{21}^{(2)} & C_{22}^{(2)} & & \\ & & [0] & & & \\ & & & & B^{(0)} & B^{(1)} \\ & & & & B^{(1)} & B^{(2)} \end{bmatrix}; \tag{4}$$

$$\begin{aligned} C_{11}^{(k)} &= \int_H \frac{E_1}{1 - \mu_1 \mu_2} z^k dz (1 \leftrightarrow 2); & C_{12}^{(k)} &= C_{21}^{(k)} = \int_H \frac{\mu_2 E_1}{1 - \mu_1 \mu_2} z^k dz; \\ B^{(k)} &= \int_H G z^k dz; & D_{11}^{(k)} &= \int_H \frac{E_1}{1 - \mu_1 \mu_2} (\beta_1 - \mu_2 \beta_2) T z^k dz (1 \leftrightarrow 2). \end{aligned} \tag{5}$$



Интегрирование в соотношениях (5) осуществляется по всему пакету оболочек. В качестве координатной поверхности можно выбрать либо срединную поверхность произвольного слоя, либо любую другую поверхность. Предположим, что в координатной поверхности действуют поверхностные нагрузки

$$q = [q_1^* \ q_2^* \ q_3^* \ m_1^* \ m_2^*]^T. \quad (6)$$

Тогда уравнения равновесия имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} T'_{11} + \phi(T_{11} - T_{22}) + S^* + k_1(Q_{11} + M^*) + q_1^* &= 0; \\ S' + 2\phi(S + k_1M) + T_{22}^* + k_2(Q_{22} + M') + q_2^* &= 0; \\ M'_{11} + \phi(M_{11} - M_{22}) + M^* - \underline{T_{11}\theta_1} - \underline{S\theta_2} - Q_{11} + m_1^* &= 0; \\ M' + 2\phi M + M_{22}^* - Q_{22} - \underline{T_{22}\theta_2} - \underline{S\theta_1} + m_2^* &= 0; \\ Q'_{11} + \phi Q_{11} + Q_{22}^* - k_1T_{11} - k_2T_{22} + q_3^* &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Статические граничные условия на контуре записываются в следующем виде:

$$T_{11} = T_{11}^*; \quad S + 2k_2M = T_{12}^*; \quad Q_{11} + M^* = Q_{11}^*; \quad M_{11} = M_{11}^*. \quad (8)$$

Уравнения равновесия (7) и статические граничные условия (8) соответствуют геометрически нелинейным уравнениям равновесия и статическим граничным условиям в проекциях на оси, связанные с недеформируемой координатной поверхностью оболочки вращения.

**3.** Предположим, что начальное (основное) напряженно-деформированное состояние (НДС) тонкостенной оболочки вращения изменяется вследствие приложения некоторой системы внешних воздействий. Вектор компонентов НДС оболочки можно представить в виде суммы компонентов основного (начального) НДС и дополнительного (отклоненного) НДС.

Будем рассматривать не любые отклоненные состояния, а только достаточно близкие к основному. В этом случае дополнительные перемещения, деформации и усилия в оболочках можно считать малыми. В связи с этим нелинейными составляющими в соотношениях, описывающих поведение оболочки в отклоненном состоянии, можно пренебречь и ограничиться линейными слагаемыми. В результате получаем геометрические соотношения для отклоненного состояния:

$$L_1 + \underline{\theta_1^0\theta_1} = 0; \quad L_2 + \underline{\theta_2^0\theta_2} = 0; \quad L_3 + \underline{\theta_1^0\theta_2} + \underline{\theta_2^0\theta_1} = 0; \quad L_i = 0 \quad (i = 4,5,6,7,8), \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} L_1 &= -E_{11} + u' + k_1w; \quad L_2 = -E_{22} + v^* + \phi u + k_2w; \\ L_3 &= -E_{12} + v' - \phi v + i; \quad L_4 = -K_{11} + \theta_1'; \quad L_5 = -K_{22} + \theta_2^* + \phi\theta_1; \\ L_6 &= -K_{12} + \theta_1^* - \phi\theta_2 + k_2v' = -K_{21} + \theta_2' + k_1(u^* - \phi v); \\ L_7 &= -\theta_1 - w' + k_1u; \quad L_8 = -\theta_2 - w^* + k_2v. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь  $L_i (i = 1, \dots, 8)$  являются линейными слагаемыми, не связанными с основным НДС.

Физические соотношения для дополнительного состояния имеют вид

$$-N + [C]\varepsilon - D = 0 \quad (11)$$

совместно с соотношениями (2)-(3).

Для отклоненного состояния кроме уравнений (7) должны быть справедливыми добавочные уравнения

$$\begin{aligned} M_i &= 0 \quad (i = 1,2,3); \quad M_4 - \underline{T_{11}^0\theta_1} - \underline{\theta_1^0T_{11}} - \underline{S^0\theta_2} - \underline{\theta_2^0S} = 0; \\ M_5 - \underline{T_{22}^0\theta_2} - \underline{\theta_2^0S} - \underline{S^0\theta_1} - \underline{\theta_1^0S} &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned}
 M_1 &= T'_{11} + \phi(T_{11} - T_{22}) + S^* + k_1(Q_{11} + M^*); \\
 M_2 &= S' + 2\phi(S + k_1M) + T'_{22} + k_2(Q_{22} + M'); \\
 M_3 &= Q'_{11} + \phi Q_{11} + Q'_{22} - k_1T_{11} - k_2T; \\
 M_4 &= M'_{11} + \phi(M_{11} - M_{22}) + M^* - Q_{11}; \\
 M_5 &= M' + 2\phi M + M^*_{22} - Q_{22}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Здесь  $M_i (i = 1, \dots, 5)$  являются линейными слагаемыми, не связанными с основным НДС. Статические граничные условия на контуре записываются в следующем виде:

$$T_{11} = 0; \quad S + 2k_2M = 0; \quad Q_{11} + M^* = 0; \quad M_{11} = 0. \tag{14}$$

Система 19 линейных однородных дифференциально-алгебраических уравнений (9), (11), (12) с 19 неизвестными

$$\begin{aligned}
 \Phi &= [u \ w \ \theta_1 \ E_{11} \ E_{22} \ K_{11} \ K_{22} \ T_{11} \ T_{22} \ M_{11} \ M_{22} \ Q_{11}]^T; \\
 \Psi &= [v \ \theta_2 \ E_{12} \ K_{12} \ S \ M \ Q_{22}]^T
 \end{aligned} \tag{15}$$

с однородными статическими граничными условиями (14) описывает поведение оболочки при малых ее отклонениях от основного состояния.

4. Для решения системы линейных уравнений (9)-(13) применяем метод Бубнова – Галеркина. Решение этих уравнений ищем в виде рядов

$$\begin{aligned}
 \Phi(\alpha_1, \alpha) &= \Phi_0(\alpha_1) + \sum_{n_1=1}^{\bar{N}_1} \bar{\Phi}_n(\alpha_1) \cos(n_1\alpha) + \sum_{n_1=1}^{\bar{N}_1} \bar{\Phi}_n(\alpha_1) \sin(n_1\alpha); \\
 \Psi(\alpha_1, \alpha) &= \Psi_0(\alpha_1) + \sum_{n_1=1}^{\bar{N}_1} \bar{\Psi}_n(\alpha_1) \sin(n_1\alpha) + \sum_{n_1=1}^{\bar{N}_1} \bar{\Psi}_n(\alpha_1) \cos(n_1\alpha).
 \end{aligned} \tag{16}$$

В результате геометрические соотношения (9) запишутся в виде

$$\begin{aligned}
 L_{1,0} + \theta_1^0 \theta_{1,0} &= 0; \quad \bar{L}_{1,n} + \theta_1^0 \bar{\theta}_{1,n} = 0; \quad \bar{\bar{L}}_{1,n} + \theta_1^0 \bar{\bar{\theta}}_{1,n} = 0; \\
 L_{2,0} + \theta_2^0 \theta_{2,0} &= 0; \quad \bar{L}_{2,n} + \theta_2^0 \bar{\theta}_{2,n} = 0; \quad \bar{\bar{L}}_{2,n} + \theta_2^0 \bar{\bar{\theta}}_{2,n}; \\
 L_{3,0} + \theta_1^0 \theta_{2,0} + \theta_2^0 \theta_{1,0} &= 0; \quad \bar{L}_{3,n} + \theta_1^0 \bar{\theta}_{2,n} + \theta_2^0 \bar{\theta}_{1,n} = 0; \\
 \bar{\bar{L}}_{3,n} + \theta_1^0 \bar{\bar{\theta}}_{2,n} + \theta_2^0 \bar{\bar{\theta}}_{1,n} &= 0; \\
 L_{i,0} = 0; \quad \bar{L}_{i,n} = 0; \quad \bar{\bar{L}}_{i,n} = 0; \quad (i = 4, 5, 6, 7, 8).
 \end{aligned} \tag{17}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 \bar{L}_{1,n} &= -E_{11,n} + u'_n + k_1 w_n; \quad \bar{L}_{2,n} = -E_{22,n} + n v_n + \phi u_n + k_2 w_n; \\
 \bar{L}_{3,n} &= -E_{12,n} + v'_n - \phi v_n - n u_n; \quad \bar{L}_{4,n} = -K_{11,n} + \theta'_{1,n}; \\
 \bar{L}_{5,n} &= -K_{22,n} + n \theta_{2,n} + \phi \theta_{1,n}; \quad \bar{L}_{6,n} = -K_{12,n} - n \theta_{1,n} - \phi \theta_{2,n} + k_2 v'_n; \\
 \bar{L}_{7,n} &= -\theta_{1,n} - w'_n + k_1 u_n; \quad \bar{L}_{8,n} = -\theta_{2,n} + n w_n + k_2 v_n,
 \end{aligned} \tag{18}$$

где  $\bar{n} = n / A_2$ .

Выражения для  $\bar{\bar{L}}_{i,n}$  получаются из выражений для  $\bar{L}_{i,n}$  заменой значения  $\bar{n}$  на  $-\bar{n}$ , а выражения для  $L_{i,0}$  получаются из выражений для  $\bar{L}_{i,n}$  заменой значения  $\bar{n}$  на 0.

Физические соотношения (11) записываются в форме

$$-N_0 + [C] \varepsilon_0 = 0; \quad -\bar{N}_n + [C] \bar{\varepsilon}_n = 0; \quad -\bar{\bar{N}}_n + [C] \bar{\bar{\varepsilon}}_n = 0. \tag{19}$$

Уравнения равновесия (12) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned}
 M_{i,0} &= 0; \quad \bar{M}_{i,n} = 0; \quad \overline{\bar{M}}_{i,n} = 0; \quad (i = 1,2,3) \\
 M_{4,0} - T_{11}^0 \theta_{1,0} - \theta_1^0 T_{11,0} - \underline{\underline{S^0 \theta_{2,0} - \theta_2^0 S_0}} &= 0; \\
 \bar{M}_{4,n} - T_{11}^0 \bar{\theta}_{1,n} - \theta_1^0 \bar{T}_{11,n} - \underline{\underline{S^0 \bar{\theta}_{2,n} - \theta_2^0 \bar{S}_n}} &= 0 \quad (n = 1, \dots, \bar{N}_1); \\
 \overline{\bar{M}}_{4,n} - T_{11}^0 \overline{\bar{\theta}}_{1,n} - \theta_1^0 \overline{\bar{T}}_{11,n} - \underline{\underline{S^0 \overline{\bar{\theta}}_{2,n} - \theta_2^0 \overline{\bar{S}}_n}} &= 0 \quad (n = 1, \dots, \overline{\bar{N}}_1); \\
 M_{5,0} - T_{22}^0 \theta_{2,0} - \theta_1^0 S_0 - \underline{\underline{S^0 \theta_{1,0} - \theta_2^0 T_{22,0}}} &= 0; \\
 \bar{M}_{5,n} - T_{22}^0 \bar{\theta}_{2,n} - \theta_1^0 \bar{S}_n - \underline{\underline{S^0 \bar{\theta}_{1,n} - \theta_2^0 \bar{T}_{22,n}}} &= 0 \quad (n = 1, \dots, \bar{N}_1); \\
 \overline{\bar{M}}_{5,n} - T_{22}^0 \overline{\bar{\theta}}_{2,n} - \theta_1^0 \overline{\bar{S}}_n - \underline{\underline{S^0 \overline{\bar{\theta}}_{1,n} - \theta_2^0 \overline{\bar{T}}_{22,n}}} &= 0 \quad (n = 1, \dots, \overline{\bar{N}}_1).
 \end{aligned} \tag{20}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 \bar{M}_{1,n} &= T'_{11,n} + \phi(T_{11,n} - T_{22,n}) + \bar{n}S_n + k_1(Q_{11,n} + \bar{n}M_n); \\
 \bar{M}_{2,n} &= S'_n + 2\phi(S_n + k_1M_n) - \bar{n}T_{22,n} + k_2(Q_{22,n} + M'_n); \\
 \bar{M}_{3,n} &= Q'_{11,n} + \phi Q_{11,n} + \bar{n}Q_{22,n} - k_1T_{11,n} - k_2T_{22,n}; \\
 \bar{M}_{4,n} &= M'_{11,n} + \phi(M_{11,n} - M_{22,n}) + \bar{n}M_n - Q_{11,n}; \\
 \bar{M}_{5,n} &= M'_n + 2\phi M_n - \bar{n}M_{22,n} - Q_{22,n}.
 \end{aligned} \tag{21}$$

Выражения для  $\overline{\bar{M}}_{i,n}$  получаются из выражений для  $\bar{M}_{i,n}$  заменой значения  $\bar{n}$  на  $-\bar{n}$ , а выражения для  $M_{i,0}$  получаются из выражений для  $\bar{M}_{i,n}$  заменой значения  $\bar{n}$  на 0. Из соотношений (17)-(21) видно, что  $\bar{N}_1$  должно быть равным  $\overline{\bar{N}}_1$  и что эти соотношения распадаются на  $(1 + \bar{N}_1)$  не связанных между собой групп, объединенных одинаковыми индексами  $n$ .

Численное исследование устойчивости оболочек вращения и оболочечных конструкций, составленных из оболочек вращения, при совместном действии осесимметричных нагрузок и кручения имеет две особенности:

- нельзя выделить симметричные и антисимметричные относительно нулевого меридиана формы потери устойчивости; поэтому расчет критических нагрузок сводится к решению задачи о собственных значениях для системы обыкновенных дифференциальных уравнений шестнадцатого порядка;

- все корни характеристического уравнения являются кратными, поскольку одному критическому значению соответствуют две собственные формы, одинаковые, но сдвинутые по окружности на  $\pi/2n$ , где  $n$  – число окружных волн; поэтому характеристический определитель является знакоопределенным, что делает невозможным поиск его корней традиционными методами.

Для решения полученной системы используется метод ортогональной прогонки с промежуточным ортонормированием [1]. Этот метод дает возможность получить решение с любой степенью точности. Это значит, что можно получить практически точное численное значение матрицы и вектора реакций для каждой оболочки, входящей в конструкцию. После определения критической нагрузки можно получить практически точное численное значение формы потери устойчивости.

Разработанные алгоритмы численного исследования устойчивости оболочечных конструкций при совместном действии осесимметричного нагружения и кручения реализованы в виде программы **CR110**, входящей в состав системы автоматизации конструирования и прочностных расчетов тонкостенных осесимметричных конструкций **КИПР-IBM** [4].

Приведем пример исследования с помощью программы **CR110** устойчивости оболочечной конструкции. Рассматривается сфероцилиндрический (цилиндр+2 полусферы) бак (рис. 1) со следующими характеристиками:

$$R = 1193.5 \text{ мм}; \quad L = 2000 \text{ мм}; \quad h = 16 \text{ мм}; \quad E = 20000 \text{ кгс/мм}^2; \quad \mu = 0.3.$$

При **кручении цилиндрической оболочки** и граничных условиях, близких к условиям Навье, критическое значение сдвигающего усилия вычисляется по формуле [2]

$$S^* = 0.74S_{цил}; \quad n^* = \frac{\pi R}{L\vartheta}; \quad \vartheta = \frac{\pi}{3\sqrt{2}(1-\mu^2)^{1/8}} \sqrt[4]{\frac{Rh}{L^2}}, \quad (22)$$

где  $S_{цил} = \frac{Eh}{(1-\mu^2)^{5/8}} \left(\frac{h}{R}\right)^{5/4} \left(\frac{R}{L}\right)^{1/2}$ .

Предположим, что конструкция нагружена погонным сдвигающим усилием

$$S^0 = K_S S_{цил} = K_S \times 1196.0994 \text{ кгс/мм}, \quad (23)$$

приложенным в узле 2.

Кинематические граничные условия при потере устойчивости отсутствуют.

Критическое значение параметра  $K_S$  сдвигающего усилия, вычисленное для цилиндрического участка бака по формуле (22), равно  $K_S^* = 0.74$  (число окружных волн  $n^* = 9$ ). Критическое значение параметра  $K_S$  сдвигающего усилия, вычисленное для бака по разработанному алгоритму, равно  $K_S^* = 0.65665$  (число окружных волн  $n^* = 7$ ). Погрешность расчета по формуле (22) составляет 13.6%.

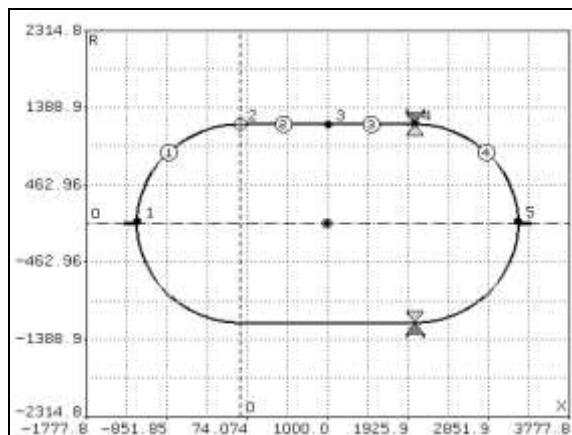


Рис. 1

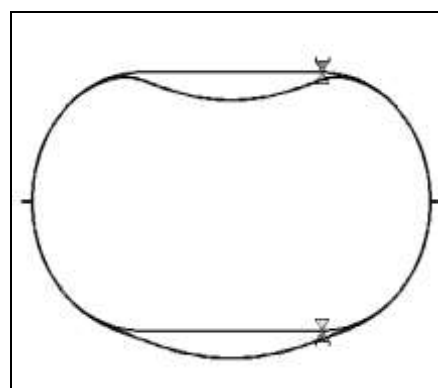


Рис. 2

При **нагружении цилиндрической оболочки** внешним давлением и граничных условиях, близких к условиям Навье, критическое значение внешнего давления определяется по формуле Папковича [2]

$$q_{кр}^{цил} = \frac{\pi\sqrt{6}E}{9(1-\mu^2)^{3/4}} \frac{R}{L} \left(\frac{h}{R}\right)^{5/2}. \quad (24)$$

Пусть далее конструкция нагружена равномерным внешним давлением

$$q = K_q q_{кр}^{ουλ} = K_q \times 0.22791256 \text{ кгс/мм}^2, \quad (25)$$

приложенным к срединным поверхностям оболочек.

Критическое значение параметра  $K_q$  внешнего давления, вычисленное для бака по разработанному алгоритму (программе **CR110**) при отсутствии кинематических граничных условий при потере устойчивости, равно  $K_q^* = 0.89968$  (число окружных волн  $n^* = 5$ ). Это решение во всех знаках совпадает с решением, полученным по программе **CR090** (устойчивость осесимметричных конструкций при осесимметричном нагружении) системы **КИПР-IBM**. Отметим, что программа для этой задачи **CR090** позволяет получить *эталонное* решение [6, 7]. Форма потери устойчивости в сечении бака, расположенном под углом  $\alpha = 18^\circ$  ( $360^\circ/4n^*$ ) к нулевому меридиану, изображена на рис. 2. Если проводить упрощенную оценку устойчивости бака по формуле (24), учитывая лишь цилиндрическую часть бака, то погрешность такого расчета составляет порядка 10%. Критическое значение параметра  $K_q$  внешнего давления, вычисленное для цилиндрического участка бака по формуле (25), равно  $K_q^* = 1$  (число окружных волн  $n^* = 6$ ). Критическое значение параметра  $K_q$  внешнего давления, вычисленное для цилиндрического участка бака по разработанному алгоритму при граничных условиях Навье, равно  $K_q^* = 1.10765$  (число окружных волн  $n^* = 6$ ). Погрешность формулы (24) составляет 10,8%.

Пусть далее конструкция нагружена равномерным внешним давлением

$$q = K_{S,q} q_{кр}^{ουλ} = K_{S,q} \times 0.22791256 \text{ кгс/мм}^2 \quad (26)$$

и погонным сдвигающим усилием

$$S^0 = K_{S,q} S^{ουλ} = K_{S,q} \times 1196.0994 \text{ кгс/мм}, \quad (27)$$

приложенным в узле 2. Кинематические граничные условия при потере устойчивости отсутствуют. Критическое значение параметра  $K_{S,q}$ , вычисленное для бака по разработанному алгоритму, равно  $K_{S,q}^* = 0.45959$  (число окружных волн  $n^* = 6$ ).

При **совместном действии внешнего давления и кручения** имеем [2]

$$\frac{K_{S,q}^*}{0.89968} + \left( \frac{K_{S,q}^*}{0.65665} \right)^2 = 1. \quad (28)$$

Из этого уравнения находим  $K_{S,q}^* = 0.45938$ , что очень хорошо согласуется с более точным решением по разработанному алгоритму  $K_{S,q}^* = 0.45959$ .

Представим внешнюю нагрузку, действующую на конструкцию, в виде

$$S^0 = K_{S,q} K_{kS} K_S^* S^{ουλ} = K_{S,q} K_{kS} K_S^* \times 1196.0994 \text{ кгс/мм};$$

$$q = K_{S,q} K_{kq} K_q^* q_{кр}^{ουλ} = K_{S,q} K_{kq} K_q^* \times 0.22791256 \text{ кгс/мм}^2,$$

где  $K_S^*$  – критическое значение параметра нагружения при действии только сдвигающего усилия;  $K_q^*$  – критическое значение параметра нагружения при действии только внешнего давления;  $K_{S,q}$  – параметр нагружения при совместном действии сдвигающего усилия и внешнего давления;  $K_{kq}$  и  $K_{kS}$  – числовые коэффициенты варьирования нагрузки (изменяются в пределах от 0 до 1).

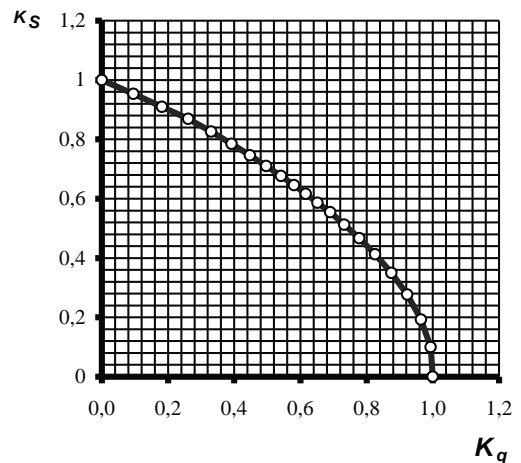


Рис. 3

В этом случае при  $K_{kS}=K_{kq}=1$  и раздельном приложении сдвигающего усилия и внешнего давления критическое значение параметра нагрузки  $K_{S,q}^*$  равняется единице. Для построения кривой взаимодействия внешнего давления и сдвигающего усилия (рис. 3), с помощью программы **CR110** были получены значения параметра  $K_{S,q}^*$  при различных значениях коэффициентов  $K_{kS}$  и  $K_{kq}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Годунов С.К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений / С.К. Годунов // Успехи математических наук. 1961. Т. 16. Вып. 3. С. 171-174.
2. Григолюк Э.И. Устойчивость оболочек / Э.И. Григолюк, В.В. Кабанов. М.: Наука, 1978. 360 с.
3. Мяченков В.И. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ ЕС / В.И. Мяченков, В.П. Мальцев. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
4. Мяченков В.И. Автоматизация конструирования и прочностных расчетов тонкостенных осесимметричных конструкций (КИПР-IBM 3.0): 1. Общее описание системы / В.И. Мяченков, А.В. Чеканин, Г.Н. Ольшанская. М.: МГТУ «Станкин», 2001. 88 с.
5. Мяченков В.И. Автоматизация конструирования и прочностных расчетов тонкостенных осесимметричных конструкций. КИПР-IBM-PC/AT 2.0: Обоснование достоверности. Ч. 1. Линейные задачи / В.И. Мяченков, А.В. Чеканин, Г.Н. Ольшанская. М.: МГТУ «Станкин», 1995. 80 с.
6. Мяченков В.И. Автоматизация конструирования и прочностных расчетов тонкостенных осесимметричных конструкций. КИПР-IBM-PC/AT 2.0: Обоснование достоверности. Ч. 2. Итерационные процессы / В.И. Мяченков, А.В. Чеканин, Г.Н. Ольшанская. М.: МГТУ «Станкин», 1998. 80 с.
7. Новожилов В.В. Теория тонкостенных оболочек / В.В. Новожилов. Л.: Судпромгиз, 1962. 324 с.
8. Павлов А.В. Численное исследование устойчивости оболочечных конструкций при кручении / А.В. Павлов, А.В. Чеканин // Производство. Технология. Экология. «ПРОТЭК-2002»: тр. Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. М.: МГТУ «Станкин», 2002. Т. 2. С. 408-412.

#### **Чеканин Александр Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Сопроотивление материалов»  
Московского государственного технологического университета «Станкин»

#### **Старостенко Сергей Игоревич** –

аспирант кафедры «Сопроотивление материалов»  
Московского государственного технологического университета «Станкин»

*Статья поступила в редакцию 15.11.06, принята к опубликованию 26.12.06*

УДК 533.6.013.42

**В.С. Попов, А.В. Христофорова**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПОРЕ С ТРЕХСЛОЙНЫМ СТАТОРОМ**

*Рассмотрена задача математического моделирования динамических процессов в гидродинамической виброопоре с трехслойным статором со*

сжимаемым заполнителем. Найдены амплитудная частотная и фазовая частотная характеристики рассматриваемой виброопоры, вычислены ее резонансные частоты.

V.S. Popov, A.V. Hristoforova

**DYNAMIC PROCESSES MATHEMATICAL MODELING  
IN HYDRODYNAMIC SUPPORT WITH THREE-LAYER STATOR**

*The article solves the problem of dynamic processes mathematical modeling of the hydrodynamic vibration support with three-layer stator having compressible filler. The amplitude frequency characteristics and phase frequency characteristics of the given vibration support are found; also its resonance frequencies are calculated.*

В современных инженерных конструкциях часто используются трехслойные упругие элементы, которые состоят из двух несущих слоев и заполнителя, обеспечивающего их совместную работу. Применение данных трехслойных элементов позволяет обеспечивать минимальные весовые показатели при сохранении достаточной жесткости и прочности. Вопросам механики трехслойных конструкций посвящено достаточно много работ, например, сошлемся здесь на обзор, представленный в [1]. В то же время работ, посвященных исследованию гидроупругости трехслойных конструкций, практически нет. В предлагаемой работе исследуются динамика трехслойной тонкостенной конструкций в составе гидродинамической опоры в рабочей жидкости, которой поддерживается противодействие.

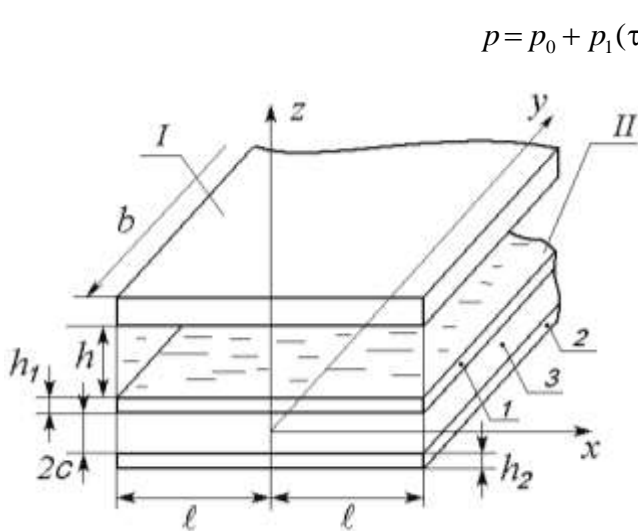
Рассмотрим виброопору, условно представленную на рисунке. Абсолютно твердая стенка I (вибратор) совершает гармонические колебания (с частотой  $\omega$ ) в вертикальном направлении относительно стенки II (статора), представляющей собой трехслойную упругую пластинку с толщинами  $h_1$  и  $h_2$  упругих слоев (слой 1 и 2 соответственно) и  $2c$  сжимаемого заполнителя (слой 3), со свободным опиранием. Длина вибратора I и статора II равна  $2\ell$ , значительно меньше их ширины  $b \gg 2\ell$ . В направлении оси  $y$  эти плоскости можно считать неограниченными и все производные по  $y$  – значительно меньшими производных по  $x$ . Система координат  $x, y, z$  связывается со срединной плоскостью заполнителя. Ширина зазора  $h$  между статором и вибратором значительно меньше их длины  $2\ell \gg h$ . Между статором II и вибратором I находится вязкая несжимаемая жидкость (истечение которой в направлении оси  $y$  отсутствует), в которой поддерживается давление  $p_0 + p_1(\omega t)$ , имеющее постоянную и гармоническую по времени составляющие (противодействие). Закон движения вибратора

$$z = h(t) = h_0 + z_m f(\omega t), f(\omega t) = \sin(\omega t), \tag{1}$$

где  $h_0$  – среднее значение  $h$ ;  $z_m$  – амплитуда колебаний вибратора;  $\omega$  – частота колебаний стенки I;  $t$  – время.

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

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \left[ \frac{\partial U_\xi}{\partial \tau} + \lambda \left( U_\xi \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\xi}{\partial \zeta} \right) \right] &= -\frac{\partial P}{\partial \xi} + \psi^2 \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 U_\xi}{\partial \zeta^2}, \tag{2} \\ \psi^2 \operatorname{Re} \left[ \frac{\partial U_\zeta}{\partial \tau} + \lambda \left( U_\xi \frac{\partial U_\zeta}{\partial \xi} + U_\zeta \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} \right) \right] &= -\frac{\partial P}{\partial \zeta} + \psi^2 \left[ \psi^2 \frac{\partial^2 U_\zeta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 U_\zeta}{\partial \zeta^2} \right], \frac{\partial U_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} = 0, \\ \psi &= \frac{h_0}{\ell} \ll 1, \lambda = \frac{z_m}{h_0}, \operatorname{Re} = \frac{h_0^2 \omega}{\nu}, \tau = \omega t, \xi = \frac{x}{\ell}, \zeta = \frac{z - c - h_1}{h_0}, u_x = z_m \omega \frac{\ell}{h_0} U_\xi, u_z = z_m \omega U_\zeta, \end{aligned}$$



$$p = p_0 + p_1(\tau) + \frac{\rho \nu z_m \omega}{h_0 \psi^2} P,$$

где  $x, z$  – декартовы координаты;  $u_x, u_z$  – проекции вектора скорости жидкости на оси координат;  $p$  – давление;  $p_0$  – постоянный уровень давления;  $p_1(\tau) = p_{1m} \sin(\tau + \varphi_p)$  – гармоническая составляющая уровня давления (противодавление);  $\rho, \nu$  – плотность и коэффициент кинематической вязкости жидкости;  $\psi, \lambda, Re$  – параметры, характеризующие задачу.

Для краевых условий системы (2) учитывается, что скорость жидкости на вибраторе и статоре совпадает со скоростями этих стенок [3, 4]

$$U_\xi = 0, U_\zeta = \frac{df}{d\tau} \text{ при } \zeta = 1 + \lambda f(\tau); \quad (3)$$

$$U_\xi = \psi \frac{u_{m1}}{z_m} \frac{\partial U_1}{\partial \tau}, U_\zeta = \frac{w_{m1}}{z_m} \frac{\partial W_1}{\partial \tau} \text{ при } \zeta = \lambda \frac{w_{m1}}{z_m} W_1,$$

где перемещения срединной плоскости верхнего слоя 1 статора в направлении оси  $Ox$  и  $Oz$  представлены в форме  $u_1 = u_{m1} U_1(\xi, \tau), w_1 = w_m W_1(\xi, \tau)$ .

Условие свободного истечения жидкости в направлении оси  $x$  и в противоположном направлении принимают вид для давления

$$P = 0 \text{ при } \xi = 1; \quad \frac{\partial P}{\partial \xi} = 0 \text{ при } \xi = 0. \quad (4)$$

Второе условие является условием симметрии задачи и заменяет условие  $P = 0$  при  $\xi = -1$ .

Для изотропных несущих слоев статора приняты гипотезы Кирхгофа, в жестком заполнителе принята линейная аппроксимация перемещений его точек от поперечной координаты  $z$ . На границах контакта используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоев несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается его обжатие, деформации малые [1].

Уравнения динамики статора имеют вид для балки-полоски (трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем) [1]

$$\begin{aligned} F_1 + a_1 u_1 - a_1 u_2 - a_4 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - a_5 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial w_1}{\partial x} + a_3 \frac{\partial w_2}{\partial x} - 2a_6 \frac{\partial^3 w_1}{\partial x^3} + a_7 \frac{\partial^3 w_2}{\partial x^3} &= P_{xx}; \\ F_2 - a_1 u_1 + a_1 u_2 - a_5 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - a_9 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} - a_3 \frac{\partial w_1}{\partial x} - a_2 \frac{\partial w_2}{\partial x} - a_6 \frac{\partial^3 w_1}{\partial x^3} + 2a_7 \frac{\partial^3 w_2}{\partial x^3} &= 0; \\ F_3 - a_{17} \frac{\partial u_1}{\partial x} + a_{10} \frac{\partial u_2}{\partial x} + 2a_6 \frac{\partial^3 u_1}{\partial x^3} + a_6 \frac{\partial^3 u_2}{\partial x^3} + a_{11} \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} - a_{12} \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + a_{15} \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} - a_{16} \frac{\partial^4 w_2}{\partial x^4} + \\ + a_8 w_1 - a_8 w_2 &= P_{zz} + \frac{1}{2} h_1 \frac{\partial P_{xx}}{\partial x}; \\ F_4 - a_{18} \frac{\partial u_1}{\partial x} + a_{19} \frac{\partial u_2}{\partial x} - a_7 \frac{\partial^3 u_1}{\partial x^3} - 2a_7 \frac{\partial^3 u_2}{\partial x^3} - a_{12} \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + a_{14} \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} - a_{16} \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} + a_{13} \frac{\partial^4 w_2}{\partial x^4} - \\ - a_8 w_1 + a_8 w_2 &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$



$$P_{zz} = -p_0 - p_1(\tau) - \frac{\rho v z_m \omega}{h_0 \psi^2} \left( P - 2\psi^2 \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} \right) \text{ при } \zeta = \lambda \frac{w_{m1}}{z_m} W_1 = \frac{\lambda}{z_m} w_1.$$

$$P_{zx} = \frac{\rho v z_m \omega}{h_0 \psi} \left( \frac{\partial U_\xi}{\partial \zeta} + \psi^2 \frac{\partial U_\zeta}{\partial \xi} \right) \text{ при } \zeta = \lambda \frac{w_{m1}}{z_m} W_1 = \frac{\lambda}{z_m} w_1.$$

Здесь обозначены:  $\rho_k$  – плотность материала;  $G_k, K_k$  – модули сдвиговой и объемной деформации;  $k = 1, 2, 3$  – номер слоя;  $K_k^+ = K_k + \frac{4}{3}G_k$ ,  $K_k^- = K_k - \frac{4}{3}G_k$ . При этом введены обозначения:

$$a_1 = \frac{2G_3}{c}; a_2 = 2G_3 \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) - \frac{K_3^-}{2}; a_3 = 2G_3 \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2};$$

$$a_4 = K_1^+ h_1 + \frac{2K_3^+ c}{3}; a_5 = \frac{K_3^+ c}{3}; a_6 = \frac{K_3^+ c h_1}{6}; a_7 = \frac{K_3^+ c h_2}{6};$$

$$a_8 = \frac{K_3^+}{2c}; a_9 = K_2^+ h_2 + \frac{2K_3^+ c}{3}; a_{10} = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2};$$

$$a_{11} = \frac{K_3^- h_1}{2} - \frac{G_3 c}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) - \frac{G_3 c}{6}; a_{12} = \frac{K_3^- (h_1 + h_2)}{4} + \frac{G_3 c}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) - \frac{G_3 c}{6};$$

$$a_{13} = \frac{K_2^+ h_2^3}{12} + \frac{K_3^+ c h_2^2}{6}; a_{14} = \frac{K_3^- h_2}{2} - \frac{G_3 c}{2} \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) - \frac{G_3 c}{6}; a_{15} = \frac{K_1^+ h_1^3}{12} + \frac{K_3^+ c h_1^2}{6};$$

$$a_{16} = \frac{K_3^+ c h_2 h_1}{12}; a_{17} = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) - \frac{K_3^-}{2}; a_{18} = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2}; a_{19} = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) - \frac{K_3^-}{2}.$$

Инерционные члены определяются соотношениями [1]:

$$F_1 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( m_1 u_1 + m_8 u_2 + 2m_5 \frac{\partial w_1}{\partial x} - m_7 \frac{\partial w_2}{\partial x} \right); F_2 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( m_8 u_1 + m_2 u_2 + m_5 \frac{\partial w_1}{\partial x} - 2m_7 \frac{\partial w_2}{\partial x} \right);$$

$$F_3 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( -2m_5 \frac{\partial u_1}{\partial x} - m_5 \frac{\partial u_2}{\partial x} + m_1 w_1 + m_8 w_2 - m_3 \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + m_6 \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} \right); \quad (6)$$

$$F_4 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( m_7 \frac{\partial u_1}{\partial x} + 2m_7 \frac{\partial u_2}{\partial x} + m_8 w_1 + m_2 w_2 + m_6 \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} - m_4 \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} \right),$$

где

$$m_1 = \rho_1 h_1 + \frac{2}{3} \rho_3 c; m_2 = \rho_2 h_2 + \frac{2}{3} \rho_3 c; m_3 = \frac{\rho_1 h_1^3}{12} + \frac{\rho_3 c h_1^2}{6}; m_4 = \frac{\rho_2 h_2^3}{12} + \frac{\rho_3 c h_2^2}{6};$$

$$m_5 = \frac{\rho_3 c h_1}{6}; m_6 = \frac{\rho_3 c h_1 h_2}{12}; m_7 = \frac{\rho_3 c h_2}{6}; m_8 = \frac{\rho_3 c}{3}.$$

Краевые условия свободного опирания:

$$w_k = \frac{\partial u_k}{\partial x} = \frac{\partial^2 w_k}{\partial x^2} = 0 \text{ при } x = \pm \ell, (k=1,2). \quad (7)$$

Одно из условий, например при  $x = -\ell$ , можно заменить условием симметрии:

$$u_k = \frac{\partial w_k}{\partial x} = \frac{\partial^3 w_k}{\partial x^3} = 0 \text{ при } x = 0.$$

Для тонкого слоя жидкости  $\psi \ll 1$ . В нулевом приближении по  $\psi$  уравнения динамики жидкости (2) и соответствующие граничные условия (3) упрощаются, т.к. в них можно положить  $\psi=0$ .

Далее предполагаем, что перемещения вибратора значительно меньше ширины зазора между статором I и вибратором II, но одного порядка с прогибом  $w_1$ . Следовательно,  $\lambda=O(1)$ ,  $z_m/w_{m1}=O(1)$ . Тогда в нулевом приближении по  $\lambda$ , полагая:  $P=P_0+\lambda P_1+\dots$ ,  $U_\xi=U_{\xi 0}+\lambda U_{\xi 1}+\dots$ ,  $U_\zeta=U_{\zeta 0}+\lambda U_{\zeta 1}+\dots$ , получим задачу механики жидкости в виде уравнений

$$\operatorname{Re} \frac{\partial U_{\xi 0}}{\partial \tau} = -\frac{\partial P_0}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 U_{\xi 0}}{\partial \zeta^2} = 0, \quad \frac{\partial P_0}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial U_{\xi 0}}{\partial \xi} + \frac{\partial U_{\zeta 0}}{\partial \zeta} = 0 \quad (8)$$

и граничных условий:

$$U_{\xi 0} = 0, \quad U_{\zeta 0} = \frac{df}{d\tau} \text{ при } \zeta = 1; \quad U_{\xi 0} = 0, \quad U_{\zeta 0} = \frac{w_{m1}}{z_m} \frac{\partial W_1}{\partial \tau} \text{ при } \zeta = 0; \quad (9)$$

$$P_0 = 0 \text{ при } \xi = 1; \quad \frac{\partial P_0}{\partial \xi} = 0 \text{ при } \xi = 0.$$

При этом напряжения со стороны слоя жидкости на статоре принимают вид:

$$P_{zx} = \frac{\rho \nu z_m \omega}{h_0 \psi} \frac{\partial U_{\xi 0}}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=0}, \quad P_{zz} = -p_0 - p_1(\tau) - \frac{\rho \nu z_m \omega}{h_0 \psi^2} P_0 \Big|_{\zeta=0} \quad (10)$$

и очевидно, что  $P_{zz} \gg P_{zx}$  и касательным напряжением  $P_{zx}$  можно пренебречь, полагая его равным нулю в уравнениях (5) с принятой точностью по  $\psi$ . Решение задачи динамики жидкости (8), (9) при гармоническом законе движения вибратора имеет вид:

$$P_0 = \frac{1}{2} (\xi^2 - 1) \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{d^2 f}{d\tau^2} + 12\gamma \frac{df}{d\tau} \right) + \frac{w_{m1}}{z_m} \int_0^\xi \int_0^\xi \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{\partial^2 W_1}{\partial \tau^2} + 12\gamma \frac{\partial W_1}{\partial \tau} \right) d\xi d\xi, \quad (11)$$

здесь введены обозначения [3]:  $\alpha(\omega) = r_1 / (r_1^2 + r_2^2)$ ,  $\gamma(\omega) = -\varepsilon^2(\omega) r_2 / (6(r_1^2 + r_2^2))$ ,  $\varepsilon(\omega) = \sqrt{\operatorname{Re} / 2}$ ,  $r_1 = 1 + (r_3 - r_4) / \varepsilon(\omega)$ ,  $r_2 = (r_3 + r_4) / \varepsilon(\omega)$ ,  $r_3 = -\operatorname{sh} \varepsilon(\omega) / (\operatorname{ch} \varepsilon(\omega) + \cos \varepsilon(\omega))$ ,  $r_4 = \sin \varepsilon(\omega) / (\operatorname{ch} \varepsilon(\omega) + \cos \varepsilon(\omega))$ .

Очевидно, что  $\alpha \rightarrow 1, 2$ , а  $\gamma \rightarrow 1$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$ , для сильно вязкой жидкости и малых частотах  $\omega$ , и  $\alpha \rightarrow 1$ , а  $\gamma \rightarrow (1/6)\varepsilon\varepsilon$  при  $\varepsilon \rightarrow \infty$ , для маловязкой жидкости и больших частотах  $\omega$ .

Учитывая краевые условия (7), решение уравнений динамики статора (5) представим в виде:

$$u_k = \sum_{m=0}^{\infty} T_k^m(\omega t) \sin \frac{2m+1}{2} \pi \frac{x}{\ell} = u_{mk} U_k, \quad w_k = \sum_{m=0}^{\infty} R_k^m(\omega t) \cos \frac{2m+1}{2} \pi \frac{x}{\ell} = w_{mk} W_k. \quad (12)$$

Разложим все функции от  $\xi$ , входящие в формулу  $P_{zz}$  в ряды по  $\cos \frac{2m+1}{2} \pi \xi$  и получим:

$$P_{zz} = \sum_{m=0}^{\infty} \left\langle \frac{4(-1)^{m+1}}{(2m+1)\pi} \left\{ p_0 + p_1(\tau) - \frac{\rho \nu \omega}{h_0 \psi^2} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^2 \left( \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{\omega^2} \frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{12\gamma}{\omega} \frac{dh}{dt} \right) \right\} - \right. \quad (13)$$

$$\left. - \frac{\rho \nu \omega}{h_0 \psi} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^2 \left( \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{\omega^2} \frac{d^2 R_1^m}{dt^2} + \frac{12\gamma}{\omega} \frac{dR_1^m}{dt} \right) \right\rangle \cos \frac{2m+1}{2} \pi \frac{x}{\ell}.$$

Подставляя (12), (13) в уравнения (5), в которых положено  $P_{zx} = 0$ , и приравнявая коэффициенты при одинаковых тригонометрических функциях, получим систему четырех обыкновенных дифференциальных уравнений, которая с учетом гармонического закона вибрации и, следовательно, с учетом зависимостей:

$$\frac{d^2 T_k^m}{dt^2} = -\omega^2 T_k^m, \quad \frac{d^2 R_k^m}{dt^2} = -\omega^2 R_k^m, \quad (k=1,2)$$

принимает вид:

$$\begin{aligned} b_{11} T_1^m + b_{12} T_2^m + b_{13} R_1^m + b_{14} R_2^m &= 0, \\ b_{21} T_1^m + b_{22} T_2^m + b_{23} R_1^m + b_{24} R_2^m &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

$$b_{31} T_1^m + b_{32} T_2^m + b_{33} R_1^m + b_{34} R_2^m + 2K_m \frac{dR_1^m}{dt} = \frac{4(-1)^{m+1}}{(2m+1)\pi} \left[ p_0 + p_1(\tau) - M_m \frac{d^2 h}{dt^2} - 2K_m \frac{dh}{dt} \right];$$

$$b_{41} T_1^m + b_{42} T_2^m + b_{43} R_1^m + b_{44} R_2^m = 0,$$

где принято:  $M_m = \frac{\rho v \omega}{h_0 \psi^2} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^2 \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{\omega^2}$ ;  $2K_m = \frac{12\gamma \omega}{2\varepsilon^2 \alpha} M_m$ ;

$$b_{11} = a_1 + a_4 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - m_1 \omega^2; \quad b_{12} = -a_1 + a_5 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - m_8 \omega^2,$$

$$b_{13} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ -a_2 - 2a_6 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + 2m_5 \omega^2 \right]; \quad b_{14} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ -a_3 + a_7 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - m_7 \omega^2 \right],$$

$$b_{21} = -a_1 + a_5 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - m_8 \omega^2, \quad b_{22} = a_1 + a_9 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - m_2 \omega^2,$$

$$b_{23} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ a_3 - a_6 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + m_5 \omega^2 \right]; \quad b_{24} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ a_2 + 2a_7 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - 2m_7 \omega^2 \right],$$

$$b_{31} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ a_{17} - 2a_6 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + 2m_5 \omega^2 \right]; \quad b_{32} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ a_{10} - a_6 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + m_5 \omega^2 \right];$$

$$b_{33} = a_8 - a_{11} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + a_{15} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^4 - \left[ m_1 + m_3 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + M_m \right] \omega^2;$$

$$b_{34} = -a_8 + a_{12} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - a_{16} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^4 - \left[ m_8 - m_6 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 \right] \omega^2;$$

$$b_{41} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ -a_{18} + a_7 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - m_7 \omega^2 \right]; \quad b_{42} = \frac{2m+1}{2\ell} \pi \left[ a_{19} + 2a_7 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - 2m_7 \omega^2 \right];$$

$$b_{43} = -a_8 + a_{12} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 - a_{16} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^4 - \left[ m_8 - m_3 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 \right] \omega^2;$$

$$b_{44} = a_8 - a_{14} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 + a_{13} \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^4 - \left[ m_2 + m_4 \left( \frac{2m+1}{2\ell} \pi \right)^2 \right] \omega^2.$$

Из первого, второго и четвертого уравнений системы (14) находим:

$$T_1^m = -\frac{D_1}{D} R_1^m, \quad T_2^m = -\frac{D_2}{D} R_1^m, \quad R_2^m = -\frac{D_4}{D} R_1^m,$$

$$D = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{14} \\ b_{12} & b_{22} & b_{24} \\ b_{41} & b_{42} & b_{44} \end{vmatrix}; \quad D_1 = \begin{vmatrix} b_{13} & b_{12} & b_{14} \\ b_{23} & b_{22} & b_{24} \\ b_{43} & b_{42} & b_{44} \end{vmatrix}; \quad D_2 = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{23} & b_{24} \\ b_{41} & b_{43} & b_{44} \end{vmatrix}, \quad D_4 = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} \end{vmatrix}. \quad (15)$$

Подставляя формулы (15) в третье уравнение системы (14), будем иметь одно уравнение:

$$2K_m \frac{dR_1^m}{dt} + C_3^m R_1^m = \frac{4(-1)^{m+1}}{(2m+1)\pi} \left[ p_0 + p_1(\tau) - M_m \frac{d^2h}{dt^2} - 2K_m \frac{dh}{dt} \right],$$

$$C_3^m = b_{33} - b_{31} \frac{D_1}{D} - b_{32} \frac{D_2}{D} - b_{34} \frac{D_4}{D}. \quad (16)$$

Находим частное решение соответствующее гармоническому закону вибрации (1)

$$R_1^m = \frac{4(-1)^{m+1}}{(2m+1)\pi} \left[ \frac{p_0}{C_{30}^m} + A_1(\omega) p_{1m} \sin(\omega t + \varphi_p + \psi_1) + A(\omega) z_m \sin(\omega t + \psi_1 + \psi_2) \right], \quad (17)$$

здесь  $C_{30}^m = C_3^m|_{\omega=0}$ , амплитудно-частотная характеристика  $A(\omega)$  и фазовые частотные характеристики  $\psi_1, \psi_2$  определены формулами:

$$A_1(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(C_3^m)^2 + 4K_m^2 \omega^2}}, \quad A(\omega) = \sqrt{\frac{M_m^2 \omega^4 + 4K_m^2 \omega^2}{(C_3^m)^2 + 4K_m^2 \omega^2}}, \quad (18)$$

$$\psi_1 = -\arctg \frac{2K_m \omega}{C_3^m}, \quad \psi_2 = -\arctg \frac{2K_m \omega}{M_m \omega^2} = -\arctg \frac{12\gamma}{2\varepsilon^2 \alpha}.$$

При этом:  $A(0) = 0, \lim_{\omega \rightarrow \infty} A(\omega) = 1, A_1(0) = 1, \lim_{\omega \rightarrow \infty} A_1(\omega) = 0$ , следовательно:

$$w = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{4(-1)^{m+1}}{(2m+1)\pi} \left[ \frac{p_0}{C_{30}^m} + \frac{1}{\sqrt{(C_3^m)^2 + 4K_m^2 \omega^2}} p_{1m} \sin(\omega t + \varphi_p + \psi_1) + \sqrt{\frac{M_m^2 \omega^4 + 4K_m^2 \omega^2}{(C_3^m)^2 + 4K_m^2 \omega^2}} z_m \sin(\omega t + \psi_1 + \psi_2) \right] \cos \frac{2m+1}{2\ell} \pi x. \quad (19)$$

С учетом найденного прогиба (19) выражение для давления в сдавливаемом слое жидкости записывается в следующем виде

$$p = p_0 + p_1(\tau) + \frac{\rho v \omega}{h_0 \psi^2} \left\{ \frac{1}{2} (\xi^2 - 1) \left( 2\varepsilon^2 \alpha \frac{d^2h}{d\tau^2} + 12\gamma \frac{dh}{d\tau} \right) + \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^3 2(-1)^{m+1} \cos \frac{2m+1}{2\ell} \pi x \left\{ 2\varepsilon^2 \alpha \left[ -A_1(\omega) \left( p_1 \cos \varphi_1 + \frac{dp_1}{d\tau} \sin \varphi_1 \right) - A(\omega) \left( \frac{dh}{d\tau} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \frac{d^2h}{d\tau^2} \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \right) \right] + 12\gamma \left[ A_1(\omega) \left( \frac{dp_1}{d\tau} \cos \varphi_1 - p_1 \sin \varphi_1 \right) + A(\omega) \left( \frac{d^2h}{d\tau^2} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{dh}{d\tau} \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \right) \right] \right\} \right\}. \quad (20)$$

Учитывая выражение (20), находим силу, действующую на вибратор со стороны сдавливаемого слоя жидкости

$$N = bl \int_{-1}^1 p d\xi = - \left( M\omega^2 \frac{d^2h}{d\tau^2} + 2K\omega \frac{dh}{d\tau} \right) + 2bl \left( p_0 + (1 + \Phi) p_1(\tau) + \Psi \omega \frac{dp_1(\tau)}{d\tau} \right), \quad (21)$$

здесь обозначено

$$M\omega^2 = 2bl \frac{\rho v \omega}{h_0 \psi^2} \left[ \frac{2\varepsilon^2 \alpha}{3} + 2 \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^4 A(\omega) (2\varepsilon^2 \alpha \cos(\psi_1 + \psi_2) + 12\gamma \sin(\psi_1 + \psi_2)) \right],$$

$$2K\omega = 2bl \frac{\rho v \omega}{h_0 \psi^2} \left[ 4\gamma + 2 \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^4 A(\omega) (12\gamma \cos(\psi_1 + \psi_2) - 2\varepsilon^2 \alpha \sin(\psi_1 + \psi_2)) \right],$$

$$\Phi = \frac{2\rho v \omega}{h_0 \psi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^4 A_1(\omega) (2\varepsilon^2 \alpha \cos \psi_1 + 12\gamma \sin \psi_1),$$

$$\Psi \omega = \frac{2\rho v \omega}{h_0 \psi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^4 A_1(\omega) (2\varepsilon^2 \alpha \sin \psi_1 - 12\gamma \cos \psi_1).$$

Найденное решение позволяет определять резонансные частоты колебаний опор и предложить подходы для улучшения их характеристик.

Проведем расчет резонансных колебаний основной моды ( $m=0$ ) при параметрах [1,3,4]:  $h_0/2l = 0,09$ ;  $h_1/2l = 0,02$ ;  $c/2l = 0,09$ ;  $h_2/2l = 0,04$ ;  $l = 1$  м;  $\rho = 1,84 \cdot 10^3$  кг/м<sup>2</sup>;  $\rho_1 = \rho_2 = 2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_3 = 2,15 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\nu = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с;  $G_1 = -G_2 = 2,67 \cdot 10^{10}$  Па;  $G_3 = 9 \cdot 10^7$  Па;  $K_1 = K_2 = 8 \cdot 10^{10}$  Па;  $K_3 = 4,7 \cdot 10^9$  Па. По формулам (18) определяются три резонансные частоты:  $\omega_1 = 4633,21$  рад/с, при этом  $A(\omega_1) = 546,94$ ,  $A'_1(\omega_1) = 1,97$ ;  $\omega_2 = 6601,98$  рад/с, при этом  $A(\omega_2) = 653,07$ ,  $A'_1(\omega_2) = 1,16$ ;  $\omega_3 = 8310,01$  рад/с, при этом  $A(\omega_3) = 732,82$ ,  $A'_1(\omega_3) = 0,82$ . В представленных результатах приведена безразмерная характеристика  $A'_1(\omega)$ , которая представляет собой отношение характеристики  $A_1(\omega)$  к ее значению при нулевой частоте  $A_1(0) = 0,31 \cdot 10^{-8}$  м/Па (т.е. отношение амплитуд вынужденных колебаний статора к его прогибу при  $\omega = 0$ ).

Переходя к однослойному статору из такого же материала, что и несущие слои, такой же толщины, что и трехслойный, получим одну резонансную частоту  $\omega = 905,28$  рад/с, при этом  $A(\omega) = 241,20$  и  $A'_1(\omega) = 304,87$  (в расчетах учтено, что  $A_1(0) = 0,23 \cdot 10^{-9}$  м/Па).

Проведенное моделирование показывает, что опора с упругим трехслойным статором с сжимаемым заполнителем имеет три резонансные частоты, однослойная – только одну, и коэффициенты динамичности большие, чем для однослойных. Для жидкости с меньшей плотностью и вязкостью резонансные частоты незначительно возрастают, а коэффициенты динамичности растут очень сильно.

*Выполнено при поддержке гранта Президента РФ МД-234.2000.7.8.*

## 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. Кочин Н.Е. Теоретическая гидромеханика / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. М.: Физматгиз, 1963. Т. 1. 727 с.
3. Могилевич Л.И. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении / Л.И. Могилевич, В.С. Попов. Саратов: Изд-во СГАУ, 2003. 156 с.
4. Аэрогидроупругость конструкций / А.Г. Горшков, В.И. Морозов, А.Т. Пономарев, Ф.Н. Шклярчук. М.: Физматлит, 2000. 591 с.

### **Попов Виктор Сергеевич –**

доктор технических наук,  
профессор кафедры «Гидравлика, гидравлические машины и водоснабжение»  
Саратовского государственного технического университета

### **Христофорова Алевтина Владимировна –**

аспирант кафедры «Гидравлика, гидравлические машины и водоснабжение»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 22.11.06, принята к опубликованию 26.12.06*

М.Д. Элькин, А.Б. Осин, О.В. Колесникова

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ КООРДИНАТЫ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКЕ

*Рассмотрено использование естественных координат в молекулярной динамике для анализа адиабатических потенциалов сложных молекулярных соединений.*

M.D. Elkin, A.B. Osin, O.V. Kolesnikova

## NATURAL COORDINATES IN MOLECULAR DYNAMICS

*Use of natural coordinates in molecular dynamics for the analysis of adiabatic potentials of complex molecular connections is considered here.*

**Введение.** Использование естественных координат в молекулярной динамике для анализа адиабатических потенциалов сложных молекулярных соединений продиктовано, прежде всего, тем, что они имеют ясный физический смысл. Это изменение значений геометрических параметров в молекуле: длин валентных связей и углов, двугранных углов между молекулярными фрагментами сложных систем и комплексов по сравнению с их опорными значениями. Поэтому становится возможным применение различных аддитивных схем для предсказания химических и физических свойств сложных природных соединений, анализ поведения указанных свойств для рассматриваемых молекулярных фрагментов в рядах родственных по электронной структуре соединений. Особое значение в таких исследованиях имеют методы оптической физики и аналитической химии. Теоретической основой этих методов, применительно к молекулярным системам, является квантовая механика молекул – квантовая химия [1], которая исходит из известного модельного уравнения

$$\hat{H}\Psi_{ns} = E\Psi_{ns}; \quad (1)$$

$$\hat{H} = \hat{H}_e + \hat{T}_q,$$

где  $\Psi_{ns} = \Psi_{ns}(q, x)$  – искомая волновая функция;  $n$  и  $s$  – квантовые числа электронной подсистемы и ядерной подсистем соответственно;  $x$  и  $q$  – координаты электронов и ядер.

Приближенное решение уравнения (1) осуществляется в адиабатическом приближении [2], для чего сначала решается уравнение Шредингера для электронной подсистемы:

$$\hat{H}_e F_k = \varepsilon_k F_k, \quad (2)$$

где  $k$  – квантовые числа для электронного уровня;  $\varepsilon_k$  – адиабатический потенциал  $k$ -го электронного состояния

$$\varepsilon_k = \int F_k^* \hat{H}_e F_k dx, \quad \int F_k^* F_n dx = \delta_{nk}, \quad F_k = F_k(x, q). \quad (3)$$

При этом волновая функция всей молекулярной системы представляется в виде

$$\Psi_{ns} = \sum_l \chi_l(q) F_l(x, q), \quad (4)$$

что приводит к системе связанных уравнений для функций  $\chi_l(q)$

$$\left( \hat{T}_q + \varepsilon_n + A_{nn} - E \right) \cdot \chi_n = - \sum_{l \neq n} A_{nl} \chi_l, \quad (5)$$

где интегралы  $A_{nl}$  определяют влияние неадиабатичности – взаимодействие электронной и ядерной подсистем.

Адиабатическое приближение предполагает, что  $A_{nl}=0$ . В этом случае уравнение Шредингера для ядерной подсистемы в  $n$ -м электронном состоянии принимает вид:

$$\left( \hat{T}_q + \varepsilon_n - E \right) \cdot \chi_n(q) = 0. \quad (6)$$

Представление адиабатического потенциала в виде ряда Тейлора по ядерным координатам  $q^a$  относительно положения равновесия ядерной конфигурации (первые производные равны нулю)

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{n0} + K_{ab} q^a q^b + K_{abc} q^a q^b q^c + K_{abcd} q^a q^b q^c q^d + \dots \quad (7)$$

приводит к понятию квадратичных, кубических, квартичных силовых постоянных  $K_{ab}, K_{abc}, K_{abcd}$  и позволяет осуществить решение уравнения (6) в том или ином порядке теории возмущения [3].

Современные расчетные методы квантовой химии, в том числе и abinitio [4], позволяют анализировать параметры адиабатического потенциала, определяющего свойства исследуемой молекулярной системы, используя для этого декартовую систему координат. Однако, как сказано выше, для установления связи между структурой и спектрами молекул, следует осуществить переход к системе криволинейных координат, позволяющих описывать поступательное вращательное и колебательное движение ядерного остова. В качестве колебательных координат выбираются естественные колебательные координаты – изменения длин валентных связей, валентных углов, углов между молекулярными фрагментами.

Отделение вращательного движения приводит к уравнению Шредингера для колебательной подсистемы:

$$\left( - \frac{\hbar^2}{2} \frac{\partial}{\partial q^a} T^{ab} \frac{\partial}{\partial q^b} + K_{ab} q^a q^b + K_{abc} q^a q^b q^c + K_{abcd} q^a q^b q^c q^d + \dots - E \right) X_n(q) = 0, \quad (8)$$

где матрица кинематических коэффициентов

$$T^{ab} = \sum_{N\alpha} \frac{1}{m_N} B_{N\alpha}^a B_{N\alpha}^b. \quad (9)$$

Индексы  $N$  – нумерует атомы;  $\alpha$  –  $x, y, z$  – декартовые проекции атомов  $x^{N\alpha}$  на оси координат;  $a, b$  – колебательные координаты;  $B_{N\alpha}^a = \frac{\partial q^a}{\partial x^{N\alpha}}$  – векторы Вильсона – Ельяшевича, определяющие метрику [5] естественных внутримолекулярных координат. В уравнении (8) и далее подразумевается суммирование по повторяющимся индексам, как это принято в тензорной алгебре.

В гармоническом приближении ограничиваются модельным гамильтонианом:

$$\left( - \frac{\hbar^2}{2} T^{ab} \frac{\partial^2}{\partial q^a \partial q^b} + K_{ab} q^a q^b \right) X_l = E_{\text{колеб.}} X_l. \quad (10)$$

В ангармоническом приближении для многоатомных молекул ограничиваются приведенными в выражении (8) слагаемыми.

Решение этого уравнения методами теории возмущения приводит к выражению для энергий колебательных состояний

$$E_v = \omega_s (\mathcal{Q}_s + 1/2) + X_{ij} (\mathcal{Q}_i + 1/2) (\mathcal{Q}_j + 1/2). \quad (11)$$

Здесь  $\chi_{ij}$  – ангармонические постоянные, являющиеся функциями кубических и четвертичных силовых постоянных, постоянных кинематической ангармоничности (производных от тензора  $T^{ab}$  по колебательным координатам) и частотных функций вида  $1/(\omega_i - \omega_{j_k})$ ,  $1/(\omega_i \pm \omega_j \mp \omega_k)$ ,  $1/(\omega_i \pm \omega_j \mp \omega_k \pm \omega_l)$ , определяющих резонансные эффекты;  $\nu_i$  – колебательные квантовые числа.

Первое слагаемое в выражении (11) соответствует гармоническому приближению теории колебаний молекул, второе – ангармоническая добавка. Следует отметить, что именно оптические методы ИК и КР спектроскопии, опирающиеся на приведенные расчетные соотношения, являются наиболее универсальным и мощным средством прямого и независимого определения кинетики сложных реакций, структуры многих соединений, наличия в них важнейших функциональных групп.

### Математическое описание молекулярной динамики

Для этого предлагается воспользоваться математическим аппаратом тензорной алгебры [6].

Базовым в нем является операторное соотношение, связывающее операторы дифференцирования в произвольных системах обобщенных координат [7].

$$T_{a'b'...c'} = B_a^a B_{b'}^b \dots B_c^c T_{ab...c}. \quad (12)$$

С помощью этого операторного соотношения осуществляется связь молекулярных параметров в различных системах криволинейных координат [8].

Вывод рассматриваемых метрических соотношений базируется на одном определяющем выражении, представляющем обычное скалярное произведение векторов, дифференцирование которых по декартовым координатам атомов в молекуле позволяет получить выражения как для так называемых  $S$ -векторов Вильсона – Ельяшевича (первые производные или метрика), так и коэффициенты кинематической ангармоничности. Такой подход свободен от дополнительных ограничений, прост в алгоритмизации, а получаемые при его использовании расчетные формулы в матричном представлении не нуждаются.

#### 1. Координаты типа $q$ -изменение длины связи $S_{ij}$ , образованной атомами $i$ и $j$

Определяющим является следующее выражение для длины рассматриваемой связи через декартовые координаты атомов:

$$S_{ij} = \left( \sum_{\alpha} (R^{j\alpha} - R^{i\alpha})^2 \right)^{1/2}. \quad (13)$$

Связь естественной колебательной координаты типа  $q$  с декартовыми координатами атомов, образующих связь определяется соотношениями

$$\frac{\partial S_{ij}}{\partial R^{N\alpha}} = B_{Na}^q = e_{ij}^{\alpha} (\delta_{jN} - \delta_{iN}),$$

$$B_{NaM\gamma}^q = \frac{\partial^2 S_{ij}}{\partial R^{N\alpha} \partial R^{M\gamma}} = \frac{1}{S_{ij}} (\delta_{jM} - \delta_{iM}) (\delta_{jN} - \delta_{iN}) (\delta_{\alpha\gamma} - e_{ij}^{\alpha} - e_{ij}^{\gamma}), \quad (14)$$

как результат обычного дифференцирования направляющего вектора связи по тем же координатам

$$(e_{ij}^{\alpha})_{M\gamma} = \frac{1}{S_{ij}} (\delta_{jM} - \delta_{iM}) (\delta_{\alpha\gamma} - e_{ij}^{\alpha} e_{ij}^{\gamma}); \quad (15)$$

$$(e_{ij}^{\delta})_{NaM\gamma} = -\frac{1}{S_{ij}} \{ (\delta_{jM} - \delta_{iM}) (\delta_{jN} - \delta_{iN}) \} \cdot [e_{ij}^{\alpha} (\delta_{d\gamma} - e_{ij}^{\delta} e_{ij}^{\gamma}) + e_{ij}^{\delta} (\delta_{\alpha\gamma} - e_{ij}^{\alpha} e_{ij}^{\gamma}) + e_{ij}^{\gamma} (\delta_{\alpha\delta} - e_{ij}^{\delta} e_{ij}^{\alpha})].$$



## 2. Координаты типа $\beta$ -изменение угла между двумя единичными векторами $i, j$ и $k, l$

Если исходить из определяющего соотношения для данного типа координат

$$\cos \beta = \sum_{\delta} e_{ij}^{\delta} \cdot e_{kl}^{\delta}, \quad (16)$$

то выражения для производных примут вид

$$B_{N\alpha}^{\beta} = \frac{\partial \beta}{\partial N\alpha} = -\frac{1}{\sin \beta} \left( e_{ij}^{\rightarrow} \cdot e_{kl}^{\rightarrow} \right)_{N\alpha};$$

$$B_{M\alpha M\gamma}^{\beta} = -\operatorname{ctg} \beta \cdot B_{N\alpha}^{\beta} \cdot B_{M\gamma}^{\beta} - \frac{1}{\sin \beta} \left( e_{ij}^{\rightarrow} \cdot e_{kl}^{\rightarrow} \right)_{M\alpha M\gamma}. \quad (17)$$

Дальнейшее дифференцирование связано с производными по декартовым координатам атомов от следующих функций

$$(\operatorname{ctg} \beta)_{N\alpha} = -\frac{1}{\sin^2 \beta} \cdot B_{N\alpha}^{\beta};$$

$$(\operatorname{ctg} \beta)_{N\alpha M\gamma} = -\frac{1}{\sin^2 \beta} [2 \operatorname{ctg} \beta \cdot B_{N\alpha}^{\beta} B_{M\gamma}^{\beta} - B_{N\alpha M\gamma}^{\beta}];$$

$$\left( \frac{1}{\sin \beta} \right)_{N\alpha} = -\frac{\cos \beta}{\sin^2 \beta} B_{N\alpha}^{\beta} = \cos \beta \cdot (\operatorname{ctg} \beta)_{N\alpha};$$

$$\left( \frac{1}{\sin \beta} \right)_{N\alpha M\gamma} = \cos \beta \cdot (\operatorname{ctg} \beta)_{N\alpha M\gamma} - \sin \beta \cdot B_{M\gamma}^{\beta} \cdot (\operatorname{ctg} \beta)_{N\alpha}. \quad (18)$$

## 3. Координаты типа $\rho$ -изменение угла между связью $i \rightarrow j$ и плоскостью, образованной векторами $k \rightarrow l, r \rightarrow t$

При рассмотрении данного типа координат определяющим является выражение

$$\cos \rho = \vec{H} \cdot \vec{e}_{ij}, \quad (19)$$

где координаты нормального к плоскости вектора

$$\vec{H} = \operatorname{Cosec} \beta \cdot [\vec{e}_{kl} \vec{e}_{rt}] = \operatorname{Cosec} \beta \cdot \vec{V} \quad (20)$$

удобно представить в виде

$$H^{\delta} = \operatorname{Cosec} \beta \cdot \sum e_{\delta\alpha\beta} \cdot e_{kl}^{\alpha} \cdot e_{rt}^{\beta}, \quad (21)$$

где  $e_{\delta\alpha\beta}$  – антисимметричный тензор третьего ранга.

Используя следующие выражения для производных от введенного нормального вектора по декартовым координатам атомов

$$(H^{\delta})_{N\alpha} = \operatorname{cosec} \beta (V^{\delta})_{N\alpha} + (\operatorname{cosec} \beta)_{N\alpha} \cdot V^{\delta}; \quad (22)$$

$$(H^{\delta})_{N\alpha M\gamma} = \operatorname{cosec} \beta (V^{\delta})_{N\alpha M\gamma} + (\operatorname{cosec} \beta)_{N\alpha M\gamma} \cdot V^{\delta} + (V^{\delta})_{N\alpha} (\operatorname{cosec} \beta)_{M\gamma} + (V^{\delta})_{M\gamma} (\operatorname{cosec} \beta)_{N\alpha},$$

несложно получить выражения для соответствующих производных от рассматриваемой естественной координаты

$$B_{N\alpha}^{\rho} = \frac{\partial \rho}{\partial R^{N\alpha}} = (\rho)_{N\alpha} = -\operatorname{cosec} \rho \cdot \left( \vec{H} \cdot \vec{e}_{ij} \right)_{N\alpha};$$

$$(\rho)_{N\alpha M\gamma} = B_{N\alpha M\gamma}^{\rho} = -\operatorname{ctg} \rho \cdot B_{N\alpha}^{\rho} B_{M\gamma}^{\rho} - \operatorname{cosec} \rho \cdot \left( \vec{H} \cdot \vec{e}_{ij} \right)_{N\alpha M\gamma}. \quad (23)$$

#### 4. Координаты типа $\chi$ -угол между плоскостями, определяемые двумя тройками атомов ( $ijk$ ) и ( $lrt$ )

Если  $|\cos \chi| < 1$ , то определяющим является соотношение

$$\cos \chi = \vec{H}(i, j, k) \cdot \vec{H}(l, r, t). \quad (24)$$

Соответствующая метрика принимает вид

$$B_{N\alpha}^{\chi} = -\cos \chi \sum [(H_{\alpha}^{\delta})_{N\alpha} \cdot H_2^{\delta} + (H_2^{\delta})_{N\alpha} \cdot H\delta_1]. \quad (25)$$

Если нормальные векторы коллинеарны ( $\sin \chi = 0$ ), то следует ввести дополнительный вектор

$$\vec{f} = \vec{e}_{jk} \cdot \text{Cosec} \beta - \vec{e}_{jr} \cdot \text{ctg} \beta. \quad (26)$$

Тогда искомая естественная координата представляется суммой

$$\chi = \chi_1 + \chi_2, \quad (27)$$

для которой

$$\begin{aligned} \cos \chi_1 &= \vec{H}_1 \cdot \vec{f}, \\ \cos \chi_2 &= \vec{H}_2 \cdot \vec{f} \end{aligned} \quad (28)$$

Метрическое соотношение принимает вид

$$B_{N\alpha}^{\chi} = -\text{Cosec} \chi_1 \left( \vec{H}_1 \cdot \vec{f} \right)_{N\alpha} - \text{Cosec} \chi_2 \left( \vec{H}_2 \cdot \vec{f} \right); \quad (29)$$

$$B_{N\alpha M\gamma}^{\chi} = -\text{ctg} \chi_1 B_{N\alpha}^{\chi_1} \cdot B_{M\gamma}^{\chi_1} - \text{ctg} \chi_2 B_{N\alpha}^{\chi_2} B_{M\gamma}^{\chi_2} - \text{Cosec} \chi_1 \left( \vec{H}_1 \cdot \vec{f} \right)_{N\alpha M\gamma} - \text{Cosec} \chi_2 \left( \vec{H}_2 \cdot \vec{f} \right)_{N\alpha M\gamma}.$$

#### 5. Вычисление параметров кинематической ангармоничности

Под параметрами кинематической ангармоничности в молекулярной динамике понимаются производные от элементов контравариантного метрического тензора  $T^{vw}$  по естественным колебательным координатам  $Q=q, \beta, R, \chi$

$$\begin{aligned} T^{vw} &= \sum B_{N\alpha}^v \cdot B_{N\alpha}^w / m_N; \\ \frac{\partial T^{vw}}{\partial Q^c} &= \frac{\partial T^{vw}}{\partial R^{M\gamma}} \cdot \frac{\partial R^{M\gamma}}{\partial Q^c}, \end{aligned} \quad (30)$$

где производная от элемента контравариантного тензора по декартовой координате равна

$$\frac{\partial T^{vw}}{\partial R^{M\gamma}} = \sum (B_{N\alpha M\gamma}^v \cdot B_{N\alpha}^w + B_{N\alpha}^v \cdot B_{N\alpha M\gamma}^w) / m_N, \quad (31)$$

а обратная метрика, связывающая декартовые координаты с естественными координатами, имеет вид

$$\frac{\partial R^{M\gamma}}{\partial Q^c} = (B_a^{N\alpha} \cdot B_c^{N\alpha}) \cdot B_{M\gamma}^a / m_M = (T^{ac})^{-1} \cdot B_{M\gamma}^a / m_M. \quad (32)$$

Процедура получения следующих производных от ковариантного метрического тензора  $T^{vw}$  по естественным координатам теперь труда не представляет.

#### 6. Связь параметров адиабатического потенциала (силовых постоянных) в декартовых и естественных координатах

Как сказано выше, имеющиеся программные продукты (в частности «Gaussian2003») позволяют вычислять параметры механической ангармоничности в декартовых координатах.

Для этого проще опять воспользоваться основным операторным соотношением тензорного анализа (12), связывающего производные в различных системах криволинейных координат.

Это приводит к следующим выражениям для коэффициентов разложения адиабатического потенциала относительно положения равновесия ядерной подсистемы.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x^{N\alpha}} &= \frac{\partial q^a}{\partial x^{N\alpha}} \cdot \frac{\partial U}{\partial q^a} = B_{N\alpha}^a \frac{\partial U}{\partial q^a}; \\ \frac{\partial^2 U}{\partial x^{N\alpha} \partial x^{K\beta}} &= B_{N\alpha}^a B_{K\beta}^b \frac{\partial^2 U}{\partial q^a \partial q^b} + B_{N\alpha K\beta}^a \cdot \frac{\partial U}{\partial q^a}; \\ \left( \frac{\partial^2 U}{\partial q^a \partial q^b} \right)_0 &= \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^{N\alpha} \partial x^{K\beta}} \right)_0 \cdot B_a^{N\alpha} \cdot B_b^{K\beta}; \\ \frac{\partial^3 U}{\partial x^{N\alpha} \partial x^{K\beta} \partial x^{M\gamma}} &= B_{N\alpha}^a B_{K\beta}^b B_{M\gamma}^c \{ U_{abc} - \Gamma_{ac}^f U_{bf} - \Gamma_{bc}^f U_{af} - \Gamma_{ab}^f U_{cf} + B_{N\alpha K\beta M\gamma}^a U_a \}, \end{aligned} \quad (33)$$

где так называемые символы Кристоффеля  $\Gamma_{ac}^f$  [5] выражаются через уже описанные выше метрические соотношения.

$$\Gamma_{ab}^f = -B_{N\alpha K\beta}^f \cdot B_a^{N\alpha} \cdot B_b^{K\beta}. \quad (34)$$

Таким образом, алгоритм вычисления параметров ангармоничности связан с обычным дифференцированием направляющих векторов молекулярных связей и векторных соотношений между ними.

**Заключение.** Предложена схема получения метрических соотношений для решения задач молекулярной динамики, свободная от дополнительных ограничений на конформационные свойства сложных молекулярных соединений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Минкин В.И. Теория строения молекул / В.И. Минкин, Б.Я. Симкин, Р.М. Миняев. М.: Наука, 1979. 432 с.
2. Слэтер Дж. Электронная структура молекул / Дж. Слэтер. М.: Наука, 1965. 576 с.
3. Давыдов А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов. М.: Наука, 1963. 748 с.
4. Frisch M.J. Caussian 03. Revision B.03 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel. Pittsburg PA, 2003. Caussian Inc.
5. Berezin V.I. Semiempirical models in theory of intencities of rotation-vibration molecules / V.I. Berezin, M.D. El'kin // J. Molecular Structure. 1992. Vol. 272. № 1. P. 95-109.
6. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ / П.К. Рашевский. М.: Наука, 1976. 690 с.
7. Элькин М.Д. Кинематическая ангармоничность в электронографических исследованиях геометрии молекул / М.Д. Элькин // Журнал структурной химии. 1986. Т. 27. Вып. 5. С. 42-48.
8. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 569 с.

**Элькин Михаил Давыдович** –

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

**Осин Андрей Борисович** –

аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Колесникова Ольга Васильевна** –

ассистент кафедры «Информатика»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 16.09.06, принята к опубликованию 26.12.06*

## НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

---

УДК 537.534, 620.179.112 (075.8)

**А.Н. Виноградов**

### **КОМПЛЕКСНЫЕ МОДЕЛИ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО ПЕРЕНОСА УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ШАРОВ НА ШАРОДОВОДОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

*Приведены концептуальные модели термодформационного переноса углерода в процессе финишной обработки шаров подшипников, влияющего на формирование физико-механических свойств их поверхностного слоя.*

**A.N. Vinogradov**

### **COMPLEX MODELS OF THERMO-DEFORMATION TRANSFER OF CARBON DURING FINISHING PROCESSING SPHERES ON THE EQUIPMENT FOR OPERATIONAL DEVELOPMENT OF SPHERES.**

*Conceptual models thermo-deformation transportation of carbon during finishing processing spheres of the bearings, influencing on formation of physic mechanical properties of their superficial layer are resulted.*

В процессе окончательной шародоводочной операции создаются условия для термомодиффузионного переноса углерода в поверхностный слой шара, как из его объема, так и из массивных чугуновых дисков, обладающих практически неограниченным запасом углерода.

И.А. Одинг [1, 2] рассматривал поток вещества в поверхностных слоях, контактирующих тел как:

$$J = J_T + J_c + J_\varepsilon \text{ или} \tag{1}$$
$$J = D_T \frac{dT}{dx} + D_c \frac{dc}{dx} + D_\varepsilon \frac{d\varepsilon}{dx},$$

где  $J_T$  – поток вещества, зависящий от температуры;  $J_c$  – поток вещества, зависящий от концентрации;  $J_\varepsilon$  – поток вещества, зависящий от степени пластической деформации.

Таким образом, перенос вещества при контактном взаимодействии возможен за счет наличия неравенства градиентов температуры, концентрации и пластической деформации, изменяющих диффузионную подвижность в деформированных слоях до различной степени, где срабатывает вакансионный механизм диффузионного переноса.

**Влияние концентрации вещества на диффузионный поток.**

Первый закон Фика [3, 4] отражает поток вещества, направленный в сторону уменьшения градиента концентрации:

$$J_k = -D \frac{dc}{dx}, \quad (2)$$

причем отношение  $\frac{J}{dc/dx} = -D$  называется *коэффициентом диффузии*.

Здесь  $c$  – концентрация в рассматриваемом объеме;  $x$  – ось, по которой направлен поток диффундирующего компонента.

При условии, что концентрация в рассматриваемом объеме изменяется во времени:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{d}{dx} \left( D \frac{dc}{dx} \right). \quad (3)$$

Это второй закон Фика.

Для трех измерений уравнение (3) запишем в виде:

$$\frac{dc}{dt} = -\operatorname{div} J_k. \quad (4)$$

Это уравнение выражает закон сохранения вещества и остается справедливым, когда уравнением (2) пользоваться нельзя – при наличии добавочных градиентов, кроме концентрационного.

Коэффициент диффузии – параметр, характеризующий скорость диффузии. Для металлов коэффициент диффузии изменяется по экспоненциальному закону:

$$D(T) = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (5)$$

где  $D_0$  – предэкспоненциальный или частотный множитель;  $Q$  – энергия активации;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

$Q$  и  $D_0$  связаны с физико-химическими свойствами металла, а также диффундирующих частиц. Экспоненциальный характер изменения коэффициента диффузии был установлен и теоретически обоснован Аррениусом.

Существует три частных случая решения уравнения (3):

1. Решение для диффузии из бесконечно тонкого слоя;
2. Решение для диффузии из слоя конечной толщины;
3. Решение для диффузии из полубесконечного пространства.

Наиболее интересны, с нашей точки зрения, второй и третий варианты, так как диффузия углерода осуществляется как изнутри шара к его поверхности, так и из массивных чугуновых доводочных дисков, в которых запас углерода (по сравнению с шарами) практически неограничен, причем вся рабочая поверхность желобов покрыта графитом, что видно даже невооруженным взглядом.

Для второго варианта распределение концентрации при толщине слоя  $2h$  имеет вид

$$c(x,t) = \frac{c_0}{2 \left[ \frac{\operatorname{erf}(h+x)}{2\sqrt{Dt}} + \frac{\operatorname{erf}(h-x)}{2\sqrt{Dt}} \right]}, \quad (6)$$

где  $\operatorname{erf}$  – функция ошибок (*error function*) или интеграл вероятности Гаусса-Крампа:

$$\operatorname{erf}(y) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^y \exp(-z^2) dz.$$

При  $t \rightarrow \infty$  концентрация всюду обращается в нуль ( $\operatorname{erf} 0 = 0$ ), так как конечное количество вещества  $q = 2c_0h$  распределяется по бесконечной области. Для диффузии из полубеско-

нечного пространства начальное распределение концентрации задается так: при всех  $x < 0$   $c(x,0)=c_0$ , а при всех  $x > 0$   $c(x,0)=0$ . Тогда решение имеет вид

$$c(x,t) = c_0 / 2(1 - \operatorname{erf}(x/2\sqrt{Dt})). \quad (7)$$

Причем, для всех  $t > 0$  концентрация в плоскости раздела (при  $x = 0$ ) постоянна и равна  $c_0 / 2$ . В случае диффузии углерода из массивных чугуновых дисков в сравнительно малого размера шары можно принять этот вариант.

Значение максимума распределения концентрации уменьшается обратно пропорционально корню квадратному из времени.

При диффузии углерода в поверхностный слой шаров образуется как бы аморфизированная оболочка, содержащая цементит, карбиды железа и хрома. Эта оболочка нестабильна, ее толщина может меняться от  $h = 0$  до  $h = 0,010 \dots 0,015$  мм. Следовательно, коэффициент диффузии может быть переменным  $D=D[c(x)]=D(x)$ . Тогда уравнение (3) будет иметь вид

$$\frac{dc}{dt} = \frac{dD}{dx} \frac{dc}{dx} + D \frac{d^2c}{dx^2}. \quad (8)$$

Решая это уравнение относительно  $D$ , запишем выражение коэффициента диффузии для любого значения концентрации:

$$D(c') = -\frac{1}{2t} \left( \frac{dx}{dc} \right)_{c'} \int_{c'}^{c_0} x dc, \quad (9)$$

где  $c'$  – любая концентрация в интервале  $0 < c' < c_0$ .

До сих пор диффузия рассматривалась как статистический эффект, в результате которого происходит макроскопическое изменение концентрации в какой-то части тела. Однако атомная теория диффузии [3, 4, 5] предполагает периодические перескоки атомов из одного узла решетки в другой. Используя математическую обработку модели диффузии в виде случайных атомных перескоков, можно найти связь между измеряемыми макроскопическими коэффициентами диффузии, частотой и длиной перескоков диффундирующих атомов. Перемещение атомов в этом процессе подчиняется тем же законам, что и броуновское движение частиц, взвешенных в жидкости.

Значения перескоков атомов того же порядка, что и межатомные расстояния в решетке – порядка  $1 \text{ \AA}$ . По современным воззрениям, наибольшая роль принадлежит вакансиям. Эту идею впервые высказал Я.И. Френкель.

### **Распределение тепловых потоков и полей в процессе финишной обработки шаров доводочными дисками.**

Если до сих пор рассматривался градиент концентрации переносимого вещества, то в [6, 7, 8] показана роль температурного градиента при следующем подходе.

Анализ влияния температуры в зоне финишной обработки шаров показывает, что температура и температурный градиент играют значительную роль в изменении параметров микрогеометрии и фазового состава поверхностного слоя. Описание температурного поля в поверхностных слоях взаимодействующих деталей позволяет выявить характер этих изменений, факторы, его определяющие, и способы управления температурным полем для получения структуры, обеспечивающей необходимые свойства поверхностных слоев.

При описании температурного поля учитывается дискретность процесса взаимодействия поверхностей, которая вносит существенные особенности в методику энергетического и температурного анализа процесса трения. Первой особенностью является то, что процесс фрикционного взаимодействия дискретен на трех уровнях: микрорельефа, субмикрорельефа и молекулярном. Другая его особенность состоит в том, что на каждом из этих уровней элементарные акты взаимодействия представляют необратимые трансформационные энергетические циклы-импульсы, интенсивность, длительность и место положения которых случайны.

Шероховатости трущихся поверхностей вступают в кратковременный периодический контакт (дискретный), причем генерация тепла производится импульсно в местах контактирования при скольжении и микропластической деформации. Места контактирования точечных источников постоянно меняются.

Скольжение сопровождается столкновениями и смятием микрошероховатостей, в результате чего генерируются тепловые потоки и развиваются физико-механические процессы, изменяющие структуру материала.

Столкновения шероховатостей, расположенных весьма плотно, происходят с высокой частотой порядка  $10^5-10^9$  Гц [9]. Под действием возмущения, в виде соударения шероховатостей в теле возникает колебательный процесс с собственной частотой. Возмущающая частота определяется плотностью расположения шероховатостей и скоростью относительного перемещения тел. Для реального микрорельефа поверхностей шероховатости весьма пологи и не представляют собой обособленной массы, находящейся в автономных колебаниях. Поэтому собственная частота возникающих колебаний определяется массой и жесткостью не отдельных шероховатостей, а всего тела, и она несколько меньше частоты возмущающей.

Если подобные колебания продолжаются довольно долго, то влияние начального распределения температуры на ход процесса исчезает и в теле устанавливается квазистационарное состояние, при котором температура в каждой точке совершает гармонические колебания около среднего значения температуры  $\bar{T}$  [10].

Выражение для температуры тела на глубине  $x$ , в момент времени  $t$ :

$$T(x,t) = \bar{T} + (T_n - \bar{T}) \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi f}{2\alpha_m}}\right) \cdot \frac{\cos\left(2\pi f t - x \sqrt{\frac{\pi f}{\alpha_m}}\right)}{\cos(2\pi f)}, \quad (10)$$

где  $T_n$  – максимальная температура;  $\alpha_m$  – коэффициент температуропроводности материала;  $f$  – количество колебаний в единицу времени, определяемое частотой взаимодействия точек обрабатываемой поверхности с инструментом (в данном случае поверхности шара с поверхностью доводочных дисков или колец подшипника).

С учетом неравномерности распределения тепловых потоков в технологическом трибосопряжении для операции доводки шаров получена система уравнений, описывающих температурное поле в поверхностном слое детали ( $T_1$ ) и доводочных дисков ( $T_2$  и  $T_3$ ):

$$\begin{cases} T_1(x,t) = (1-\chi)(\bar{T} + (T_n - \bar{T})) \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi f_1}{2\alpha_{m1}}}\right) K_1 \cdot \frac{\left|\cos\left(2\pi f_1 t - x \sqrt{\frac{\pi f_1}{\alpha_{m1}}}\right)\right|}{|\cos(2\pi f_1)|}; \\ T_2(x,t) = \chi(\bar{T} + (T_n - \bar{T})) \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi f_2}{2\alpha_{m2}}}\right) K_2 \cdot \frac{\left|\cos\left(2\pi f_2 t - x \sqrt{\frac{\pi f_2}{\alpha_{m2}}}\right)\right|}{|\cos(2\pi f_2)|}; \\ T_3(x,t) = \chi(\bar{T} + (T_n - \bar{T})) \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi f_3}{2\alpha_{m3}}}\right) K_3 \cdot \frac{\left|\cos\left(2\pi f_3 t - x \sqrt{\frac{\pi f_3}{\alpha_{m3}}}\right)\right|}{|\cos(2\pi f_3)|}, \end{cases} \quad (11)$$

где  $\chi$  – коэффициент распределения тепловых потоков, рассеиваемых каждым телом;  $K_i$  – коэффициент, характеризующий теплопоглощающую и теплоотдающую способность элементов технологического трибосопряжения.

С учетом этого произведен расчет температурного поля в детали (шаре) и инструменте (доводочных дисках) при финишной обработке.

Данная модель температурного поля характерна для процесса безэлеваторной доводки, когда шары постоянно находятся в желобах доводочных дисков. В процессе элеваторной доводки шары попадают в желоба дисков периодически многократно, но рассчитать и обеспечить момент и частоту их попадания в желоба не представляется возможным, так как процесс стохастический.

Контактирование шара, обладающего значительно меньшей массой, с массивными чугунами дисками в процессе доводки происходит в каждый момент времени в трех точках. Таким образом, и генерирование тепловых потоков в процессе шлифования будет происходить в трех направлениях.

Так как массы доводочных кругов и шара несоизмеримы, то разностный тепловой поток ( $q_1, q_2, q_3$  для новых дисков, рис. 1, или  $q_{21}, q_{22}, q_{23}$  для просевших дисков, рис. 2) будет достаточно велик и направлен в сторону тела, обладающего большей массой (т.е. в сторону массивного чугунного диска).

$$J_T = D_T \frac{\partial T}{dx} . \quad (12)$$

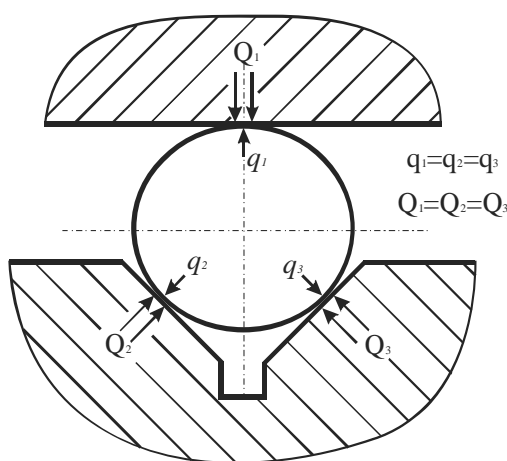


Рис. 1. Модель распределения тепловых потоков при использовании новых доводочных дисков

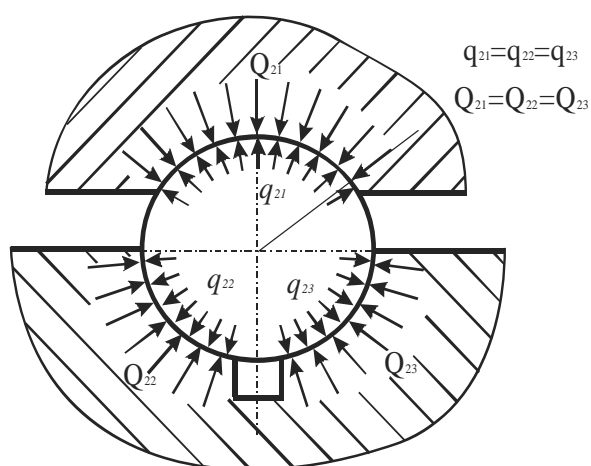


Рис. 2. Модель распределения тепловых потоков при использовании просевших доводочных дисков

Диффузионный поток углерода идет как из объема шара к его поверхности, так и в большей степени из массивных чугунных дисков также в поверхностный слой шара, рис. 3. Это подтверждается предварительными исследованиями поверхностного слоя шаров после элеваторной доводки, в результате которых установлено, что имеет место перемещение легирующего компонента – углерода из приповерхностного слоя в поверхностный.

Для расчета температурного поля в зоне обработки использована математическая модель, описанная выражением (11). Расчетное температурное поле в поверхностном слое шара в процессе доводки представлено на рис. 4.

Согласно рассчитанному распределению температуры в существующей схеме обработки, возникающий градиент температуры в поверхностном слое обрабатываемых шаров принимает достаточно большое значение ( $T \approx 145^\circ\text{C}$  на глубине  $x$  до 0,1 мм,  $\frac{\partial T}{dx} = 1450^\circ\text{C}/\text{мм}$

по данным [8]  $\frac{\partial T}{dx} = 1540^\circ\text{C}/\text{мм}$ ). При максимально возможном увеличении пятна контакта температура на поверхности растет и может достигать значений  $T \approx 200 \dots 230^\circ\text{C}$ . Как показывают исследования В.Н. Кашеева [11, 12], даже при температурном градиенте меньших зна-



чений, наблюдается эффект глубинного вырывания, то есть внутренние слои становятся более ослабленными, чем внешние. Таким образом, можно предположить, что в случае появления высоких температурных градиентов в поверхностных слоях обрабатываемых шаров, возможно изменение их структуры и сьем металла будет происходить не за счет процессов шлифования, а за счет отделения поверхностных слоев.

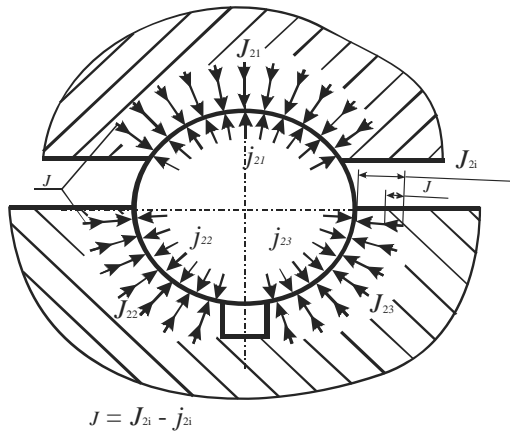


Рис. 3. Модель распределения диффузионных потоков вещества при использовании просевших доводочных дисков

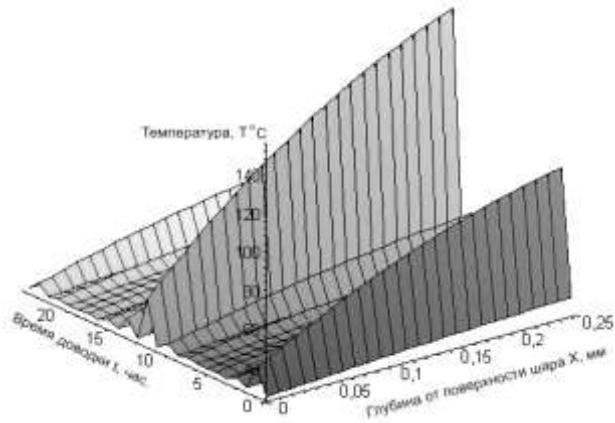


Рис. 4. Температурное поле, возникающее в поверхностном слое шара в процессе доводки

Температура колеблется в пределах  $\sim 150 \dots 230^\circ\text{C}$ . При таких температурах характерен холодный диффузионный процесс, который отличается от процесса цементации, сопровождающегося высокой температурой. Кроме того, из рис. 4 видно, что поверхностная температура имеет циклический характер. Так, в начале обработки она растет примерно до  $50 \dots 55^\circ\text{C}$ , затем в районе от 3 до 9 часов она колеблется от  $25$  до  $30^\circ\text{C}$ . Начиная с 10 часов доводки, поверхностная температура растет, и в районе 12 часов достигает значения  $\sim 89^\circ\text{C}$ . Такое поведение поверхностной температуры можно объяснить тем, что образующаяся в поверхностном слое аморфизированная вторичная структура обладает отличной (меньшей) теплопроводностью по сравнению с основным металлом.

Температурные поля в доводочных дисках несколько различаются за счет того, что один из дисков подвижный, а другой – нет, рис. 5 и 6.

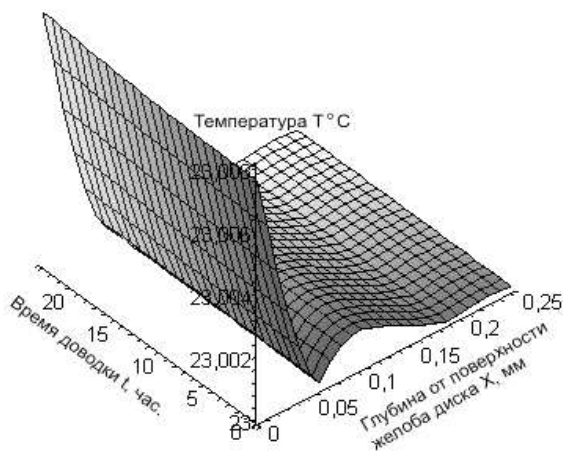


Рис. 5. Температурное поле верхнего (неподвижного) доводочного диска

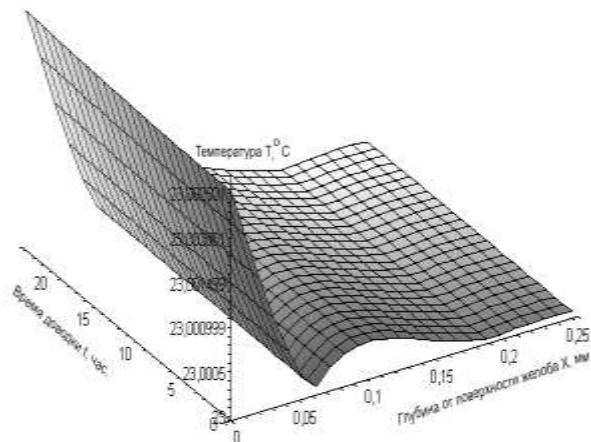


Рис. 6. Температурное поле нижнего (подвижного) доводочного диска

При анализе графиков представленных поверхностей можно заметить, что поверхностная температура, не говоря уже об объемной, колеблется в весьма незначительных пределах (в долях градуса), что вполне соответствует действительности и означает, что температура доводочных дисков практически равна температуре окружающей среды.

Граничная диффузия характеризуется меньшими значениями энергии активации, чем объемная. Причина этого явления – скопление дефектов по границам зерен, которые являются более активными. Если коэффициент граничной диффузии намного превышает коэффициент объемной диффузии, диффузионный слой становится все более неоднородным по химическому составу по мере удаления от источника диффузии.

Диффузия углерода в  $\gamma$ -Fe [4] при обычных условиях цементации происходит с одинаковой скоростью по толщине объема и по границам зерен. При низких температурах, или когда велика энергия активации, идет преимущественно диффузия по границам зерен.

Механизм износа доводочных дисков можно представить в виде избирательного термомодиффузионного износа углерода, который под действием градиентов температуры и пластической деформации выдавливается на поверхность желобов, в результате чего повышаются площадь диффузионного контакта и просадка дисков.

В зоне обработки присутствует суспензия, содержащая абразивный порошок, который шаржируется в материал желоба и должен работать как режущий элемент. Однако такой механизм действует до момента измельчения зерен абразива до размера 1...3 мкм. Измельченные абразивные зерна уже не обладают режущими свойствами, а только выглаживающими, и, смешиваясь со свободным графитом на поверхностях желобов образуют так называемую графитоабразивную прослойку, способствующую процессу диффузии углерода за счет упругопластического воздействия абразива, активирующего поверхностный слой шара [13, 14].

**Влияние пластической деформации в процессе финишной обработки на диффузионный поток вещества.**

О характере изменений физико-механических свойств поверхностного слоя (степени пластической деформации) в процессе обработки можно судить по коэффициенту упрочнения [8], который равен отношению твердости поверхностного слоя и основного металла:

$$k_{упр} = \frac{H_{max}}{H_0}, \quad (13)$$

где  $H_{max}$  – микротвердость поверхностного слоя;  $H_0$  – микротвердость основного металла.

Как выяснилось, коэффициент упрочнения периодически изменяется в течение всего процесса окончательной доводки. На рис. 7 [8] представлены кривые изменения съема металла и коэффициента упрочнения в процессе финишной доводки шаров.

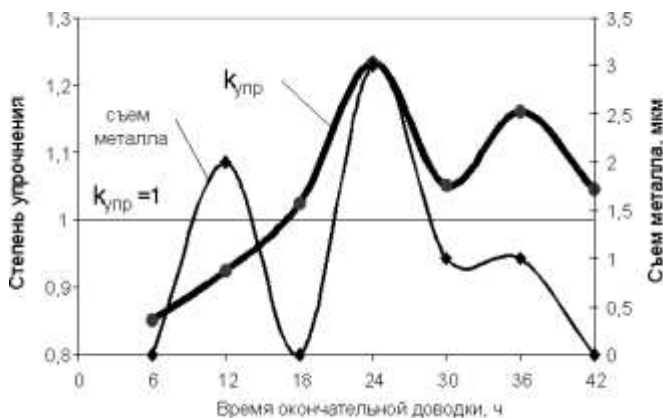


Рис. 7. Изменение коэффициента упрочнения и съема металла в процессе окончательной доводки шаров

Из рис. 7 также видно, что процесс съема металла, как и степень упрочнения, имеет периодический характер. Так как съем здесь представлен не в виде изменения масс шаров, а в виде уменьшения их диаметральных размеров, то, сопоставляя это с изменением степени упрочнения, можно предположить, что на этапе уменьшения диаметральных размеров (якобы увеличения съема) съема металла реально не происходит, а происходит лишь уплотнение поверхностного слоя до критического предела, после чего происходит его разрушение.

Поток вещества, переносимого под воздействием активации поверхности пластическим деформированием

$$J_{\varepsilon} = D_{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dx}. \quad (14)$$

При условии изменения степени пластического деформирования во времени

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d}{dx} \left( D_{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dx} \right). \quad (15)$$

**Модель диффузионного потока углерода в поверхностный слой шара в процессе окончательной доводки чугунами дисками.**

Фактически выражение (1) представляет собой линейный оператор  $\nabla$  (оператор Гамильтона), который в прямоугольных декартовых координатах определяется формулой

$$\nabla \equiv \frac{d}{dx} i + \frac{d}{dy} j + \frac{d}{dz} k. \quad (16)$$

Преобразуя (1), можно записать выражение

$$\frac{dJ}{dt} = D_T \frac{dT}{dx} \frac{dx}{dt} + D_c \frac{dc}{dx} \frac{dx}{dt} + D_{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dx} \frac{dx}{dt}, \quad (17)$$

которое представляет собой скорость насыщения поверхности шара углеродом во времени.

Примем, что процесс насыщения поверхности шара углеродом подчиняется линейному закону, тогда степень насыщения поверхности углеродом зависит, прежде всего, от расстояния и времени.

Поэтому можно записать

$$J = J(x, t). \quad (18)$$

Следовательно, температура, концентрация и пластическая деформация также зависят от тех же факторов

$$T, c, \varepsilon = f(x, t). \quad (19)$$

Тогда выражение (18) можно привести к виду

$$\frac{dJ}{dt} = U \frac{dx}{dt}. \quad (20)$$

Проинтегрировав (20) по  $t$ , получим выражение

$$J = U x^2, \quad (21)$$

которое представляет собой уравнение кривой, отражающее степень насыщения углеродом поверхности шара на глубине  $x$ .

Выражение (21) представляет собой уравнение образующей параболической усеченной пирамиды, малое основание которой является пятном контакта шара с желобом доводочного диска, через которое осуществляется диффузия углерода в поверхностный слой шара. По мере удаления от поверхности шара  $x \rightarrow \infty$  поток диффундирующего вещества (углерода) рассеивается, степень его концентрации на единицу объема уменьшается и стремится к нулю.

Модель диффузии углерода из доводочного диска в шар представлена на рис. 8.

По мере износа (просадки) желобов доводочных дисков форма диффузионного потока углерода в поверхностный слой шара будет изменяться. В начале процесса доводки диффузия углерода протекает на ограниченных площадях в контактных пятнах, а после приработки процесс стабилизируется, и число пятен возрастает, что наблюдается по всей поверхности. Удельные нагрузки стабилизируются в процессе износа на уровне предела текучести в уплотненном состоянии, в результате чего увеличение нагрузки сопровождается соответствующим увеличением площади контакта. Удельная диффузия, отнесенная к единице площади, постоянна. Излишки диффузионного переноса углерода из доводочных дисков к шару остаются на поверхности желобов в виде свободного графита.

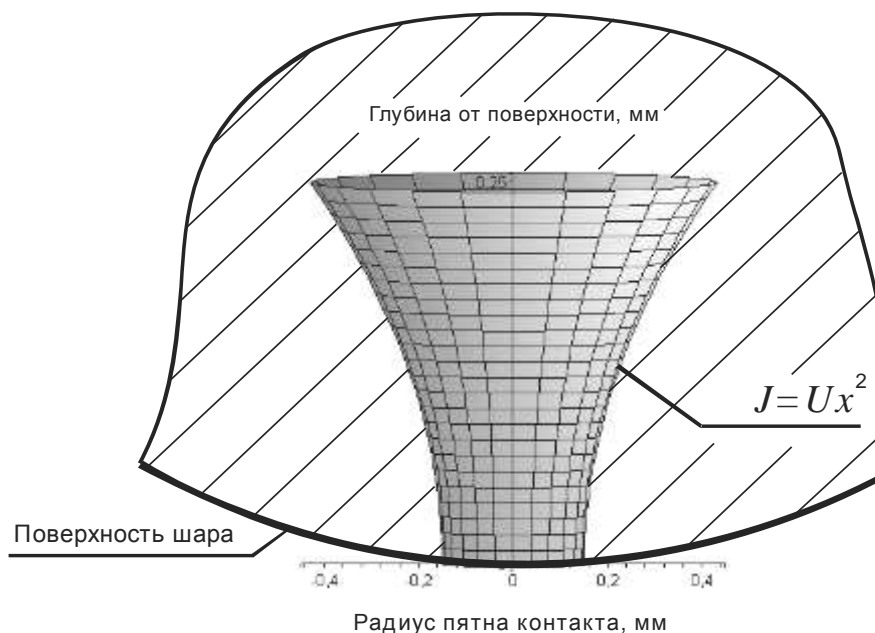


Рис. 8. Форма диффузионного потока углерода в поверхностный слой шара

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Одинг И.А. Термическая диффузия в металлах / И.А. Одинг // ДАН СССР. 1952. Т. XXXIV. № 1. С. 258-261.
2. Одинг И.А. Водородный износ / И.А. Одинг. М.: Машиностроение, 1982. 127 с.
3. Процессы взаимной диффузии в сплавах: монография / И.Б. Боровский, К.П. Гуров, И.Д. Марчукова, Ю.Э. Угасте; под ред. К.П. Гурова. М.: Наука, 1973. 360 с.
4. Уманский Я.С. Физика металлов. Атомное строение металлов и сплавов / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков. М.: Атомиздат, 1978. 352 с.
5. Гегузин Я.Е. Очерки о диффузии в кристаллах / Я.Е. Гегузин. М.: Наука, 1974. 256 с.
6. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник для технических вузов / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И.А. Буяновский и др.; под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Центр «Наука и техника», 1995. 778 с.
7. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
8. Бузов А.В. Повышение эксплуатационных характеристик подшипников качения за счет назначения рационального режима финишной обработки шаров с учетом фактических температурных и деформационных механизмов формирования свойств их поверхностного слоя: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Бузов. Саратов, 2002. 130 с.
9. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
10. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеев. М.: Энергия, 1977. 343 с.
11. Кашеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов / В.Н. Кашеев. М.: Машиностроение, 1978. 213 с.
12. Кашеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел / В.Н. Кашеев. М.: Наука, 1970. 248 с.
13. Виноградов А.Н. Влияние финишной обработки на эксплуатационные характеристики подшипников / А.Н. Виноградов, В.Г. Куранов // Актуальные проблемы надежности техноло-

гических, энергетических и транспортных машин: сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию Самар. гос. техн. ун-та: в 2 т. М.: Машиностроение, 2003. Т. 1. С. 147-152.

14. Куранов В.Г. Исследование явления трибоцементации шаров подшипников методом вторичной ионно-ионной эмиссии / В.Г.Куранов, А.Н. Виноградов, А.Г. Жуков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 1 (23). С. 33-41.

**Виноградов Александр Николаевич –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 16.04.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 621.9

**А.И. Мироседи**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ИНСТРУМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Статья посвящена вопросу повышения эффективности абразивной обработки за счет совершенствования структуры абразивного инструмента. Излагаются принципы выбора материала и характеристик наполнителя. Описывается стохастическая модель структуры абразивного инструмента. Приводятся результаты испытаний абразивного инструмента, созданного по предлагаемым принципам.*

**A.I. Mirosey**

### **ABRASIVE PROCESSING EFFICIENCY ENHANCEMENT BY THE INSTRUMENT STRUCTURE IMPROVEMENT WITH STOCHASTIC MODELING USE**

*This article is devoted to enhancement the efficiency of abrasive processing based on the improvement structure of the abrasive instrument. It considers principles of choosing materials and characteristic of the filling. The article describes stochastic model of the abrasive instrument structure. It also shows the results of the proving enhanced instrument.*

При производстве абразивного инструмента в настоящее время принята технология, которая обладает рядом недостатков:

- с увеличением номера структуры абразивного инструмента его твердость падает;
- с увеличением номера структуры уменьшается равномерность распределения зерен и пор по объему черепка инструмента;
- с ростом неравномерности распределения зерен значительно увеличивается дисбаланс абразивных кругов, что, во-первых, делает невозможным их эксплуатацию на высоких скоростях, а во-вторых, снижает качество обрабатываемой поверхности.

Эти недостатки являются следствием неравномерности распределения абразивного зерна в черепке инструмента. На практике возможны ситуации, когда в процессе прессования зерна будут собираться в конгломераты (рис. 1, а), характеризующиеся высокой твердостью и минимальным объемом порового пространства внутри конгломерата. С другой стороны, появление конгломератов в инструменте влечет за собой появление обратного дефекта – образование пустот (рис. 1, б). При этом в области появления пустот будет наблюдаться значительное снижение твердости черепка.

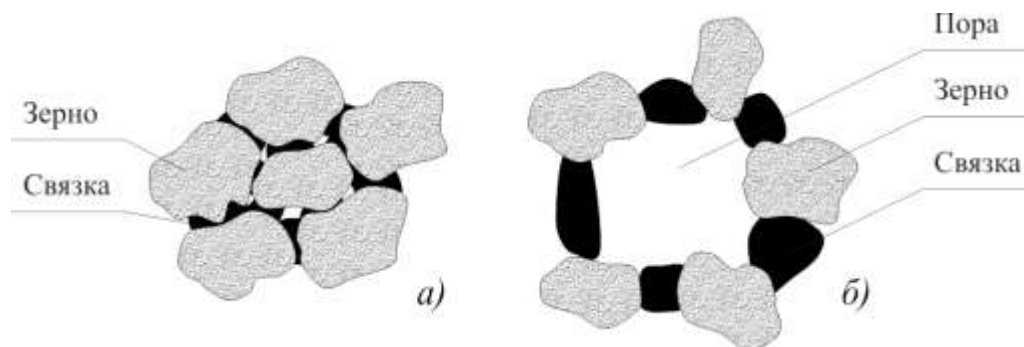


Рис. 1. Примеры дефектных структур абразивного инструмента с образованием конгломератов (а) и пустот (б)

Одним из путей ликвидации этих явлений является использование наполнителей различных видов. На сегодняшний день известны следующие виды наполнителей: разрушающиеся при термообработке инструмента, разрушающиеся в процессе работы инструмента и наполнители с высокой собственной пористостью (полые частицы). Однако технологии изготовления инструмента с использованием указанных наполнителей не лишены недостатков, одни из них чрезвычайно дороги, другие низкотехнологичны.

На наш взгляд, в качестве наполнителя наиболее целесообразно применение абразивного зерна того же материала, что и зерна основной фракции, но меньшего размера. Идея применения такого наполнителя заключается в том, что зерна более мелкой фракции, находясь внутри черепка инструмента, будут выполнять роль упорядочивающих и армирующих частиц, а при выходе их на поверхность абразивного инструмента будут выкрашиваться с образованием поверхностной поры.

Доказать теоретическую состоятельность данной гипотезы можно, рассмотрев вопрос о прочности удержания абразивных зерен связкой инструмента. Чтобы в процессе работы абразивного инструмента выкрашивались в первую очередь мелкие зерна, должно выполняться следующие условие:

$$P_{уд.м.} \ll P_{уд.к.}, \quad (1)$$

где  $P_{уд.м.}$  – прочность удержания связкой мелкого зерна;  $P_{уд.к.}$  – прочность удержания связкой крупного зерна.

Аналитические модели прочности удержания связкой были созданы такими учеными как А.В. Королев, Ю.К. Новоселов, Б.П. Кудряшов, В.И. Курдюков и др. [1, 2, 3 и др.]. Анализ моделей показал, что прочность удержания зерен связкой прямо пропорциональна квадрату размера зерна  $d_3$ , т.е.

$$P_{уд} = f(d_3^2), \quad (2)$$

что при значительной разнице в размерах зерен основной фракции и зерен наполнителя приведет к выполнению условия (1).

Абразивный инструмент, созданный по предложенному принципу, будет обладать более высокой твердостью и более упорядоченным структурным строением по сравнению с инструментом, изготовленным по «классической» технологии. При этом поверхностная по-

ристорность инструмента будет эквивалентна «классическому» абразивному инструменту. Следовательно, область применения инструмента, изготовленного по предлагаемому принципу, совпадает с «классическим» инструментом, но при этом возможна эксплуатация с более жесткими режимами обработки.

Основными задачами при создании предлагаемого инструмента являются выбор размера и количества зерен наполнителя. Для решения указанных проблем была рассмотрена структура абразивного инструмента как массив неправильных тетраэдров, в вершинах которых располагались абразивные зерна (рис. 2).

Такая структура представляется нам адекватной, поскольку при прессовании абразивной массы на стадии производства инструмента зерна будут стремиться образовывать наиболее устойчивые геометрические структуры, т.е. тетраэдры. Исходя из этого, количество зерен наполнителя следует принимать равным числу зерен основной фракции, поскольку присоединение одного зерна к трем соприкасающимся зернам будет всегда приводить к образованию нового тетраэдра и, соответственно, новой поры, которую необходимо заполнить.

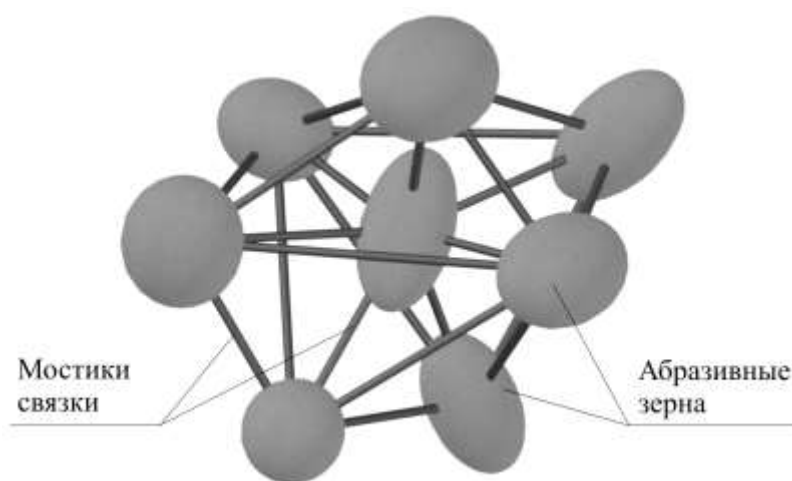


Рис. 2. Концептуальная модель структурного строения абразивного инструмента

Размер частиц наполнителя выбирается с условием, что они должны размещаться в межзерновом пространстве, образуемом зернами основной фракции. Для расчета размера зерен наполнителя в системе компьютерной математики MathCAD была создана стохастическая пространственная модель, описывающая межзерновое пространство.

При создании модели были приняты следующие допущения:

- форма зерен в виде эллипсоидов;
- пора рассматривается как пространство между любыми четырьмя соседними зернами, центры масс которых образуют неправильный тетраэдр;
- геометрические места зерен в пространстве определяются приближенно с заданной точностью приближения;
- каждое зерно описывается набором точек, лежащих на поверхности эллипсоида;
- геометрические параметры абразивного зерна (длина  $l$ , ширина  $b$  и высота  $h$ ) принимаются нормально распределенными;
- минимальные расстояния между соседними зернами принимаются равными между собой.

Построение модели осуществляется в несколько этапов.

На первом этапе задаются начальные параметры модели: номер структуры «базового» инструмента, т.е. инструмента, относительно которого проводятся расчеты; количество точек, описывающих поверхность моделируемых зерен; характеристики распределений геометрических параметров зерна (на основании данных [7]).

Второй этап включает расчет длины мостиков связки и определение геометрических параметров абразивных зерен. Поскольку геометрические параметры (длина  $l$ , ширина  $b$  и высота  $h$ ) являются случайными величинами с нормальным законом распределения и известными характеристиками распределения, то их расчет ведется по формуле:

$$x = \left( \sum_{i=1}^n \xi_i - \frac{n}{2} \right) \cdot \sigma_x + a_x, \quad (3)$$

где  $x$  – случайная величина с нормальным законом распределения;  $\xi_i$  – случайная величина, равномерно распределенная на интервале  $[0;1]$ ;  $n$  – количество равномерно распределенных случайных величин;  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение случайной величины  $x$ ;  $a_x$  – математическое ожидание случайной величины  $x$ .

На третьем этапе создаются непосредственно модели зерен и произвольно ориентируются в пространстве. Создание зерен производится путем создания матриц, содержащих координаты точек, лежащих около поверхностей эллипсоидов с полуосями  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Каждая матрица состоит из трех столбцов и имеет следующую структуру:

$M_{i,0}$	$M_{i,1}$	$M_{i,2}$
$x_0$	$y_0$	$z_0$
$x_1$	$y_1$	$z_1$
$x_2$	$y_2$	$z_2$
...	...	...
$x_n$	$y_n$	$z_n$

В первом столбце содержатся координаты точек по оси  $X$ , во втором по оси  $Y$  и в третьем по оси  $Z$ . В первой строке содержатся координаты центра эллипсоида ( $x_0, y_0, z_0$ ). Координаты точек определяются по следующему принципу: генерируются три случайных числа, принадлежащие интервалам  $xx \in [-x; x]$ ,  $yy \in [-y; y]$ ,  $zz \in [-z; z]$ ; затем проверяется соответствие системе двух неравенств:

$$\begin{cases} \left( \frac{xx}{x} \right)^2 + \left( \frac{yy}{y} \right)^2 + \left( \frac{zz}{z} \right)^2 < 1 \\ \left( \frac{xx}{x} \right)^2 + \left( \frac{yy}{y} \right)^2 + \left( \frac{zz}{z} \right)^2 > 0,99 \end{cases} \quad (4)$$

Если числа соответствуют условию, т.е. являются координатами точки, лежащей около поверхности эллипсоида, то они записываются в матрицу координат, иначе генерируется следующая тройка случайных чисел. Графическое представление модели единичного зерна дано на рис. 3.

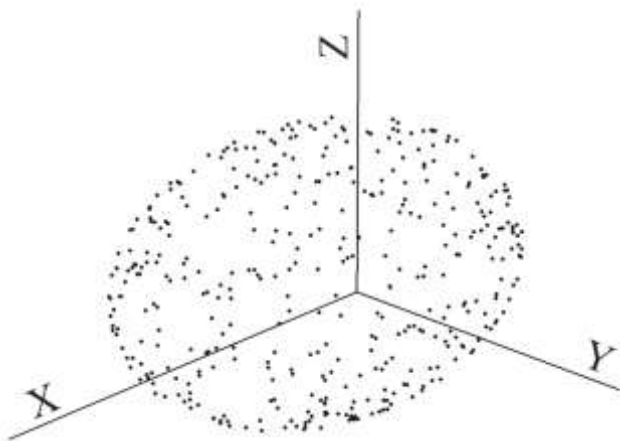


Рис. 3. Модель единичного зерна ( $n = 400$ )

Количество точек  $n$ , описывающих поверхность эллипсоида, выбирается из принципа: усредненные значения минимальных расстояний между точками на поверхности не должны превышать длину мостиков связки  $l_{св}$ . Увеличение числа точек повышает точность расчета, но одновременно значительно увеличивает время полного расчета модели, поэтому, например, для моделирования зернистости № 40 использование более 300 точек на зерно нецелесообразно.



Случайная ориентация зерен в пространстве производится путем умножения матриц координат зерен на матрицы преобразования (вращения) систем координат. Углы вращения  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – случайные числа, равномерно распределенные на интервале  $[0; 2\pi]$ .

Четвертый этап моделирования состоит в определении геометрического положения моделей зерен в пространстве путем последовательного их приближения. За основу берется зерно № 1, центр которого располагается в начале координат. Остальные зерна сдвигаются вдоль осей (зерно № 2 вдоль оси X, № 3 – Y и № 4 – Z) на расстояния, заведомо превышающие длину мостиков связки. Следующим шагом зерно № 2 приближается к зерну № 1. Приближение ведется вдоль оси X с шагом 1 мкм до тех пор, пока кратчайшее расстояние между зернами не достигнет  $l_{св}$ . Приближение зерна № 3 к зернам № 1 и № 2 ведется в плоскости XY по следующему принципу. Вычисляются расстояния от зерна № 3 до зерен № 1 и № 2 и выбирается наибольшее. Затем производится сдвиг зерна № 3 на 1 мкм в направлении наиболее удаленного зерна. Сдвиг производится вдоль прямой, на которой лежат центры эллипсоидов выбранной пары зерен. Однако, возможны случаи, когда в процессе приближения зерно № 3, не достигнув наиболее удаленного, уже может оказаться в зоне ближнего зерна. Для исключения таких ситуаций предусмотрена проверка: если расстояние от зерна № 3 до дальнего зерна все еще превышает  $l_{св}$ , а расстояние до ближайшего меньше  $l_{св}$ , то в таком случае зерно № 3 удаляется от ближайшего на 1 мкм вдоль прямой, на которой лежат центры данных эллипсоидов. Таким образом, циклический сдвиг продолжается до тех пор, пока округленные до целых значения расстояний между зернами не будут равны округленному значению  $l_{св}$ . Принцип приближения зерна № 4 аналогичен таковому для зерна № 3, но ведется не в плоскости, а по всему объему.

На пятом этапе определяются координаты точки, равноудаленной от всех четырех зерен. Изначально выбирается произвольная точка T в пространстве (в нашем случае используется начало координат). Затем точка циклически перемещается с шагом 1 мкм в сторону центра наиболее удаленного зерна на каждом этапе цикла. Перемещение продолжается до тех пор, пока расстояния (округленные до целых) от точки до зерен, не будут равны между собой. Диаметр вписанной между зернами сферы рассчитывается как удвоенное среднее арифметическое расстояний от точки T до всех четырех зерен.

Шестой этап заключается в визуализации модели. Пример визуализации модели приведен на рис. 4. Для наглядности представления при визуализации модели пространство внутри каждого из зерен заполнено линиями, соединяющими точки, лежащие на поверхности.

Проведя достаточное количество наблюдений, можно сделать вывод о параметрах распределения межзернового пространства инструмента с необходимыми характеристиками.

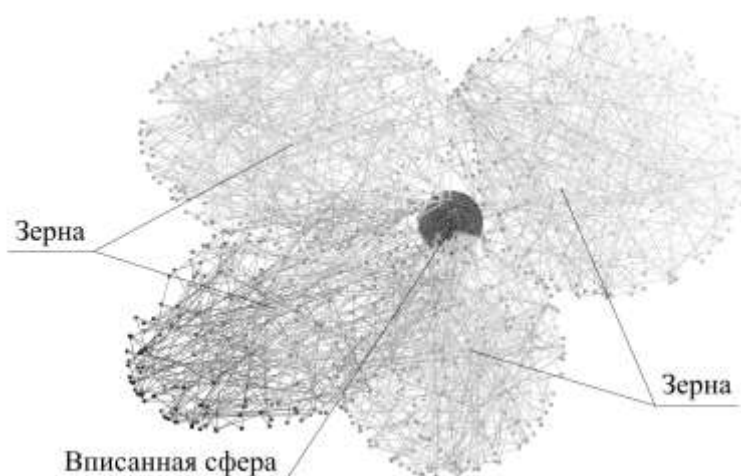


Рис. 4. Визуализация рассчитанной модели межзернового пространства

Следует также учитывать, что предложенная модель позволяет рассчитать распределение диаметров вписанных сфер, а форма реальных зерен значительно отличается от сферической. В данной ситуации нами предлагается сопоставлять кривые распределения диаметра вписанной сферы с кривыми распределения диаметров сфер объемами, эквивалентными объемам реальных зерен. В дальнейшем мы предлагаем называть такой диаметр «эквивалентным» диаметром зерна.

В качестве примера, для практической реализации предлагаемых принципов создания абразивного инструмента, нами был выбран широко распространенный инструмент структуры 7 из электрокорунда белого 25А40 на керамическом связующем.

С учетом указанных начальных данных было проведено 500 расчетов модели межзернового пространства. В результате получено распределение диаметра вписанной окружности, обладающее следующими параметрами:

- математическое ожидание  $\mu = 159,2$ ;
- среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 22,1$ .

В качестве наполнителя следует использовать зерна зернистостью, максимум распределения эквивалентного диаметра которой наиболее близок к максимуму распределения диаметра вписанной сферы, но не превышает ее (рис. 5).

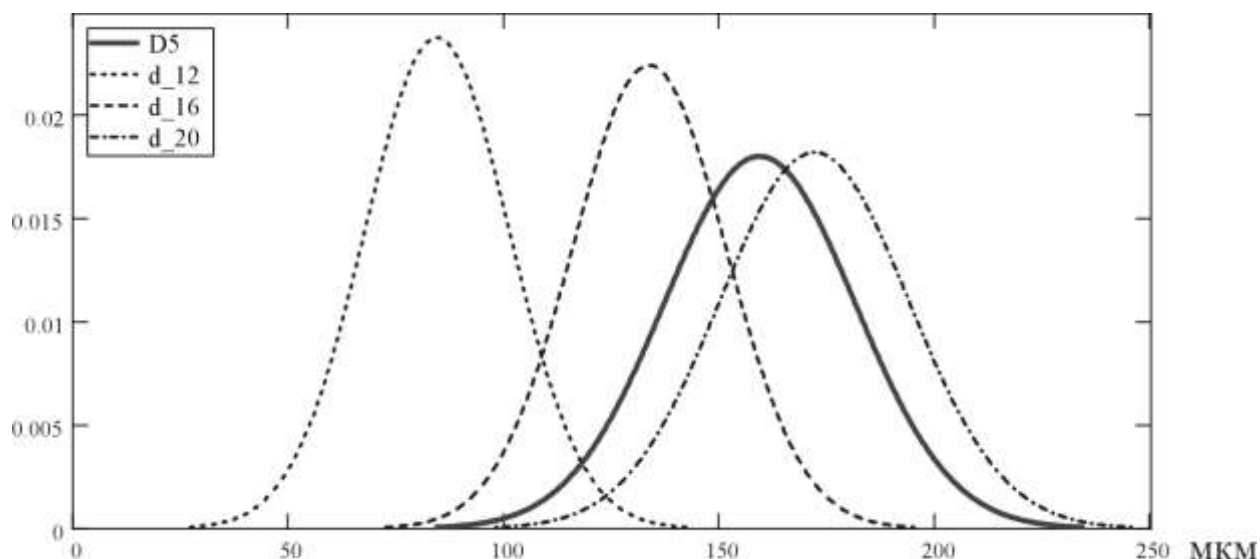


Рис. 5. Кривые распределения диаметров вписанных между зернами окружностей (D) и эквивалентных диаметров зерен фракций 12-Н (d\_12), 16-Н (d\_16) и 20-Н (d\_20)

По графикам распределения можно сделать вывод об использовании в качестве наполнителя электрокорунд белый зернистости 16-Н, поскольку при использовании зернистости 20-Н с очень высокой вероятностью будут возникать события, когда зерна наполнителя будут разупорядочивать зерна основной фракции.

Для практического обоснования разработанной технологии нами были созданы абразивные круги двух типов: по «классической» и по предлагаемой технологиям. В качестве материала основной фракции использовался электрокорунд белый марки 25А зернистостью 40-Н. Связка керамическая марки К5С. Структура инструмента №7. Твердость инструмента СМ2.

Круги по предлагаемому принципу изготавливались из тех же материалов, но с добавлением наполнителя – электрокорунд белого марки 25А зернистостью 16-Н в количестве 6% от массы зерен основной фракции.

Результаты испытаний показали повышение эффективности абразивной обработки по следующим показателям:

- инструмент, изготовленный по предлагаемой технологии, показал увеличение режущей способности на 33,9% при шлифовании стали 40X и на 24,8% при шлифовании стали ШХ15 по сравнению с инструментом, изготовленным по классической технологии;
- уменьшение линейного износа круга по сравнению с «классическим» на 44%;
- снижение неравномерности твердости круга по сравнению с «классическим» на 61%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Королев А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Ч. I. Состояние рабочей поверхности инструмента / А.В. Королев, Ю.К. Новоселов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1987. 160 с.
2. Кудряшов Б.П. Разработка абразивных кругов со специальной структурой для шлифования быстрорежущих сталей: дис. ... канд. техн. наук / Б.П. Кудряшов. Волгоград, 1983. 181 с.
3. Курдюков В.И. Научные основы проектирования, изготовления и эксплуатации абразивного инструмента: дис. ... доктора техн. наук / В.И. Курдюков. 2000. 496 с.
4. Лавров И.В. Шлифовальное зерно (технические характеристики, рекомендации по использованию) / И.В. Лавров // Труды ВНИИАШ. Л., 1975. 229 с.

**Мироседи Александр Ильич** –

ассистент кафедры «Технология обработки и производства материалов»  
Волжского института строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

*Статья поступила в редакцию 20.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 621.225

**Д.А. Никитин, М.В. Ерюшев, Д.Е. Постников**

#### **УЧЕТ НЕЛИНЕЙНОСТИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ЧУГУНОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ**

*Известно, что чугун не в полной мере подчиняется закону Гука. В настоящей работе показано влияние изменения упругих свойств чугуна в зависимости от нагрузки на результаты расчёта формы поршневых колец в свободном состоянии.*

**D.A. Nikitin, M.V. Erushev, D.E. Postnikov**

#### **BOUNCE FEATURES NONLINEARITY DEPENDENCE CONSIDERARATION FOR CAST IRON AT THE PISTON RINGS SHAPE CALCULATION**

*It's known that the cast iron doesn't comply fully with Gook law. Hereby the change of bounce features depending on loads is shown and it's affect to results of piston rings shape calculation.*

Перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения на ближайшие десятилетия в области двигателестроения неразрывно связаны с выполнением требований Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН).

Эффективность работы дизеля, его мощность, экономичность, срок службы, а также снижение расхода топлива и масла оговорены в требованиях EURO 1...6 ЕЭК ООН и во многом зависят от функционирования цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и, в частности, от нормальной работы поршневых колец.

Одним из путей повышения качества поршневых колец является повышение точности расчёта их формы в свободном состоянии. В настоящее время, как правило, расчёт ведут по уравнению изгиба кривого бруса:

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R} = \frac{M}{EJ}. \quad (1)$$

Однако, как известно, метод расчёта, основанный на уравнении изгиба кривого бруса, имеет ряд допущений, одним из которых является подчинение материала кольца закону Гука, что для чугуна не соответствует действительности.

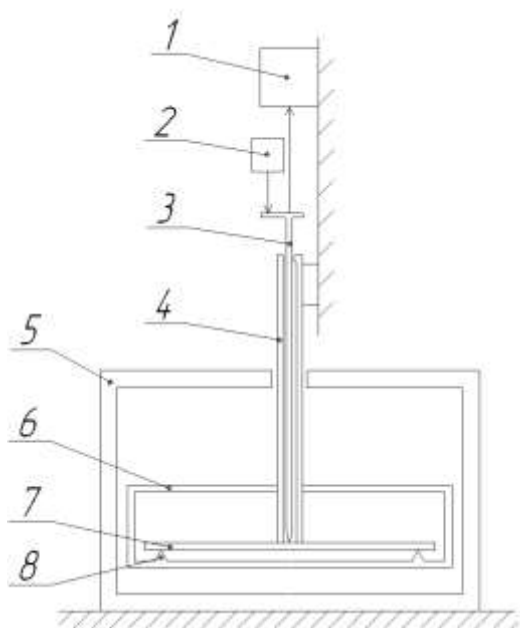


Рис. 1. Схема установки для проведения эксперимента: 1 – устройство для измерений перемещений; 2 – нагружающий механизм; 3 – нагрузочный стержень; 4 – фиксатор образца; 5 – корпус; 6 – измеритель перемещений; 7 – образец материала; 8 – базовые призматические опоры

Ранее был опубликован ряд статей [1, 2, 3], посвящённых исследованию этого вопроса. А в работе [4] даже предпринята попытка учесть отклонения модуля упругости при расчёте формы поршневых колец в свободном состоянии. Однако, на наш взгляд, авторы, интуитивно осознавая необходимость таких исследований, шли неверным путём, пытаясь найти зависимость изменения модуля упругости по периметру поршневых колец и объясняя её наличие условиями охлаждения заготовок.

С целью исключения этого недостатка нами на основе проведённых исследований была выведена зависимость условного модуля упругости бруса прямоугольного сечения от изгибающего момента. Суть исследований заключается в следующем: образец испытуемого материала располагается на призматических опорах и в центральной точке подвергается воздействию вертикальной нагрузки (рис. 1). При этом фиксируется величина прогиба образца, являющаяся функцией его механических и геометрических характеристик, т.е. косвенно характеризует величину условного модуля упругости при изгибе.

Модуль упругости при этом определяется исходя из следующего выражения:

$$E = \frac{P \cdot l^3}{4 \cdot Y \cdot b \cdot h^3}, \quad (2)$$

где  $E$  – условный модуль упругости, Па;  $P$  – величина сосредоточенной силы, Н;  $l$  – длина балки, м;  $Y$  – прогиб балки, м;  $b, h$  – размеры поперечного сечения балки, м.

Однако, полученная зависимость непригодна для использования непосредственно при расчёте колец. С целью исключения этого недостатка нами путём перерасчёта была выведена зависимость условного модуля упругости бруса данного сечения от изгибающего момента. Для серого специального чугуна эта зависимость имеет вид:

$$E(M) = -0,00009M^3 + 0,021664M^2 + 19,43799M + 5998,65563. \quad (3)$$

Геометрическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 2.

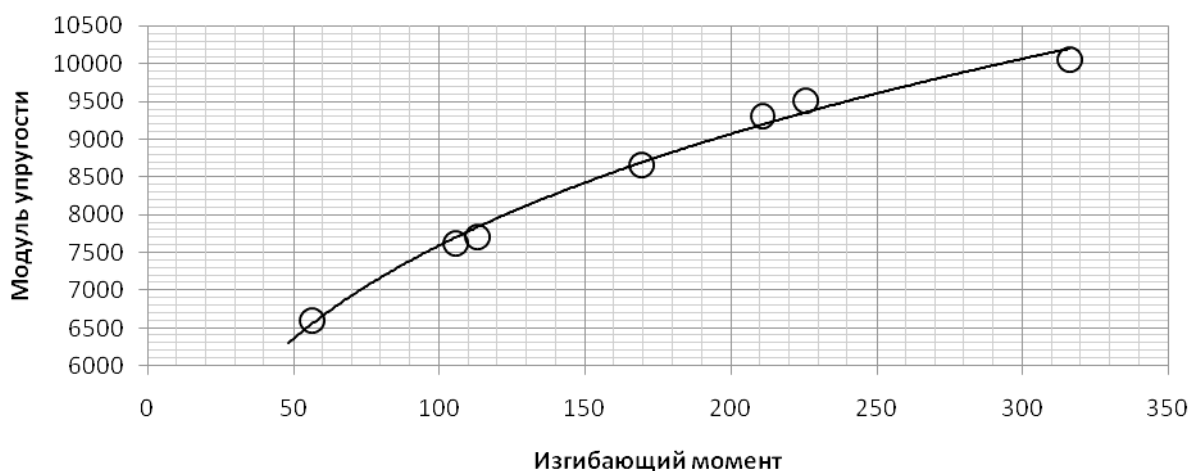


Рис. 2. Зависимость условного модуля упругости от величины изгибающего момента

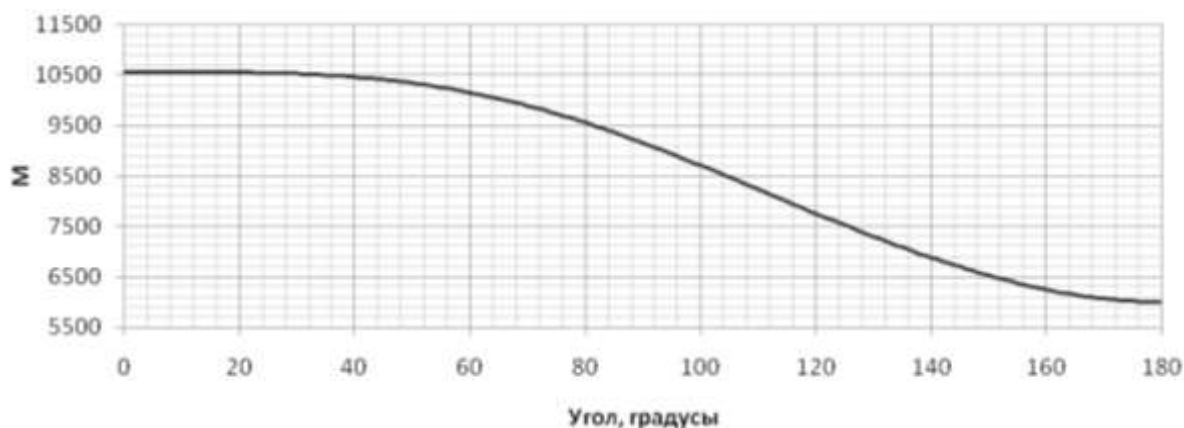


Рис. 3. Зависимость условного модуля упругости от угловой координаты кольца

Так как изгибающий момент в кольце в конечном итоге представляется в виде функции угловой координаты, то и зависимость модуля упругости для удобства при проведении вычислений мы представили в виде аналогичной зависимости, график которой представлен на рис. 3.

Анализ этой зависимости показывает, что наибольшего значения модуль упругости достигает в «спинке» кольца, а наименьшего – в зоне замка, что соответствует данным экспериментального исследования изменения модуля упругости от нагрузки.

Для анализа полученных результатов нами был произведён расчёт формы в свободном состоянии для поршневого кольца двигателя ЯМЗ (дет. 236-1004025В).

Расчёт производился тремя различными способами:

- по уравнению изгиба кривого бруса без учёта изменения модуля упругости;
- по методике, изложенной в [4];
- по уравнению изгиба кривого бруса с учётом зависимости условного модуля упругости от угловой координаты кольца.

Результаты расчёта радиусов кривизны представлены на рис.4.

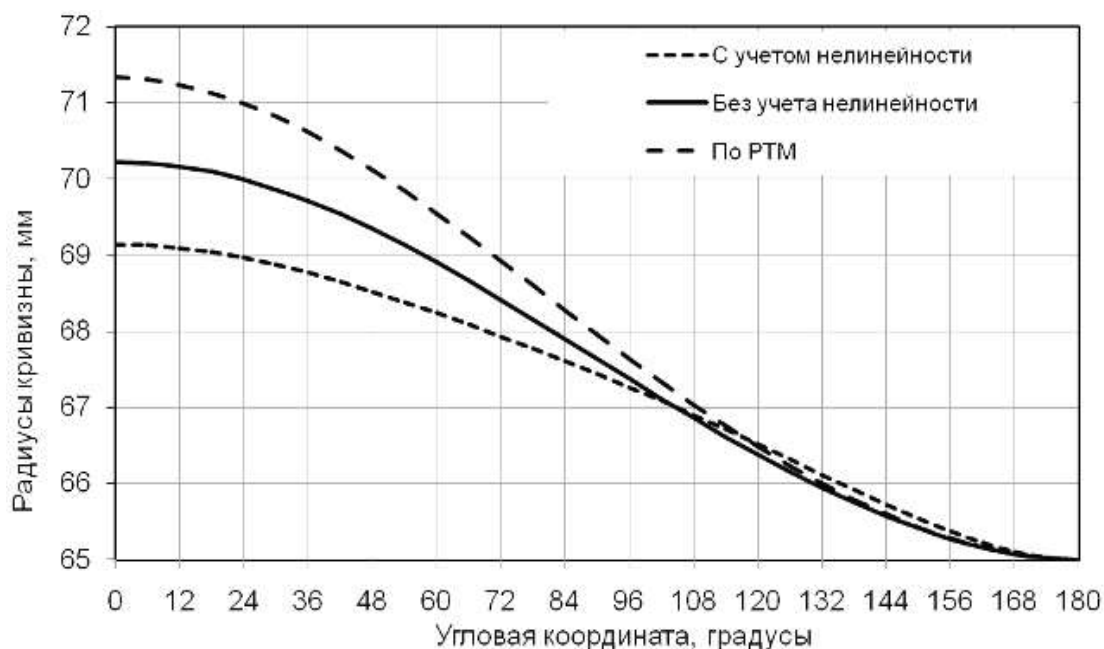


Рис. 4. Результаты расчетов радиусов кривизны

Анализ этого графика показывает, что радиусы кривизны кольца, рассчитанные по РТМ, превышают радиусы кривизны, рассчитанные без учёта изменения упругих свойств, по всему периметру кольца, что, на наш взгляд, противоречит результатам замеров условного модуля упругости при различных нагрузках. Так, по результатам экспериментов, для данного материала и данного распределения нагрузки, условный модуль упругости от спинки кольца до угловой координаты  $104^\circ$  выше табличного значения, а от этой точки и до замка – ниже (рис. 4). Следовательно, в соответствии с уравнением изгиба кривого бруса, радиусы кривизны кольца от 0 до  $104^\circ$  должны быть меньше, чем при расчёте без учёта изменения модуля упругости, а для угловых координат, превышающих  $104^\circ$  – больше. Такое характерное отклонение мы получаем при расчёте кольца с использованием зависимости упругости от величины изгибающих моментов, что подтверждает верность наших предположений.

Дальнейшей задачей исследований является практическая апробация результатов исследований на ОАО «Камаз-Дизель».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамович А.В. Определение механических свойств материала поршневых колец по его периметру / А.В. Адамович, Ю.Ю. Левинштейн // Тракторы и сельхозмашины. 1966. № 11. С. 11-16.
2. Загребин Г.Г. Анализ исследований изменения механических свойств материала по периметру поршневого кольца / Г.Г. Загребин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в АПК СНГ: сб. статей. Саратов: СГАУ, 1998. С. 18-26.
3. Голицын Ю.А. Некоторые результаты исследования модуля упругости материала поршневых колец / Ю.А. Голицын // Труды Саратовского института механизации сельского хозяйства им. М.И. Калинина. Вып. 22. Саратов, 1961. С. 54-56.
4. Методика расчета формы поршневых колец для дизелей и газовых двигателей при копирном способе формообразования. РТМ 24.060.36-81. М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по тяжелому и транспортному машиностроению, 1982. 48 с.

**Никитин Дмитрий Анатольевич** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов и стандартизация»  
Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Ерющев Михаил Владимирович** –

аспирант кафедры «Сопротивление материалов и стандартизация»  
Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

**Постников Денис Евгеньевич** –

аспирант кафедры «Сопротивление материалов и стандартизация»  
Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

*Статья поступила в редакцию 16.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 681.5

**Д.Ю. Петров**

## **НАДЕЖНОСТЬ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ**

*Предложена методика оценки надежности манипуляционных роботов (МР), разработанная на основе вероятностной кинематической модели. Данная методика позволяет получить статистический критерий качества работы манипулятора. Дано описание связи показателей надежности с технологическими допусками и с конфигурационными параметрами манипулятора. В качестве численного примера найдены показатели надежности двухзвенного плоского манипулятора и приведен анализ факторов, влияющих на надежность.*

**D.Yu. Petrov**

## **MANIPULATIVE ROBOTS RELIABILITY**

*The technique of manipulation robots reliability estimation, developed on a basis of probability kinematical model is offered here. The given technique allows receiving statistical criterion of the manipulator work quality. The description of communication of reliability parameters with the technological admissions and with configuration parameters of the manipulator is given in this article. As a numerical example the parameters of reliability of two-element flat manipulator are found and the analysis of the factors influencing reliability is given here as well.*

### **Введение**

Надежность работы МР является одним из основных показателей качества их эксплуатации. В большинстве публикаций, вышедших к настоящему времени, отражены отдельные исследования, в которых рассматриваются вероятностные модели механизмов с замкнутой

кинематической цепью. Однако вероятностный анализ функционирования механизмов с разомкнутой кинематической цепью (в том числе и МР) освещен недостаточно. К этому направлению и относится настоящая работа.

В работе применяется вероятностный подход к построению кинематической модели МР. Предлагается анализ оценки надежности МР, позволяющий сформировать статистический критерий качества работы манипулятора, а также представлена методика расчета оценки надежности. В основу методики положена гипотеза о нормальном (по Гауссу) распределении случайных величин, являющихся кинематическими параметрами МР.

В качестве конкретного примера проведен расчет надежности двухзвенного плоского МР с применением аналитического метода расчета, а также метода статистических испытаний (цифрового моделирования).

### 1. Кинематика манипуляционного робота

Выберем кинематическую схему функционирования МР, предполагающую определенное изменение его пространственной конфигурации. Данная конфигурация МР определяется зависимостями между обобщенными координатами, с одной стороны, а также положением и ориентацией рабочего органа (РО) МР – с другой, в известной функции времени.

Для описания вращательных и поступательных связей между соседними звеньями МР Денавит и Хартенберг [1] применили метод последовательного построения систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи. Рассмотрим схему двухзвенного узла МР с тремя кинематическими парами (КП) (данная схема графически представлена в монографии [2, с.131]).

По Денавиту – Хартенбергу, каждому звену (кинематической паре) соответствуют четыре геометрических параметра. При этом расстояние  $d_i$  и угол  $\theta_i$  между осями  $x_i, x_{i-1}$  систем осей координат, связанных с соседними звеньями, устанавливают относительное положение, а длина  $a_i$  и угол  $\alpha_i$  между координатными осями  $z_i, z_{i-1}$  (угол поворота звена) определяют структуру звеньев.

Для вращательной КП величины  $\alpha_i, a_i, d_i$  являются параметрами сочленения, а  $\theta_i$  – обобщенной координатой. Для поступательной КП величины  $\alpha_i, a_i, \theta_i$  являются параметрами сочленения, а  $d_i$  – обобщенной координатой.

Определение конфигурации МР, т.е. нахождение положения и ориентации его звеньев по заданным параметрам механической руки и обобщенным координатам, является прямой задачей кинематики ([2, с.29]). Эта задача решается путем применения известного векторно-матричного аппарата, в котором используются системы ортогональных координатных базисов, связанных с соответствующими звеньями МР.

Относительное положение двух смежных звеньев МР можно характеризовать, применяя однородную матрицу преобразования (матрицу преобразования по Денавиту – Хартенбергу [1]; см. также [2, с.57]), имеющую следующую структуру

$$\mathbf{D}_{i-1}^i = \begin{bmatrix} A_i & B_i & B_i^* & aA_i \\ 0 & & & I_i \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Здесь блочные матрицы имеют вид

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i \\ \sin \theta_i \end{bmatrix}, \quad \mathbf{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I}_i = \begin{bmatrix} d_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_i^* = \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_i},$$

$$\mathbf{B}_i = [-\cos \alpha_i \sin \theta_i, \quad \cos \alpha_i \cos \theta_i, \quad \sin \alpha_i, \quad 0]^T.$$

Матрица  $\mathbf{D}_{i-1}^i$  связывает координатные ортобазисы, имеющие номера  $i$ , с координатным ортобазисом номера  $i-1$ . Тогда конфигурация МР определяется результирующей матрицей («матрицей манипулятора» [2, с.60])



$$\mathbf{T} = \mathbf{D}_0^1 \mathbf{D}_1^2 \cdots \mathbf{D}_{n-1}^n = \prod_{i=1}^n \mathbf{D}_{i-1}^i, \quad (2)$$

где  $\mathbf{D}_{i-1}^i$  – матрица структуры (1);  $n$  – число сочленений манипулятора.

Матрица  $\mathbf{T}$  (2) может быть представлена в виде

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \vec{n} & \vec{s} & \vec{a} & \vec{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где в первой строке содержатся векторы нормали к РО, касательный вектор РО (вектор ориентации), вектор подхода РО и вектор его положения, соответственно. При этом упорядоченная совокупность  $(\vec{n}, \vec{s}, \vec{a})$  образует тройку векторов правой ориентации [3].

## 2. Классификация вероятностных погрешностей

В процессе работы МР при управлении его движением заданные параметры конфигурации (положения и ориентации) звеньев преобразуются в соответствующий упорядоченный набор обобщенных координат. Это преобразование является результатом решения обратной задачи кинематики. Информация о полученном наборе координат направляется в управляющее устройство, формирующее исполнительные сигналы для приводов, находящихся в сочленениях МР. Данные приводы обеспечивают заданные перемещения звеньев, в результате чего формируется конфигурация МР.

При практической реализации данного алгоритма возникает определенное расхождение между заданной и фактически полученной конфигурацией МР, обусловленное возникающими погрешностями (ошибками). Приведем основные возможные причины возникновения этих погрешностей.

### *Производственно-сборочные погрешности*

Отклонения кинематических параметров руки МР от номинальных могут быть вызваны производственными и сборочными допусками. Эти отклонения могут быть минимизированы заданием минимально возможных допусков. Практически такой подход неприемлем ввиду связанных с этим больших издержек производства. Альтернативой такому подходу является определение максимально точных значений кинематических параметров путем применения адекватных методов идентификации. Однако это, в свою очередь, потребует использования сложных измерительных устройств. Помимо этого, процедуры измерений являются трудоемкими и малоэффективными для применения в массовом производстве. Поэтому для определения параметров каждого МР, сходящего со сборочной линии, их использование неприемлемо. При этом следует отметить, что даже абсолютно точное измерение параметров МР не может идеально обеспечить его заданную конфигурацию ввиду систематически возникающих случайных ошибок в полученных значениях обобщенных координат его элементов.

### *Погрешности приводов и алгоритмов управления*

Погрешности этого вида порождаются рядом причин, среди которых существенное значение имеют следующие: наличие зазоров в зубчатых передачах, упругость зубчатых передач, систематические ошибки двигателей приводных устройств, а также накопление погрешностей, вызванных округлениями значений параметров в алгоритмах управления.

Все эти погрешности вызывают тенденцию дрейфа значений обобщенных параметров МР. Частичной компенсации этих погрешностей можно достичь установкой в кинематических парах датчиков, передающих считываемую ими информацию о фактических значениях обобщенных координат в канал обратной связи. Поскольку разрешающая способность датчиков реально ограничена, то такого рода погрешности полностью исключить невозможно.

*Погрешности, обусловленные зазорами в подшипниках*

Погрешности этого рода влияют на величины кинематических параметров МР и для различных типов КП построены соответствующие им математические модели погрешностей, возникающих при работе МР.

Все вышеупомянутые погрешности имеют вероятностную природу. Однако существуют погрешности, не носящие случайного характера. К таким погрешностям относятся, в частности, погрешности, обусловленные упругой деформацией звеньев МР. Эти погрешности относятся к существенным для малогабаритных МР, работающих с большими скоростями. Однако для большинства МР с достаточно жесткими звеньями погрешности данного рода являются малосущественными.

Если отклонения кинематических параметров отдельного МР от заданных (номинальных) являются пренебрежимо малыми, так что их вероятностное распределение соответствует изменениям кинематических параметров целого класса МР данного типа, то такого рода погрешности по характеру являются **глобальными**.

Как известно, каждый конкретный МР имеет индивидуальные систематические ошибки измерения обобщенных координат. Вследствие этого данные ошибки можно считать **локальными**. Распределения этих погрешностей отвечают не только дрейфу обобщенных координат данного конкретного МР, но и отклонениям, соответствующим определенному классу МР.

### 3. Классификация надежности манипуляционного робота

Рассмотрим вопрос о классифицировании типов надежности функционирования МР в зависимости от характера выполняемых ими операций. Под надежностью МР понимается вероятность попадания значений параметров, совокупность которых характеризует конфигурацию (положение и (или) ориентацию) МР, в диапазон требуемых значений. Назовем диапазон требуемых значений данных параметров **областью допустимых значений (ОДЗ)**. Размеры и конфигурация ОДЗ определяются назначением МР и особенностями его конструкции.

Анализ широкого класса ОДЗ позволяет выделить следующие основные типы надежности МР.

#### 3.1. Надежность по положению (Position)

Этот тип надежности можно подразделить на следующие подтипы.

##### **Надежность типа P-1 (Position-1)**

Предполагается, что РО МР-схват расположен в плоскости, параллельной рабочей плоскости. В этом классе надежности на положение схвата в плоскости его расположения налагаются более жесткие допуски, чем на его расстояние от рабочей плоскости.

Рассмотрим конкретный случай, при котором МР выполняет операцию по наведению и закручиванию винта в отверстие с резьбой. Примем, что рабочая плоскость расположена ортогонально оси отверстия, а ось винта параллельна оси отверстия. Тогда ось винта должна быть расположена максимально близко к оси отверстия. При выполнении этих условий до контакта винта с окрестностью резьбового отверстия расстояние от винта до отверстия не играет существенной роли. В этом случае допуски можно определить как максимальное удаление  $\Delta\ell$  оси отверстия от оси винта. Тогда ОДЗ будет являться прямым круговым цилиндром радиуса  $\Delta\ell$ , соосным с резьбовым отверстием. Надежность, соответствующая ОДЗ данного вида, определяется как надежность типа P-1.

Определим выражение для величины смещения оси винта относительно оси резьбового отверстия  $(\Delta\ell)_a$ . Пусть в заданном координатном ортобазисе точка пересечения резьбового отверстия с рабочей плоскостью определяется координатами  $(x_0, y_0, z_0)$ , а фактическое положение схвата МР-координатами  $(x_r, y_r, z_r)$ . Зададим рабочую плоскость уравнением [3]

$$A_1(x - x_0) + A_2(y - y_0) + A_3(z - z_0) = 0, \quad (4)$$

где  $A_1, A_2, A_3$  – координаты направляющего вектора оси резьбового отверстия;  $(x, y, z)$  – координаты текущей (произвольной) точки этой плоскости. Тогда

$$(\Delta\ell)_a = \left[ \sum_{i=1}^3 \left( \frac{A_i \delta}{|A|} - x_{0i} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (5)$$

В формуле (5) обозначено:

$$\delta = D - (A_1 x_r + A_2 y_r + A_3 z_r), \quad D = A_1 x_0 + A_2 y_0 + A_3 z_0, \\ |A| = \left( \sum_{i=1}^3 A_i^2 \right)^{1/2}, \quad (x_{01}, x_{02}, x_{03}) = (x_0, y_0, z_0). \quad (6)$$

Таким образом, надежность типа P-1 определяет вероятность реализации значения  $(\Delta\ell)_a < \Delta\ell$ , где величина  $(\Delta\ell)_a$  определяется равенством (5).

### Надежность типа P-2 (Position-2)

Этот класс надежности предусматривает наложение более жестких требований к допускам на расстояние РО до рабочей плоскости, чем требования к допускам, налагаемым на положение РО в плоскости, параллельной рабочей плоскости. Типовым примером такого рода операций является процесс металлонапыления поверхностей деталей, когда наконечник (сопло) распылителя должен располагаться на заданном расстоянии от напыляемой поверхности. При этом положение самого распылителя на плоскости, параллельной рабочей плоскости, имеет второстепенное значение.

Пусть  $\langle d \rangle$  – номинальное или среднее значение расстояния от РО до рабочей плоскости, а  $\Delta d$  – величина заданного допуска на данный параметр. Тогда расстояние от РО до рабочей плоскости определяется как  $\langle d \rangle \pm \Delta d$  и ОДЗ в этом случае является полосой, параллельной рабочей плоскости, шириной  $2\Delta d$ , срединная плоскость которой отстоит на расстоянии  $\langle d \rangle$  от рабочей плоскости. Надежность, соответствующая ОДЗ данного вида, классифицируется как надежность типа P-2.

Обозначим  $(x_d, y_d, z_d)$  координаты точки в заданном координатном ортобазисе, совпадающей с требуемым положением РО, находящемся на расстоянии  $\langle d \rangle$  от фиксированной плоскости, определяемой уравнением (4). Тогда [3]

$$\langle d \rangle = |A|^{-1} [\mathbf{D} - (A_1 x_d + A_2 y_d + A_3 z_d)].$$

Фактическое расстояние от РО до рабочей плоскости определяется равенством

$$d_r = |A|^{-1} [\mathbf{D} - (A_1 x_r + A_2 y_r + A_3 z_r)], \quad (7)$$

где координаты  $(x_r, y_r, z_r)$  определяют фактическое положение РО, а параметры  $|A|, \mathbf{D}$  находятся по формулам (6).

Обозначив через  $(\pm \Delta d)$  заданный допуск на значение параметра  $\langle d \rangle$ , заключаем, что надежность типа P-2 определяет вероятность реализации величины  $d_r$ , вычисляемой по формуле (7), в интервале значений  $(\langle d \rangle - \Delta d, \langle d \rangle + \Delta d)$ .

### Надежность типа P-3 (Position-3)

Классификация надежности типов P-1 и P-2 не предусматривает наложения ограничений на положение РО, ни в заданной плоскости, ни вдоль заданной линии. Однако существуют конвейерно-сборочные операции, при выполнении которых требуется полностью ограничить положение РО. К такого рода операциям относятся, в частности, манипуляции, выполняемые при сборке микросхем и при точечной сварке на рабочей плоскости. В качестве допусков при этом можно задавать максимальные отклонения координат  $(x, y, z)$  положения РО от их средних значений  $(\pm \Delta x, \pm \Delta y, \pm \Delta z)$ , а в качестве ОДЗ принять область в виде прямоугольного параллелепипеда с длинами ребер  $2(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ , центр которого совпадает

с требуемым положением РО. Надежность, соответствующая ОДЗ данного вида, определяется как надежность типа Р-3.

Надежность данного типа при заданной ОДЗ понимается как вероятность реализации параметров  $(x_r, y_r, z_r)$ , значения которых реализуются внутренними точками ОДЗ:

$$\begin{aligned}x_d - \Delta x < x_r < x_d + \Delta x, \\y_d - \Delta y < y_r < y_d + \Delta y, \\z_d - \Delta z < z_r < z_d + \Delta z.\end{aligned}$$

Таким образом, из трех рассмотренных типов надежности надежность типа Р-3 обеспечивает наибольший запас, так как при одних и тех же условиях она имеет наименьшее значение.

### 3.2. Надежность по ориентации (Orientation)

Этого рода надежность определяется только по отношению к погрешностям ориентирования РО. Ориентация РО МР полностью определяется векторным ориентационным базисом  $R = (\vec{n}, \vec{s}, \vec{a})$ , входящим в подматрицу матрицы  $\mathbf{T}$  (3) преобразования координат РО в уравнении (2).

Данный тип надежности можно подразделить на следующие подтипы в зависимости от способа задания ограничений на ориентацию.

#### Надежность типа О-1 (Orientation-1)

При выполнении МР некоторых операций (например, при сверлении отверстий) для обеспечения выполнения цели достаточно задать только один из ортов ориентационного базиса  $R$ . Тогда для определения ОДЗ достаточно задать минимально и максимально допустимые значения направляющих косинусов выбранного из  $R$  вектора относительно основного координатного базиса.

В случае, когда фактические значения направляющих косинусов находятся в заданных пределах, ориентация РО приемлема для достижения поставленной цели операции.

Таким образом, надежность типа О-1 определяет вероятность реализации фактических значений направляющих косинусов в указанных допустимых пределах.

#### Надежность типа О-2 (Orientation-2)

Для выполнения ряда высокоточных сборочных операций требуется задать полную ориентацию РО в основном координатном базисе. Это приводит к необходимости задать все три вектор-параметра базиса  $R$ , например, углы Эйлера  $\varphi, \theta, \psi$ .

Соотношения связи между углами Эйлера и координатами ортов базиса  $R$  могут быть получены методом обратных преобразований, связанных с базовой матрицей ортобазиса  $R$

$$\begin{bmatrix}n_x & s_x & a_x \\n_y & s_y & a_y \\n_z & s_z & a_z\end{bmatrix},$$

при решении обратной задачи кинематики в эйлеровых координатах. Решение этой задачи неоднозначно и, в зависимости от применяемого способа, приводит к следующим группам ([2, с.73,74]).

Первая группа

$$\begin{aligned}\varphi &= \text{ATAN2}(a_x, -a_y), \\ \theta &= \text{ATAN2}(a_x \sin \varphi - a_y \cos \varphi, a_z), \\ \psi &= \text{ATAN2}(-s_x \cos \varphi - s_y \sin \varphi, n_x \cos \varphi + n_y \sin \varphi).\end{aligned}\tag{8}$$

Вторая группа

$$\begin{aligned}\varphi &= \text{ATAN2}(n_y \cos \psi - s_y \sin \psi, n_x \cos \psi - s_x \sin \psi), \\ \theta &= \text{ATAN2}(n_z \sin \psi + s_z \cos \psi, a_z), \\ \psi &= \text{ATAN2}(n_z, s_z).\end{aligned}\tag{9}$$

Здесь  $\text{ATAN}$  – специальная обратная тригонометрическая функция [2], однозначно определяющая значения углов Эйлера, полученных в результате обратного преобразования.

Соотношения (8), (9) обеспечивают устойчивый вычислительный алгоритм и впервые получены в работе [4].

Если задать максимально допустимые отклонения значений углов Эйлера от их средних значений, то вероятность попадания фактических значений этих углов в ОДЗ определит надежность типа О-2.

### 3.3. Полная надежность

Для большинства случаев промышленного применения МР при определении суммарной (полной) надежности требуется определить надежность как по положению, так и по ориентации в комплексе. В частности, при выполнении МР операции по наведению и завинчиванию винта в отверстие с резьбой для определения полной надежности следует комбинировать надежности типов Р-1 и О-1. Это обуславливает вероятность одновременного попадания параметров положения и ориентации РО в пределы их соответствующих ОДЗ так, как это было установлено при классифицировании надежностей типов Р-1 и О-1.

## 4. Расчет надежности манипуляционного робота

Как известно, надежность работы МР можно рассчитать путем применения либо аналитического, либо численного метода, в частности, метода численного моделирования. Приведем описание применения каждого из этих методов.

### 4.1. Применение аналитического метода

Применение этого метода предполагает предварительное построение аналитической вероятностной модели кинематики МР. В основу данной модели положена центральная предельная теорема теории вероятностей ([5, с.454]; [6, с.506]). В силу этого примем, что параметры, определяющие положение и ориентацию РО, соответствуют закону нормального совместного распределения вне зависимости от распределений кинематических параметров и обобщенных координат.

Алгоритм применения данного метода сводится к следующему. Определяются вероятностные параметры: математические ожидания, дисперсии  $\sigma^2$ , ковариации  $\sigma$  параметров конфигурации РО. Для этого применяются кинематические уравнения МР, связывающие его кинематические параметры и обобщенные координаты с параметрами конфигурации. На основе найденных величин строится описание функции нормального совместного распределения.

Математические ожидания параметров конфигурации РО МР определяются на основе математических ожиданий случайных величин кинематических параметров и обобщенных координат. Величины дисперсий и ковариаций параметров определяются с применением правила частных производных.

Найденные величины математических ожиданий, дисперсий и ковариаций позволяют определить функцию плотности вероятностей двумерного нормального совместного распределения. Это дает возможность найти надежность МР путем интегрирования по ОДЗ найденной функции плотности вероятностей нормального совместного распределения.

При использовании данного алгоритма в рамках аналитического метода следует учитывать некоторые особенности, сводящиеся к следующему. Применение правила частных производных приносит дополнительные погрешности; они обусловлены усечением разложений соответствующих функций в ряды Тейлора в окрестности математических ожиданий. Кроме того, дополнительные погрешности вносятся и в результате выполнения двойного интегрирования по ОДЗ функции плотности вероятностей. Эти факторы снижают точность ожидаемого результата вычислений.

## 4.2. Применение метода статистических испытаний

В целях оценки достоверности результатов расчета надежности МР, полученных аналитическим методом, применяется альтернативный ему метод – метод статистических испытаний. Алгоритм применения этого метода состоит в следующем.

1. Первоначально устанавливается множество случайных величин, к которым относятся кинематические параметры МР и его обобщенные координаты.

2. Затем принимаются законы распределения вероятностей случайных величин. В дальнейшем для всех случайных величин принимается нормальное (гауссово) распределение вероятностей, одномерная предельная форма которого представляется плотностью распределения вида [7]

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-a}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (-\infty < x < +\infty), \quad (10)$$

где  $a$ ,  $\sigma$  – математическое ожидание и стандартное отклонение независимых одинаково распределенных случайных величин, соответственно.

3. Следующим шагом на основе принятого закона распределения вероятностей находят значения вероятности каждой случайной величины, в результате чего определяется совокупность случайных величин, позволяющая установить конфигурацию области возможных значений (ОВЗ) параметров РО.

4. Определяется конфигурация ОВЗ параметров РО.

5. Определяется исход каждого отдельного статистического испытания путем проверки принадлежности значений параметров конфигурации ОВЗ РО соответствующей ОДЗ.

Повторяя последовательно все предыдущие шаги данного алгоритма, следует провести достаточно много таких испытаний. В результате надежность  $W$  определяется равенством

$$W = \frac{n_*}{n}, \quad (11)$$

где  $n_*$ ,  $n$  – количество успешных испытаний и количество всех проведенных испытаний.

Получением соотношения (11) завершается одношаговая процедура цифрового моделирования. В целях повышения достоверности результата количество таких шагов должно быть достаточно большим.

## 5. Надежность двухзвенного плоского манипуляционного робота

Применим описанные выше алгоритмы для расчета механизма, схема которого представлена в полярных координатах  $r$ ,  $\theta$  на рис. 1 ([2, с.117]).

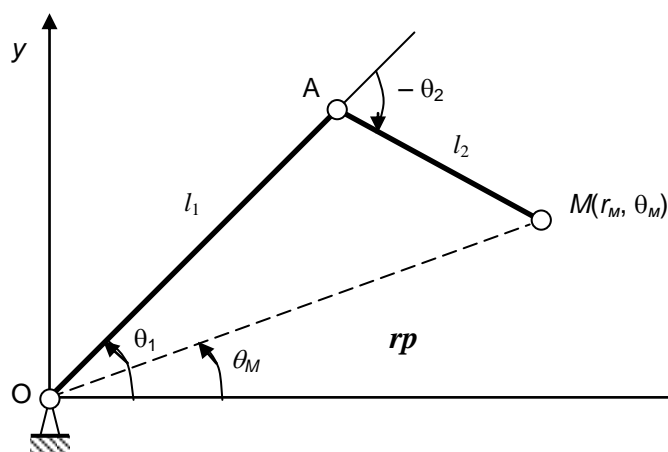


Рис. 1. Схема двухзвенного плоского манипулятора

Конфигурационные параметры МР  $l_1, l_2, \theta_1, \theta_2$  изначально предполагаются независимыми случайными величинами, распределенными по закону Гаусса (10).

Положим:  $l_1 = 0,12$  м,  $l_2 = 0,06$  м,  $\sigma(l_1) = \sigma(l_2) = 10^{-4}$  м,  $\sigma(\theta_1) = \sigma(-\theta_2) = 1,745 \cdot 10^{-3}$  рад, где  $\sigma$  – символ стандартного отклонения заданных величин от их номинальных значений. Тогда надежность МР определяется как вероятность  $P(r, \theta)$  попадания параметров его конфигурации в ОДЗ – кольцевой сегмент с размерами  $(2\Delta r, 2\Delta\theta)$ , рис. 2:

$$W = P[\bar{r} - \Delta r \leq r \leq \bar{r} + \Delta r, \quad \bar{\theta} - \Delta\theta \leq \theta \leq \bar{\theta} + \Delta\theta], \quad (12)$$

где  $(\Delta r, \Delta\theta) > 0$ .

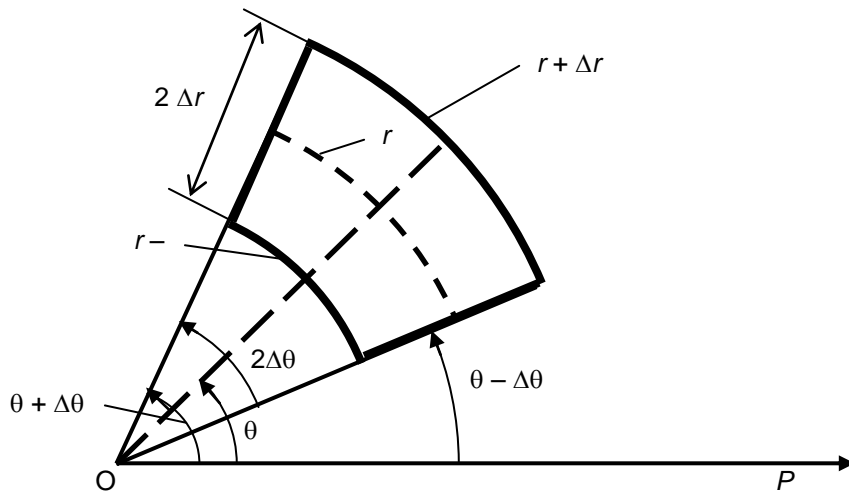


Рис. 2. ОДЗ параметров манипуляционного робота на координатной плоскости

В формуле (12) и всюду в дальнейшем черта сверху – символ математического ожидания данной величины.

В численных расчетах, приведенных ниже, принято:  $\Delta r = 3 \cdot 10^{-4}$  м,  $\Delta\theta = 2,91 \cdot 10^{-3}$  рад.

### 5.1. Применение аналитического метода

Применим алгоритм аналитического метода. Координаты положения РО  $M(r_M, \theta_M)$  определяются равенствами

$$\begin{aligned} r_M &= (\ell_1^2 + \ell_2^2 + 2\ell_1\ell_2 \cos \theta_2)^{\frac{1}{2}}, \\ \sin|\theta_1 - \theta_M| &= \frac{\ell_2}{r_M} \sin|\theta_2|, \end{aligned} \quad (13)$$

следующими из схемы (рис. 1).

Вычислим двумерную функцию плотности вероятностей нормального совместного распределения  $p(r, \theta)$  величин  $r_M, \theta_M$ . Для этого следует вычислить математическое ожидание  $M(r_M, \theta_M) = (\bar{r}_M, \bar{\theta}_M)$  и дисперсии  $\sigma_r^2, \sigma_\theta^2$ , применяя, в силу (13), соотношения

$$\bar{r}_M = (\bar{\ell}_1^2 + \bar{\ell}_2^2 + 2\bar{\ell}_1\bar{\ell}_2 \cos \bar{\theta}_2)^{\frac{1}{2}}, \quad \sin|\bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_M| = \frac{\bar{\ell}_2}{\bar{r}_M} \sin|\bar{\theta}_2|$$

$$\sigma_r^2 = \sum_{i=1}^4 \left( \frac{\partial r_M}{\partial p_i} \right)_k^2 \sigma_{p_i}^2, \quad \sigma_\theta^2 = \sum_{i=1}^4 \left( \frac{\partial \theta_M}{\partial p_i} \right)_k^2 \sigma_{p_i}^2, \quad \sigma_{r\theta} = \sum_{i=1}^4 \left( \frac{\partial r_M}{\partial p_i} \right)_k \left( \frac{\partial \theta_M}{\partial p_i} \right)_k. \quad (14)$$

В равенствах (14) следует принять:  $p_1=l_1, p_2=l_2, p_3=\theta_1, p_4=\theta_2$ , а нижний индекс « $k$ » относится к значениям частных производных, вычисленным в точках области, соответствующих математическим ожиданиям.

Двумерная функция плотности вероятностей нормального совместного распределения величин  $r_M, \theta_M$  согласно равенствам (14), определяется соотношением ([6, с.520]).

$$\varphi(r_M, \theta_M) = \frac{1}{2\pi\sigma_r\sigma_\theta\sqrt{1-\rho^2}} \Phi(\rho, r_M, \theta_M), \quad (15)$$

где

$$\Phi(\rho, r_M, \theta_M) = \exp \left[ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} (u_r^2 - 2\rho u_r u_\theta + u_\theta^2) \right].$$

В равенстве (15) обозначено

$$u_r = \frac{r_M - \bar{r}_M}{\sigma_r}, \quad u_\theta = \frac{\theta_M - \bar{\theta}_M}{\sigma_\theta}, \quad \rho = \frac{\sigma_{r\theta}}{\sigma_r\sigma_\theta}.$$

Согласно выражению (16) надежность МР определяется соотношением

$$W = \int_{-w_\theta}^{w_\theta} d\theta_M \int_{-w_r}^{w_r} \varphi(r_M, \theta_M) dr_M, \quad (16)$$

где  $w_r = \Delta r / \sigma_r, w_\theta = \Delta \theta / \sigma_\theta$ .

Численный расчет величины  $W$  (16) для принятых выше конфигурационных параметров проведен с помощью системы Mathcad 2001. Результаты вычислений, проведенных данным методом, представлены в таблице ( $\alpha = \theta_1 - \theta_M$ ).

При расчете величины  $W$  (16) дополнительно учитывается условие  $\bar{r}_M \leq \bar{l}_1 + \bar{l}_2$ . При невыполнении этого условия значению функции  $\varphi(r_M, \theta_M)$  присваивается нуль. Это позволяет провести расчет, исключив нереализуемое событие  $\bar{r}_M > \bar{l}_1 + \bar{l}_2$ , которое возможно для первого набора исходных данных, приведенного в таблице.

#### Надежность двухзвенного плоского манипуляционного робота

№	Математические ожидания				Надежность $W$			
	$\bar{\theta}_1$ , рад	$\bar{\theta}_2$ , рад	$\bar{r}_M$ , м	$\bar{\theta}_M$ , рад		Аналитический метод		Усредненные значения цифрового моделирования
				$\alpha \square > 0$	$\alpha < 0$	$\alpha \square > 0$	$\alpha < 0$	
1	0	0	0,180	0	0	0,427969	0,427969	0,427853
2	$\pi/4$	$-\pi/4$	0,168	0,53	1,041	0,836816	0,844288	0,841234
3	0	$\pi/2$	0,134	0,464	-0,464	0,825502	0,825502	0,825712
4	$\pi/6$	$\pi/3$	0,159	0,857	0,190	0,810446	0,857215	0,834318

#### 5.2. Применение метода статистических испытаний

Цифровое моделирование с применением этого метода предусматривает генерирование нормально распределенных случайных чисел. Расчет надежности МР для каждой его конфигурации производится на основе результатов большого количества экспериментов. Результаты цифрового моделирования, усредненные по модельным группам, приведены в таблице.



*Сопоставление с аналитическим методом*

Расхождение в показателях надежности, полученных каждым из примененных методов для данной конфигурации МР, обусловлено наличием суммарных погрешностей, различных для каждого из этих методов. Никакой из данных методов при одинаковых принятых предпосылках не имеет явно выраженного предпочтения перед другим.

Применение аналитического метода неизбежно связано с последовательным накоплением погрешностей в процессе вычислений. При этом суммарная погрешность пропорциональна количеству выполненных вычислительных операций. Помимо этого, при использовании этого метода на точность вычисления влияют факторы, отмеченные выше (применение правила частных производных при вычислении вариаций, а также приближенное вычисление интеграла (16)).

*Факторы, влияющие на надежность*

Степень надежности МР, согласно равенству (16), измеряется вероятностью, полученной путем интегрирования функции плотности вероятностей, которая, в свою очередь, есть функция математических ожиданий совокупности параметров конфигурации МР. Следовательно, различным конфигурациям РО в конфигурационном пространстве соответствуют определенные (вообще говоря, различные) показатели надежности МР. Вследствие этого, если расположение РО не задано, то получить единственное значение надежности принципиально невозможно.

Как правило, МР промышленного применения выполняют ряд повторяющихся программно заданных операций. Это позволяет выделить в рабочем пространстве позиционные точки, в которых МР выполняет конкретную операцию или программно заданную последовательность операций. Тогда имеется возможность определить показатели надежности, соответствующие данным позиционным точкам.

В случаях, при которых для выполнения данной задачи МР может принимать несколько конфигураций, предоставляется возможность выбрать из этого множества конфигурацию, обеспечивающую более высокую надежность.

Способность МР достичь заданной конфигурации в конфигурационном пространстве характеризуется его точностью, определяемой расстоянием между заданным и фактическим положением РО. В свою очередь, показателем точности может являться повторяемость МР, т.е. его способность повторить свое движение с заданной точностью. Повторяемость определяется расстоянием в конфигурационном пространстве между конечными положениями РО при многократном выполнении одной и той же операции.

Для выполнения МР работы высокого качества показатели точности и повторяемости являются определяющими.

Показатели надежности можно применить для оценки как точности, так и повторяемости МР. Точность определяется погрешностями его кинематических параметров и обобщенных координат. Тогда надежность, вычисленная как функция математических ожиданий совокупности кинематических параметров и обобщенных координат, является достоверным критерием точности МР.

Повторяемость МР определяется только погрешностями обобщенных координат. Считая все кинематические параметры детерминированными и учитывая только математические ожидания обобщенных координат, вычисленную на их основе надежность можно принять за достоверную оценку повторяемости МР. Это обеспечивается путем применения приведенного выше алгоритма, в котором стандартные отклонения всех кинематических параметров предварительно положены равными нулю.

### Заключение

В настоящей работе определены основные источники возникновения погрешностей, связанных с использованием кинематических параметров МР. При формировании кинематической модели МР применен вероятностный подход, обусловленный случайным характером данных погрешностей.

Представлена классификация основных типов надежности МР промышленного применения. Для расчета надежности двухзвенного манипулятора применены два вычислительных метода: аналитический и метод цифрового моделирования (метод статистических испытаний). Сравнение показателей надежности, вычисленных каждым из данных методов при одинаковых предпосылках, дает возможность оценить достоверность полученных результатов.

Целью применения метода статистических испытаний являлось построение грубой структурной модели, не содержащей детального описания, но достаточно устойчивой по отношению к совокупности неизвестных исходных данных.

Известно, что применение вероятностных моделей обуславливает включение в них размытых понятий и величин [9], образующих, в свою очередь, дедуктивные логические модели размытых понятий [10]. С повышением степени размытости неизбежно уменьшается значение подробных элементов исходных характеристик данной задачи, а это подкрепляет устойчивость методов ее исследования. Последнее обстоятельство для большинства исследовательских задач имеет решающее значение.

Вероятностная модель процесса, в отличие от детерминированной, приводит к результатам, полученным в условиях специфической неопределенности, заложенной в постановке данной задачи. В силу этого представляется сомнительным положение о том, что вероятностные модели реальных процессов всегда более совершенны и предпочтительны, чем детерминированные. Этот довод не является достаточно убедительным, как и положение о предпочтительности детерминированных моделей перед вероятностными.

Дальнейшее развитие результатов, полученных в настоящей работе, может быть сведено к созданию алгоритмов синтеза, на основе которых может быть осуществлен расчет технологических допусков и параметров привода, обеспечивающих необходимую надежность манипулятора.

Автор благодарен В.Л. Березину за помощь в выполнении расчетов в системе Mathcad и Н.Н. Макееву за помощь в работе над статьей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Denavit J. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices / J. Denavit, R.S. Hartenberg // *Journal of Applied Mechanics*. 1955. Vol. 77. P. 215-221.
2. Фу К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. М.: Мир, 1989. 622 с.
3. Александров П.С. Лекции по аналитической геометрии / П.С. Александров. М.: Наука, 1968. 912 с.
4. Paul R.P. Kinematic control equations for simple manipulators / R.P. Paul, B.E. Shimano, G. Mayer // *IEEE Transaction Systems*. 1981. № 6. P. 449-455.
5. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендцев. М.: Наука, 1986. 544 с.
6. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. М.: Наука, 1968. 720 с.
7. Прохоров Ю.В. Теория вероятностей / Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов. М.: Наука, 1967. 406 с.
8. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 12 / Д.В. Кирьянов. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 576 с.
9. Заде Л. Лингвистические переменные / Л. Заде. М.: Мир, 1975. 354 с.

10. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. 435 с.

**Петров Дмитрий Юрьевич** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Системотехника»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 10.11.06, принята к опубликованию 19.06.07*

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 677.494.014.082:658.562.012

А.В. Бирюков, С.Е. Артеменко, В.В. Сотников, В.П. Бирюков

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОРИЕНТАЦИИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ НИТИ

*На релаксационной модели с переменными параметрами процесса ориентации полипропиленовой нити проведено математическое моделирование процесса. Получены оптимальные режимы для линейного и ступенчатого режимов ориентации, подтвержденные экспериментами на лабораторном оборудовании и технологической линии. Предложены технологические схемы реализации оптимальных режимов и структурные схемы систем управления, обеспечивающих выбор оптимальной кратности вытяжки на первой и второй стадиях ориентационного вытягивания и управление структурой сформованного полимера.*

A.V. Birukov, S.E. Artjomenko, V.V. Sotnikov, V.P. Birjukov

### PROCESS OPTIMIZATION OF POLYPROPYLENE THREAD ORIENTATION

*Mathematical modeling process is carried out on the base of relaxation models with variable parameters of the process of orientation of polypropylene thread. Optimum modes for linear and step modes of the orientations confirmed with experiments on the lab ware and a technological line are received. Technological circuits of realization of optimum modes and block diagrams of the control systems providing a choice of optimum frequency rate of an extract at the first and second stages of orientation and control by the structure of formed polymer are offered here.*

**Введение.** Задача оптимизации процесса ориентации химических волокон с целью повышения их механических характеристик остается актуальной, несмотря на большое количество теоретических и экспериментальных исследований в этой области [1]. Это связано со сложностью структуры полимера, ее изменением в процессе ориентационной деформации, отсутствием количественно выраженных зависимостей полученных механических характеристик от режимных параметров процесса ориентации. В данной работе рассматривается задача оптимизации процесса ориентации полипропиленовой (ПП) нити.

**Постановка задачи.** Одноосное растяжение сферолитсодержащих волокон обычно протекает в три стадии [1, 2] – начальный этап растяжения (участок 1 на рис. 1), перестройка сферолитной структуры в микрофибриллярную (участок 2), деформация образовавшейся микрофиб-

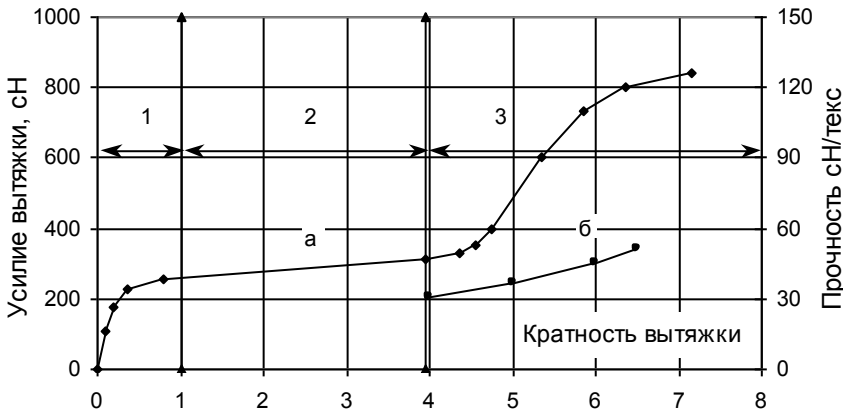


Рис. 1. Зависимость усилия вытягивания (а) и прочности полученной нити (б) от кратности вытягивания

рилярной структуры (участок 3). Значительный интерес представляет третий, заключительный этап вытяжки, на котором фибриллизованные нити могут быть вытянуты еще на 200-300%, что сопровождается повышением разрывной прочности (линия *b* на рис. 1) [1] и модуля упругости [2].

Управляющими параметрами процесса ориентации являются функции изменения температуры и деформации волокна в процессе ориентации.

Т.к. построить зависимости механических характеристик волокна от режимных параметров процесса ориентации не представляется возможным, то рассматривается задача получения максимальной ориентации волокна, что соответствуют максимальным характеристикам готовой продукции.

В качестве косвенного показателя ориентации принято напряжение полимера в высокоэластическом состоянии. В [3] на основании теории высокоэластичности показано, что напряжение полимера и классический показатель ориентации – двойное лучепреломление различаются постоянным множителем, зависящим только от структуры полимерной цепи. В [4, 5] на основании экспериментальных данных подтверждено, что для конкретного материала напряжение полимера в высокоэластическом состоянии однозначно связано с коэффициентом двойного лучепреломления полимера.

Таким образом, целью оптимизации является нахождение функций изменения деформации и температуры в процессе ориентации, обеспечивающих получение максимально возможного напряжения волокна на выходе процесса.

**Математическая модель процесса ориентации.** Процесс деформации полипропиленовой нити при ориентации описан математической моделью с переменными параметрами, включающей параллельно включенных два звена Максвелла и одно упругое звено [3, 6, 7] (рис. 2). Общее напряжение является суммой напряжений всех элементов модели:

$$\sigma(t) = \sum_1^n \sigma_i(t) + \sigma_z(t), \tag{1}$$

где  $\sigma_i(t)$  – напряжение *i*-й компоненты Максвелла; *n* – количество максвелловских компонент;  $\sigma_z(t)$  – напряжение упругой (гуковской) компоненты.

Решение уравнения Максвелла [3, 6, 8]:

$$\frac{\eta_i(\varepsilon, T)}{E_i(\varepsilon, T)} \frac{d\sigma_i(t)}{dt} + \sigma_i(t) = \eta_i(\varepsilon, T) \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad i = 1, \dots, n, \tag{2}$$

где  $\eta_i(\varepsilon, T)$ ,  $E_i(\varepsilon, T)$  – соответственно, коэффициент вязкости, модуль упругости *i*-й компоненты, при ступенчатом изменении скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_0$  при  $t=0$  равно:

$$\sigma_i(t) = \sigma_{0i} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_i(\varepsilon, T)}} + \eta_i(\varepsilon, T) \cdot \dot{\varepsilon}_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_i(\varepsilon, T)}}), \tag{3}$$

где  $\sigma_{0i}$  – начальное напряжение *i*-й компоненты до осуществления воздействия по скорости деформации;  $\tau_i(\varepsilon, T) = \frac{\eta_i(\varepsilon, T)}{E_i(\varepsilon, T)}$  – время релаксации *i*-й компоненты.

$$\text{Обозначим } E^*(\varepsilon, T) = \eta_i(\varepsilon, T) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i(\varepsilon, T)}}\right).$$

Идентификация  $E^*(\varepsilon, T)$  позволяет непосредственно связать напряжение с воздействием по скорости деформации и упростить анализ релаксационных кривых. На основании равенства (3) при ступенчатой аппроксимации изменения  $\dot{\varepsilon}(t)$  с дискретностью по времени  $\Delta t$  запишем рекуррентное разностное уравнение для определения напряжения  $i$ -й компоненты на  $(k+1)$ -м шаге по значениям на предыдущем шаге:

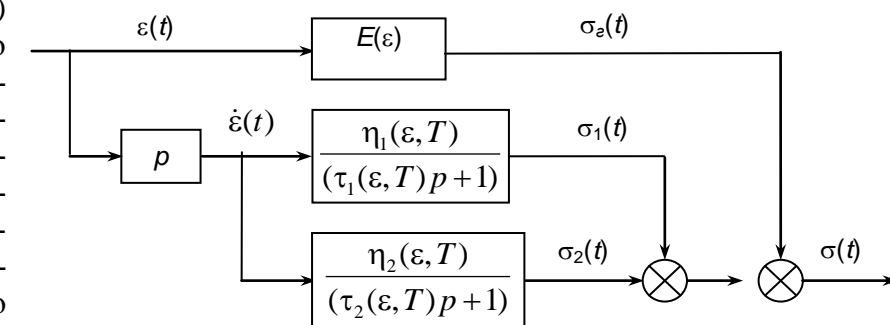


Рис. 2. Структурная схема математической модели

$$\sigma_{i,k+1} = \sigma_{i,k} \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau_i(\varepsilon, T)}} + E_i^*(\varepsilon, T) \cdot \dot{\varepsilon}_k. \quad (4)$$

Напряжение упругой компоненты равно:

$$\sigma_e(t) = E(\varepsilon, T) \cdot \varepsilon(t), \quad (5)$$

где  $E(\varepsilon, T)$  – модуль упругой компоненты;  $\varepsilon(t)$  – удлинение полимера.

Оценки параметров модели получали методом настраиваемой модели [8, 9] по результатам многократной вытяжки ПП нити с выдержкой на каждом шаге для прохождения процесса релаксации. Зависимости параметров релаксационной модели ПП нити от температуры  $T$  и деформации  $\varepsilon$ , учитывающие изменение структуры полимера в процессе деформации, описаны регрессионными уравнениями [8]:

$$\begin{aligned} E_1(\varepsilon, T) &= 0,36 - 0,0058x_1 + 0,000026x_2 + 0,039x_3 - 0,000023x_4 - 0,0002x_5; \\ \tau_1(\varepsilon, T) &= 0,72 - 0,0049x_1 + 0,000016x_2 - 0,0026x_3 - 0,000018x_4 + 0,000022x_5; \\ E_2(\varepsilon, T) &= 0,1 - 0,0018x_1 + 0,00001x_2 + 0,055x_3 + 0,000025x_4 - 0,00034x_5; \\ \tau_2(\varepsilon, T) &= 0,026 - 0,00028x_1 + 0,0000015x_2 + 0,0007x_3 - 0,000007x_4 + 0,0000021x_5; \\ E(\varepsilon, T) &= 1,25 - 0,018x_1 + 0,000076x_2 + 0,031x_3 + 0,000038x_4 - 0,00023x_5, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $E_1(\varepsilon, T)$ ,  $\tau_1(\varepsilon, T)$ ,  $E_2(\varepsilon, T)$ ,  $\tau_2(\varepsilon, T)$ ,  $E(\varepsilon, T)$  – соответственно, модули и времена релаксации двух элементов Максвелла, модуль упругого элемента;  $x_1=T$ ,  $x_2=T^2$ ,  $x_3=\varepsilon$ ,  $x_4=\varepsilon^2$ ,  $x_5=\varepsilon \cdot T$  – линейные, нелинейные факторы регрессионных уравнений. Коэффициенты множественной корреляции уравнений равны 0.91, 0.6, 0.99, 0.86, 0.87 соответственно.

На напряжение наложено ограничение по предельно допустимому удлинению:

$$\sigma_k = \begin{cases} \sigma_k & \text{если } \varepsilon_k < \varepsilon_{k,np} \\ 0 & \text{если } \varepsilon_k \geq \varepsilon_{k,np} \end{cases} \quad (7)$$

Зависимость предельного удлинения нити  $\varepsilon_{np}$  от режима вытяжки описана регрессионным уравнением [8]:

$$\varepsilon_{np} = 63,9 - 0,122\dot{\varepsilon} - 2,1T + 0,033T^2 - 0,00012T^3, \quad (8)$$

где  $T$ ,  $\dot{\varepsilon}$  – температура и скорость вытягивания;  $\varepsilon_{np}$  – предельное удлинение нити при данном режиме вытяжки. Коэффициент множественной корреляции равен  $R^2=0.86$ .

Математическая модель построена на данных многократной вытяжки при ступенчатых деформациях [7,8]. Дополнительная проверка описания математической моделью основных закономерностей процесса ориентационной вытяжки при различных температурах, скоростях деформации, последовательности ступенчатых деформационных воздействий также показала, что математическая модель обеспечивает достаточную адекватность и может быть использована для моделирования процесса ориентации [10]. Значения ошибок математической модели типа «черный ящик» 20-30% в описании данных других экспериментов и 20-50% при экстраполяции рабочей области можно считать хорошими показателями адекватности модели. При необходимости конкретного описания этих данных подстройка математической модели позволит значительно снизить ее ошибку.

**Формализация задачи оптимизации процесса ориентации.** При решении задачи оптимизации процесс ориентации полипропиленовой нити рассматривался как многостадийный процесс (рис. 3) [11]. Нить последовательно проходит  $N$  стадий. За стадию принимается отрезок времени  $\Delta t$ , на котором производится температурная или деформационная обработка нити. Каждая стадия описывается системой уравнений, которые связывают вектор выходных параметров  $k$ -й стадии  $Y_k$  с выходными параметрами предыдущей стадии  $Y_{k-1}$  и управляющими воздействиями данной стадии  $U_k$ .

Количество стадий определяется количеством изменяющихся условий прохождения процесса и необходимой точностью расчета. Входным и выходным параметрами являются уровень ориентации. Управляющими параметрами  $k$ -й стадии являются температура  $T_k$ , деформация полимера  $\Delta \epsilon_k$  и продолжительность прохождения стадии  $\Delta t_k$ . Количество стадий определяется количеством температурных и деформационных зон процесса.

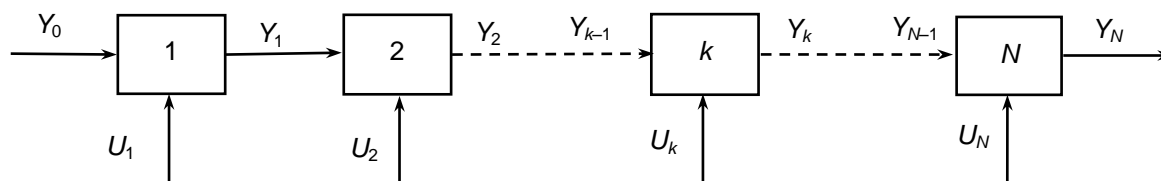


Рис. 3. Многостадийный процесс ориентации

Такое рассмотрение процесса позволило провести анализ различных режимов процесса ориентации с учетом релаксационных процессов (2), изменения релаксационных характеристик нити в процессе деформации (6), предельной допустимой деформации нити (7) и оптимизировать процесс по критерию максимальной ориентации полимера на выходе процесса, т.е. подобрать такие значения деформации и продолжительности стадий  $\epsilon_i, \Delta t_i$   $i=1, N$ , чтобы на выходе  $N$ -й стадии напряжение полимера имело максимальное значение:

$$I_{\epsilon_i, \Delta t_i, i=1, N} = \sigma_N = \sum_1^n \sigma_{i, N}(t) + \sigma_{z, N}(t) \rightarrow \max. \quad (9)$$

**Система моделирования и оптимизации процесса.** На основании рассмотренной математической модели (1)-(8) разработаны алгоритм и программа моделирования и оптимизации процесса ориентации в электронных таблицах Excel, предусматривающие два возможных варианта работы программы [10]. Первый вариант предназначен для проведения имитационного моделирования процесса ориентации. Второй вариант предназначен для оптимизации рассматриваемого процесса. После ввода исходной информации управление передается алгоритму нелинейного программирования [12], который путем поиска на математической модели производит выбор параметров режима вытяжки, обеспечивающих экстремальное значение заданного критерия. При изменении характеристик исходного сырья и режима процесса на предыдущих стадиях производятся анализ исходной фибриллизованной нити по ме-

тодике многократной вытяжки и аппроксимация изменения параметров новой структуры исходной нити при различных режимах вытяжки [7,8].

**Математическое моделирование и нахождение оптимальных режимов процесса ориентации.** Методом математического моделирования исследовались различные закономерности процесса и режимы его проведения [10]. Моделирование процесса ориентации с постоянными параметрами в пределах линейной зоны показало, что решение задачи методом нелинейного программирования обеспечивает выход всех компонент структуры на максимально возможное напряжение. Особенности оптимальных режимов являются проведение вытягивания с частичной релаксацией релаксационных элементов с малыми предельными удлинениями и подтягивание всех элементов на последнем этапе с такой скоростью, чтобы к концу вытяжки все компоненты вышли на предельно допустимое значение деформации (рис. 4). При этом условием получения максимально возможного напряжения является устранение разрыва целевой функции при предельном значении удлинения компонент структуры полимера.

Недостатком оптимальных режимов является увеличение продолжительности процесса ориентации. Использование критерия в виде свертки показателей напряжения и продолжительности процесса ориентации позволяет сократить продолжительность вытяжки до единиц секунд, при этом косвенный показатель ориентации падает от 1 до 0,8.

Моделирование с учетом изменения структуры полимера в процессе вытягивания показало, что алгоритм НП позволяет найти режим ориентации с получением максимального напряжения в конце процесса вытягивания, при этом подход к данному состоянию волокна осуществляется снизу, что обеспечивает отсутствие перегрузок и травмирования полимера в процессе ориентации.

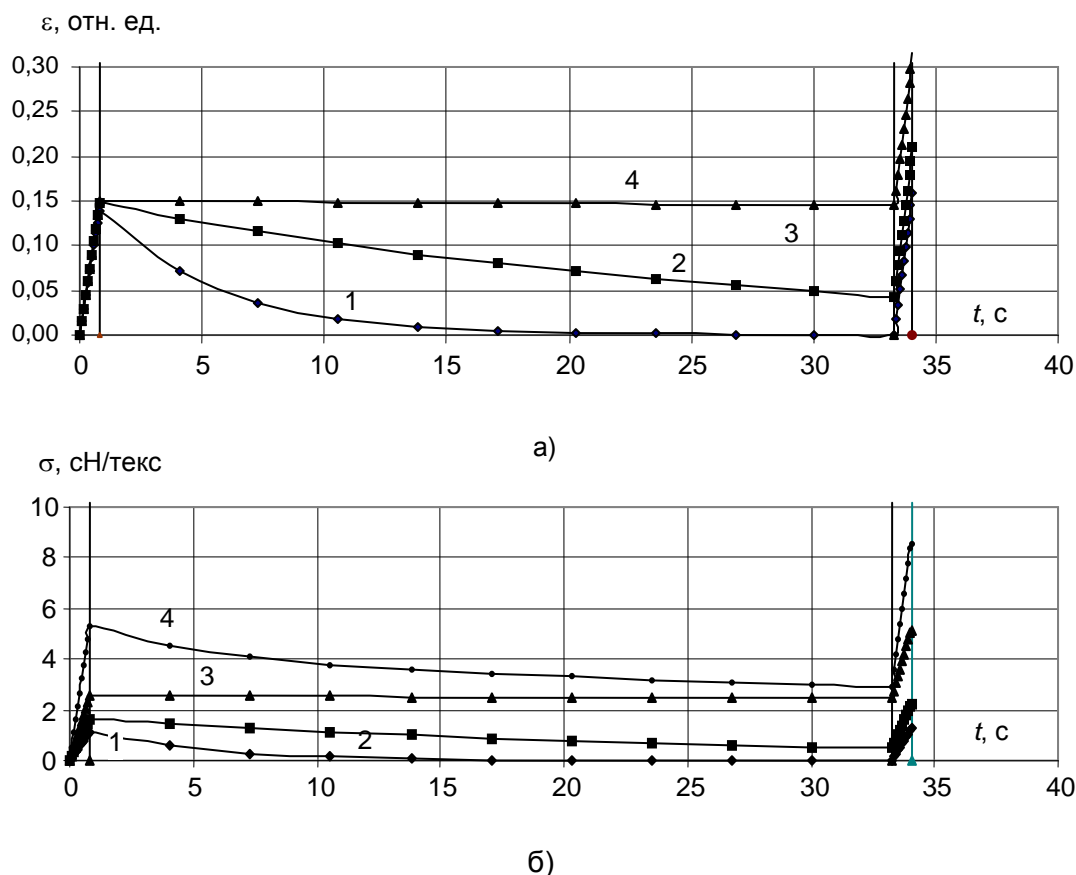


Рис. 4. Модельные изменения деформации (а) и напряжения (б) в процессе вытягивания: 1-3 – компоненты; 4 – суммарные значения



Для существующего технологического оборудования оптимальным режимом является двухступенчатый режим вытягивания с выдержкой времени после первой ступени для прохождения релаксации максвелловских компонент (рис. 5). Данный режим обеспечивает необходимую степень вытяжки без перегрузки и травмирования полимера.

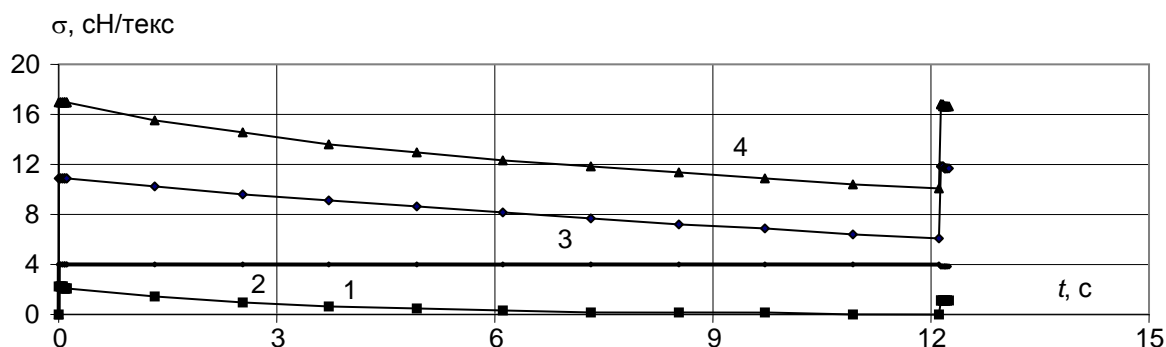


Рис. 5. Напряжения при двухшаговом вытягивании на 50%:  
1-3 – компоненты; 4 – полное напряжение

**Результаты работы.** Показаны возможности математического моделирования и решения задачи оптимизации процесса ориентации. Данный подход позволяет промоделировать различные режимы проведения процесса, выбрать оптимальные режимы, оборудование для их реализации, создать систему управления для нахождения оптимальных режимов при текущей ситуации в процессе и их реализации.

Испытания полученных режимов дополнительной линейной вытяжки на модернизированном приборе Динафил М [13] и ступенчатой вытяжки на промышленной линии ОАО «Полипропилен» (г. Балаково) показали, соответственно, повышение прочности нити с 40-50 до 80 и 60 сН/текс. Предельное удлинение нитей при дополнительной вытяжке уменьшается в допустимых технических условиях пределах.

Полученные при моделировании оптимальные режимы позволили предложить технологические схемы для реализации на второй стадии квазилинейной вытяжки, двухшаговой дискретной вытяжки, двухстадийного ориентационного вытягивания без применения многоходовых термокамер [14].

Для реализации полученных оптимальных режимов проведения процесса ориентации разработаны автоматизированные системы управления [14], обеспечивающие выбор кратности вытяжки на первой стадии, соответствующей текущему положению точки преобразования сферолитной структуры в фибриллярную, а на второй стадии – кратности вытяжки, соответствующую максимальному напряжению  $P_m$ , что соответствует максимальному уровню ориентации для текущего положения характеристики, а также автоматизированное управление структурой полимера на выходе экструдера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Папков С.П. Теоретические основы производства химических волокон / С.П. Папков. М.: Химия, 1990. 272 с.
2. Марихин В.А. Надмолекулярная структура полимеров / В.А. Марихин, Л.П. Мясникова. Л.: Химия, 1977. 240 с.
3. Тобольский А.А. Структура и свойства полимеров / А.А. Тобольский. М.: Химия, 1964. 324 с.
4. Лайус Л.А. Прочностные свойства ориентированных аморфных линейных полимеров в связи с их строением / Л.А. Лайус, У.В. Кувшинский // Механика полимеров. 1967. № 3. С. 455-460.

5. Бартенев Г.М. Курс физики полимеров / Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленев. Л.: Химия, 1976. 288 с.

6. Аскадский А.А. Компьютерное материаловедение полимеров / А.А. Аскадский, В.И. Кондращенко. М.: Научный мир, 1999. 544 с.

7. Бирюков А.В. Анализ изменения релаксационных характеристик полипропиленовой нити при релаксации / А.В. Бирюков, С.Е. Артеменко, В.П. Бирюков // Химические волокна. 2003. № 5. С. 61-64.

8. Бирюков А.В. Математическая модель завершающей стадии ориентации полипропиленовой нити / А.В. Бирюков, С.Е. Артеменко, В.П. Бирюков // Химические волокна. 2003. № 5. С. 64-68.

9. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. М.: Мир, 1975. 685 с.

10. Бирюков А.В. Анализ и оптимизация заключительной стадии процесса ориентации полипропиленовой нити / А.В. Бирюков, С.Е. Артеменко, В.П. Бирюков // Химические волокна. 2003. № 6. С. 41-47.

11. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. М.: Химия, 1969. 566 с.

12. Химельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химельблау; пер. с англ. М.: Мир, 1975. 536 с.

13. Бирюков А.В. Автоматизированная система исследования волокон / А.В. Бирюков, В.П. Бирюков // Химволокна 2000: доклады Междунар. конф. по хим. волокнам. Тверь, 2000. С. 135-140.

14. Реализация результатов математического моделирования процесса ориентации полипропиленовой нити / А.В. Бирюков, С.Е. Артеменко, В.П. Бирюков, В.В. Сотников // Химические волокна. 2004. № 4. С. 50-53.

**Бирюков Алексей Владимирович** –  
директор ООО «Биалекс», г. Балаково

**Артеменко Серафима Ефимовна** –  
доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Сотников Владимир Васильевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
Санкт-Петербургского государственного технического университета

**Бирюков Владимир Петрович** –  
доктор технических наук,  
заведующий кафедрой «Технология и автоматизация в машиностроении»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 14.09.06, принята к опубликованию 26.12.06*

---

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 621.941.26.08

**М.Б. Бровкова****ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНОГО  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

*Рассмотрены информационные аспекты оптимизации сложного технологического оборудования в реальном времени. Показаны трудности идентификации состояния в реальном времени при функционировании технологического оборудования. Предложены интегративные методы оценивания динамических процессов при формообразовании.*

**M.B. Brovkova****INFORMATION ASPECTS OF THE COMPLICATED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT  
WITHIN THE REAL TIMEFRAME**

*Information aspects of the optimization of the complicated technological equipment within the real timeframe are considered in this article. Difficulty of the condition identification in real time during the process environment operation is displayed. Integrative evaluation methods of the dynamic processes during the shaping are suggested here.*

Анализируя работы по оптимизации качества формообразования, можно отметить, что значительная часть проблемы полностью не решена из-за трудностей получения оперативной первичной информации о состоянии всей динамической системы в целом, включая и процесс резания. Традиционно анализировалась отдельно разомкнутая технологическая система без резания, что не имеет смысла, так как наличие нелинейных элементов и изменение в пространстве и во времени вектора силы резания может переводить систему из одного состояния в другое. Идентификация системы для целей оптимизации должна осуществляться по свойствам информации, получаемой непосредственно в реальном времени при резании. Такую информацию, как следует из анализа опубликованных работ и наших исследований, можно получить реально только на основе анализа процессов, сопровождающих функционирование технологической системы и ее элементов: выделение тепла при резании, механические колебания в зоне резания и в других подсистемах, акустическая эмиссия и изменение параметров электромагнитного поля в зоне резания. Непосредственно же сам процесс резания генерирует (выделяет) тепловой поток, виброакустические колебания, акустическую эмиссию, электромагнитное поле и формирует с учетом временных воздействий состояние вектора силы в пространстве и во времени. Для всех этих процессов имеются в той или иной

степени апробированные датчики и преобразователи для различных целей, в том числе и для оптимизации резания, диагностирования состояния инструмента и так далее. Однако количественная оценка и выделение требуемого структурно-устойчивого состояния для оптимизации качества формообразования в реальном времени требует специальной информационной технологии, которая ранее в литературе не описана.

В классической постановке задачи формирование информационной базы должно основываться на фундаментальных результатах в области математического моделирования, табличных и других данных. На практике, как было уже отмечено ранее, во всем управляемом диапазоне трудно найти однозначное соответствие получаемым оценкам и состоянию оборудования, выраженное математическими моделями, таблицами или другими (в том числе и нечисловыми) способами. Проблемой является различная размерность, метрика и область определения рассматриваемых объектов оценки качества. Сжатие информации в обычной трактовке для получения однотипной размерности и структурирования информационных моделей связи, критериев (показателей) качества технологических процессов и объектов практически осуществимо лишь экспериментально для ограниченных диапазонов и рабочих режимов функционирования. Другой проблемой является ограниченная информационно-техническая база прямых и косвенных измерений из-за отсутствия технических средств для ее получения в реальном времени. В связи с этим актуальным является адаптивное оценивание, для которого имеется возможность преодолеть указанные выше трудности.

Кроме того, имеются теоретические и практические трудности отображения рабочих динамических процессов технологических систем на показатели качества, в том числе и готовых деталей. Это в первую очередь связано с тем, что практически все серийное технологическое оборудование обеспечено только локальными обратными связями, что обуславливает низкую «управляемость» и «наблюдаемость» по выходным координатам (критериям). Главная обратная связь по выходным параметрам качества на практике реализуется лишь в редких случаях, в связи с этим возникает дополнительная неопределенность, раскрыть которую возможно лишь на основе реальной информации о качестве технологического процесса. С позиций теории множеств, для целей мониторинга должны быть введены множества состояний оборудования  $Y$  и готовых деталей  $Z$ , которые определенным образом соотносятся с первичными показателями качества  $X$ , заданными чертежом детали, и соответствуют друг другу в пространстве возможных состояний. Рассматриваемые множества имеют разную физическую природу и являются непересекающимися. Характеристики множеств  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  являются нечеткими и могут определяться в пространстве состояний как совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , универсальных множеств  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и соответствующих степеней принадлежности  $\mu_a(x)$ ,  $\mu_b(y)$ ,  $\mu_c(z)$ . Формирование информационной базы динамического мониторинга осуществляется с учетом состояния всех координат и их влияния через объект друг на друга. В этом случае целесообразно принять интегративные критерии из специально созданного для этой цели функционального пространства (множества). Далее рассмотрим доступные методы и их математическую основу для формирования моделей и критериев оценки областей состояния для мониторинга.

Анализ технологических структур и особенностей проблемы также показал, что существует необходимость применения специальных адаптивных оценок состояния системы в связи с наличием существенных возмущений, структурных и параметрических изменений объекта. Эти оценки должны быть доступны для использования в реальном времени и содержать информацию как о состоянии станка или станочного комплекса, так и о последствии возмущений. Основой для оценок могут быть спектральные характеристики процесса резания, обработанные специальным образом, или интегральные оценки, полученные по временным моделям, например, обобщенная работа при резании [4]. За счет комплексного учета факторов состояния объекта и возмущений, отображенных в применяемых косвенных характеристиках, можно формировать оценки управляемых процессов с достоверностью,

большей, чем прямые измерения параметров качества деталей. Оценки интегративно зависят от изменения параметров самого объекта и множества различных возмущений на верхнем уровне иерархических наблюдений. Подробная информация о причине изменения оценок часто бывает и не нужна. Например, информация о разладке технологического процесса, полученная при динамическом мониторинге на основе оценок интегративных свойств процесса, может иметь самостоятельное значение. При этом последующее диагностирование процессов для локализации неисправностей (отказов) осуществляется на следующем этапе или другом уровне иерархии.

В связи с тем, что интегративные оценки могут быть получены в реальном времени, а информация для целей диагностирования и локализации неисправностей может быть выделена алгоритмически, необходимо более подробно оценить возможности их получения с учетом особенностей объекта, которые были ранее выделены при системном анализе.

Обычно для подобного анализа в теории автоматического управления используют временные, частотные и коэффициентные методы, для которых существуют критерии качества. В последнем случае, например, качество системы управления оценивается по коэффициентам передаточной функции без построения переходного процесса. Для получения передаточных функций надо преодолеть те же трудности, которые были отмечены ранее. В нестационарных системах с нелинейными свойствами это возможно лишь с большими вычислительными затратами и только для мгновенных значений указанных оценок без интерпретации или прогнозирования состояния в других интервалах времени или при смене режимов функционирования. В противном случае возникают сложные задачи распознавания образов. Аналогичные ситуации возникают и в других случаях, например интерпретации результатов на стандартных измерительных устройствах при базировании заготовок.

Все существующие неадаптивные методы анализа управляемых динамических систем основываются на априорном задании порядка  $n$  модели объекта управления. Однако и здесь имеются ограничения, так как очевидная возможность сколь угодно большого повышения порядка модели путем учета более «тонких» физических процессов является источником неопределенности и порождает так называемую «проблему малых постоянных времени», то есть «разумного ограничения размерности» вектора состояния объекта. Результаты большинства исследований этой проблемы сводятся к тому, что более детальное описание объекта позволяет повысить качество управления им, но приводит к дополнительному усложнению управляющего устройства и процедуры его настройки и идентификации. Известны наблюдения также и другого рода, в которых отмечается значительное повышение чувствительности синтезируемой системы к вариациям ее параметров при учете более «тонких» эффектов в поведении объекта. В ТАУ это дает основание считать, что учет быстропротекающих процессов с малыми постоянными времени может оказаться не только нецелесообразным по критерию сложности, но и недопустимым вследствие низкой параметрической грубости системы, приводящей к нарушениям условий ее нормальной эксплуатации. Управлять этими процессами в реальном времени практически невозможно, а чаще нецелесообразно.

Необходимым условием нормального функционирования системы являются устойчивость неучитываемой «быстрой» части, а также «существенное» различие темпов процессов в «быстрой» и «медленной» подсистемах. Поскольку понятие «существенно» при этом количественно не определено, то возможность игнорирования «быстрых» движений нуждается в дополнительном обосновании [5, 6, 7]. Для мониторинга и создания информационной базы для оптимизации в реальном времени решается несколько другая задача, которая вызывает необходимость учета как «медленной», так и «быстрой» составляющих процессов, доступных для наблюдений.

Остановимся подробнее на разделении информации во временной области. Анализ нестационарной САУ в ряде случаев упрощается и можно использовать все методы, разработанные для стационарных систем, если САУ рассматривать как квазистационарную [1, 6, 8]. Квази-

стационарная САУ – это система, параметры которой изменяются медленно по сравнению с быстродействием системы, так что приближенно можно считать параметры системы постоянными по времени. В этом случае обычно используют два приближенных аналитических метода: метод замороженных коэффициентов и метод замороженных реакций. Решение сводится к многократному исследованию системы с постоянными коэффициентами известными способами.

Метод замороженных коэффициентов более прост, но менее точен. Выбирается ряд последовательных моментов времени, в которые переменные параметры принимают предельные и наиболее критические по влиянию на динамику системы значения (опасные точки). Для каждой из этих точек производится исследование САУ, причем параметры ее принимаются постоянными, т.е. «замороженными». Если качество переходных процессов в выбранных точках удовлетворяет предъявляемым требованиям, считается, что исходная система с переменными параметрами тоже будет удовлетворять этим требованиям.

Метод замороженных реакций более точен, но в обычной реализации сложнее. Его применение для случая, когда в рассматриваемой САУ можно выделить одно звено с переменными параметрами, а остальная ее часть является стационарной, приводится в [5]. Выбирается также последовательный ряд наиболее характерных по значениям переменных параметров моментов времени  $t = v_i$ , и определяется переходная функция  $h(t-v_i, v_i)$  звена с переменными параметрами (рис.1). По каждой найденной переходной функции в окрестностях опасных точек определяется эквивалентная передаточная функция  $W_{zi}(p)$ , т.е. передаточная функция звена с постоянными параметрами, имеющего такую же переходную функцию. Следовательно, здесь САУ заменяется эквивалентной стационарной системой, описываемой передаточной функцией с постоянными коэффициентами. Исследование необходимо провести для всех выбранных опасных точек, как и в случае метода замороженных коэффициентов. Метод более точен, так как эквивалентное звено в определенной мере учитывает в целом переменность параметров САУ.

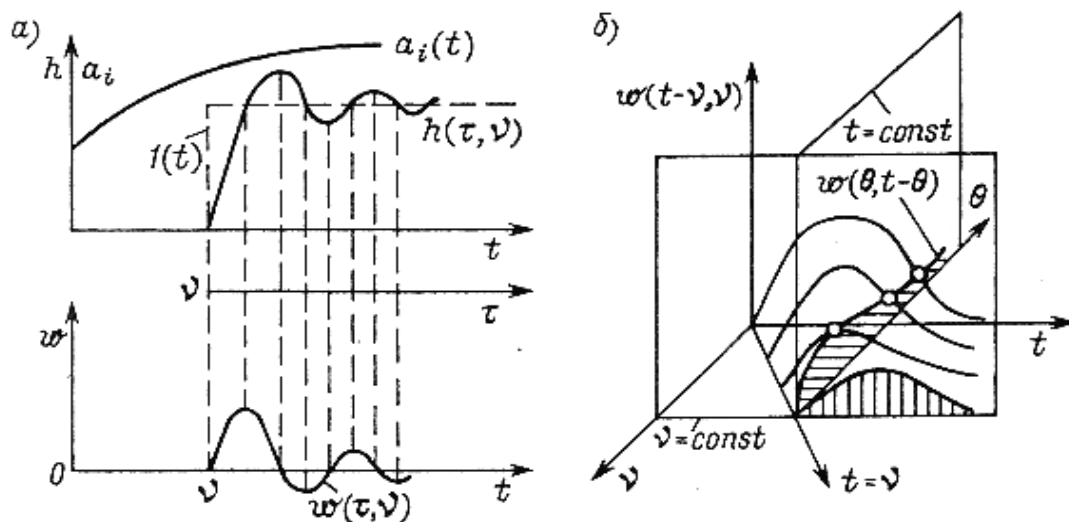


Рис. 1. Метод «замороженных» реакций [5], где  $a_i$  – коэффициенты-функции времени;  $v$  – момент подачи на САУ ступенчатого воздействия;  $\tau = t-v$  – текущее время;  $h(t-v, v)$  – переходная функция;  $w(t-v, v)$  – функция веса

Реализация метода переходных характеристик в СГТУ была осуществлена для токарного модуля автоматизированного производства прецизионных деталей в работе [2] (рис. 2). При этом формировался момент времени врезания инструмента в заготовку. Наблюдаемые переходные процессы содержали в себе квазидетерминированную составляющую и стохастические колебания. Детерминированная составляющая несла в этом случае информацию о «медлен-

ных» процессах, связанных с управляемыми движениями функциональных элементов станка, обеспечивающих процесс резания. Эта составляющая характеризует качества управляемых процессов без учета стохастических возмущений, приводящих к преобразованиям спектра колебаний в связи с наличием нелинейных элементов и других явлений, сопутствующих переходному процессу. Свойства высокочастотной составляющей, выделяемой за счет многократной фильтрации наблюдаемого процесса, определяют отмеченные выше возмущения и состояние нелинейных элементов системы. При другом подходе оценивание случайных составляющих переходного процесса проводилось в СГТУ на основе использования стандартного отклонения в скользящем окне при анализе момента врезания шлифовального круга в изделие. Информация нами была использована для диагностирования свойств процесса управления и сопутствующих ему возмущенных движений, которые отображаются на показатели качества микрогеометрии поверхности. Для экспресс-оценки состояния системы вычислялся интегральный показатель качества [3]. В этом случае исследования проводились не только при врезании инструмента в заготовку, но и при квазистационарном резании. Однотипность процедуры определялась тем, что и в том и в другом случаях математической основой для обработки сигналов наблюдений были оценки на основе функции Грина, связанной с интегральным представлением решений краевых задач для дифференциальных уравнений в виде свертки сигналов. Это является наиболее адекватным эксперименту методом решения дифференциальных уравнений, так как сводит процедуру их решения к свертке произвольного внешнего воздействия на систему на импульсный отклик. По своему прямому назначению функция Грина обычно используется для интегрального представления решения краевых задач для дифференциальных уравнений (детерминированный случай). В нашем случае аналогичные процедуры свертки сигналов осуществлялись на основе идентификации процессов (при отсутствии дифференциальных уравнений), то есть для стохастической информации при наблюдениях. При этом априорная информация необходима лишь на концептуальном уровне для отображения наблюдаемых процессов на процессы формообразования. В этом случае вычислительные процедуры по своему содержанию приближались к идентификации объекта в виде «черного ящика». Таким образом, вычисляемые оценки интегративно содержат детерминированную и стохастическую составляющие, в общем случае влияющие друг на друга.

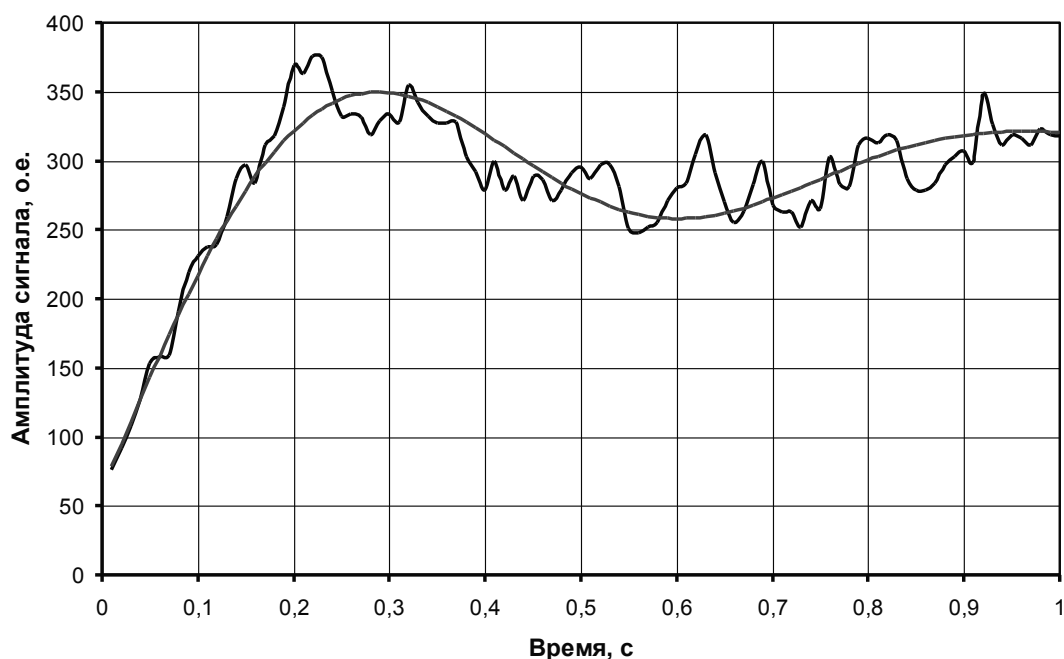


Рис. 2. Пример комбинированной фильтрации экспериментального переходного процесса

Анализируя результаты применения двух представленных подходов к практическому использованию метода «замороженных реакций», можно отметить целесообразность использования прямого вычисления интеграла свертки по экспериментальным данным. В этом случае оценки являются оперативными и реализуются при меньших затратах вычислительной мощности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бржозовский Б.М. Обеспечение инвариантности сложных технологических систем / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов. Саратов: СГТУ, 2002. 108 с.
2. Бржозовский Б.М. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков / Б.М. Бржозовский, В.А. Добряков, А.А. Игнатъев, В.В. Мартынов. Саратов: СГТУ, 1992. Ч. 1. 160 с.
3. Бровкова М.Б. Оптимальная настройка сложного технологического оборудования / М.Б. Бровкова. Саратов: СГТУ, 2005. 111 с.
4. Иноземцев Г.Г. Оптимизация процесса резания с учетом динамического состояния оборудования / Г.Г. Иноземцев, В.В. Мартынов, М.Б. Бровкова // СТИН. 1997. № 12. С. 9-13.
5. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: учебник для вузов / А.А. Ерофеев. СПб.: Политехника, 2002. 302 с.
6. Петров Б.Н. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза / Б.Н. Петров, Н.И. Соколов, А.В. Липатов и др. М.: Машиностроение, 1986. 256 с.
7. Теория автоматического управления: учебник для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика»: в 2 ч. Ч. 2. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления / А.А. Воронов, Д.П. Ким, В.М. Лохин и др.; под ред. А.А. Воронова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1986. 504 с.
8. Шахтарин Б.И. Квазигармонический метод и его применение к анализу нелинейных фазовых систем / Б.И. Шахтарин. М.: Энергоатомиздат, 1987. 192 с.

**Бровкова Марина Борисовна –**

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 18.04.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 658.512.26

**С.А. Игнатъев, В.Я. Подвигалкин**

## МОНИТОРИНГ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ВИТЫХ ПРОТЯЖЁННЫХ КОНСТРУКТИВОВ

*Рассматриваются методика и программное обеспечение мониторинга  
автоматизированного производства проволоки.*



S.A. Ignatjev, V.Ja. Podvigalkin

## TWISTED EXTENSIVE FORM-FACTOR AUTOMATED PRODUCTION MONITORING

*Twisted extensive form-factor automated production methodic, software and monitoring is studied in this article.*

Изготовление продукции с заданным качеством и в установленные сроки связано с обеспечением функциональной устойчивости автоматизированного технологического оборудования [1]. При этом реализуются ремонт и техническое обслуживание оборудования автоматизированных технологических комплексов (АТК) модульного производства витых протяжённых конструктивов [2] по фактическому состоянию на основе исследования и прогнозирования. Для этого создается система мониторинга технологического процесса (СМТП), обеспечивающая поддержание работоспособности АТК, то есть сведение к минимуму или предотвращение простоев оборудования [3, 4].

Данная статья отражает результаты разработки информационного обеспечения мониторинга модульного автоматизированного производства витых протяжённых конструктивов, например, проволоки, что является актуальной задачей при создании СМТП.

Конструктивной особенностью АТК является наличие в его структуре автоматизированных манипуляционных систем (АМС), реализующих принцип интеграции вспомогательных операций.

На первом этапе создана база данных о функционировании оборудования, в частности АМС, основой которой является информация от различных датчиков состояния оборудования, в том числе и об отказах различных узлов и подсистем. Динамические процессы функционирования АТК, например, за период в один месяц фиксируются при помощи элементов дискретного действия: датчиков, бесконтактных конечных выключателей и т.д. Фиксируя конкретное время события, номера АМС, волочильного стана, стеллажа временного хранения готовой продукции и т.п., вид операционной неисправности или отказа, накапливается информация о состоянии оборудования.

На втором этапе осуществляется обработка информации для представления ее в удобной для персонала форме для принятия решения о характере функционирования оборудования, а также для передачи и хранения информации в ИТСУ.

Программная реализация мониторинга АТК производства проволоки приводится на рис. 1-4. В основном окне (рис. 1) отображён полный перечень примерных проверок по всем волочильным станам в модулях производства. Например, из 3054 записей проверок получена информация о 37 отказах (рис. 2). На основании отобранной информации строят диаграммы: круговую (рис. 3) и столбчатую (рис. 4). Круговая диаграмма отображает количество неисправностей по технологическим операциям АТК, а столбчатая – то же самое, но не в процентах, а с указанием количества неисправностей.

Представленная формализация не противоречит реальным производственным условиям. В случае, например, устранения неисправностей основных кинематических систем АМС по результатам мониторинга используют алгоритм контроля АМС в полуавтоматическом режиме (рис. 5).

Определяются неисправность конкретного узла, изношенность отдельной детали, после чего неисправность устраняют и процесс функционирования отдельно взятого производственного модуля возобновляется и продолжается мониторинг технологического цикла.

Предлагаемый подход контроля работоспособности АТК осуществляют непрерывно с ЭВМ менеджера 1-го уровня [5], что позволяет избежать противоречия в системном инфор-

мационно-технологическом обменном процессе: отдельный модульный подуровень и уровень менеджера в общей структуре отказов в реальном масштабе времени.

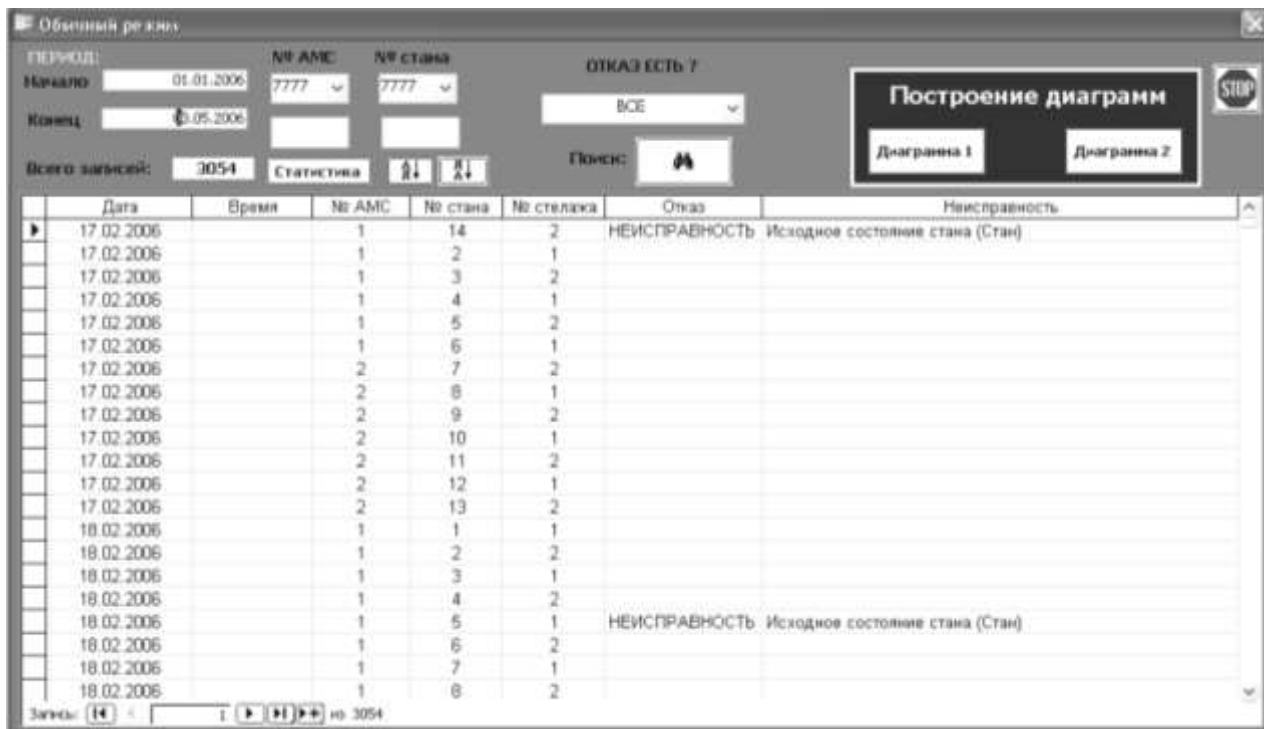


Рис. 1. Основное окно программы

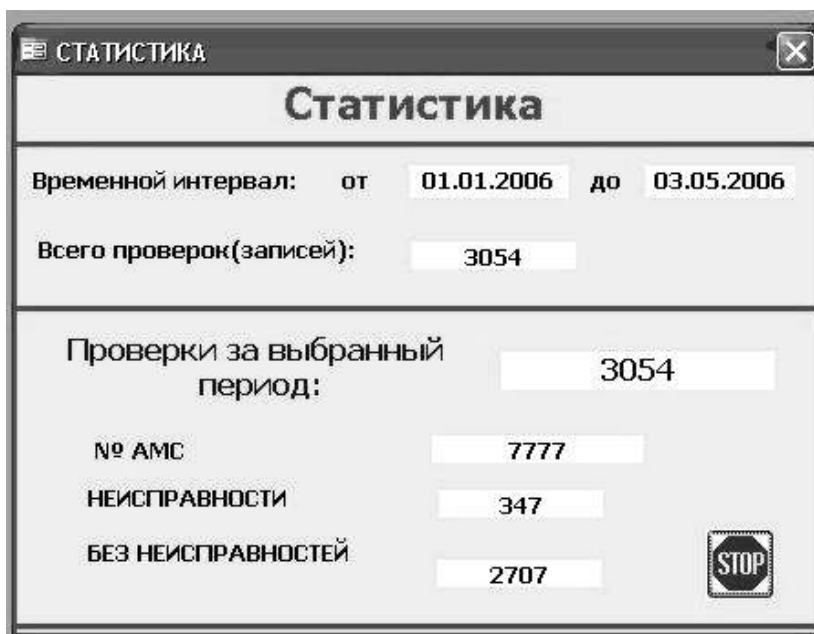


Рис. 2. Статистика отказов

Оснащение каждого модуля в отдельности и всего уровня модульного производства в целом СМТП расширяет реализацию функций на определённых уровнях иерархии – полной наблюдаемости состояния в любой момент времени. Получаемая статистическая информация берётся за основу принятия управляющего решения, например, для оперативного плани-

рования регламентных мероприятий по техническому обслуживанию АТК для надёжного функционирования технологического оборудования и обеспечения качества продукции.

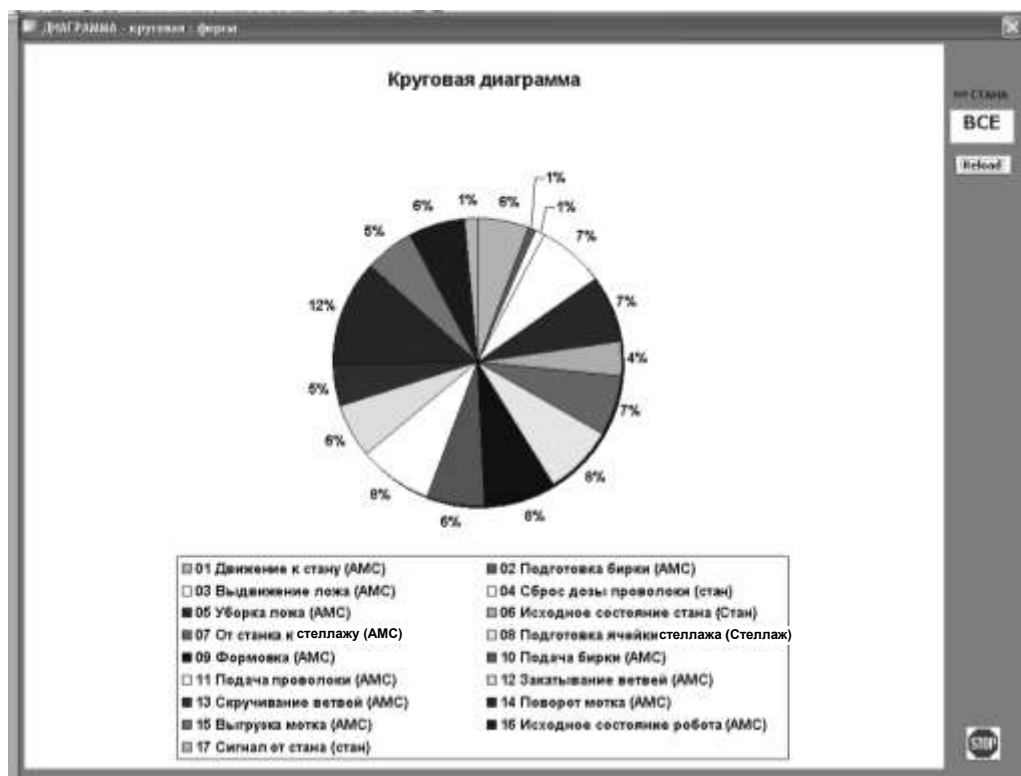


Рис. 3. Круговая диаграмма отказов

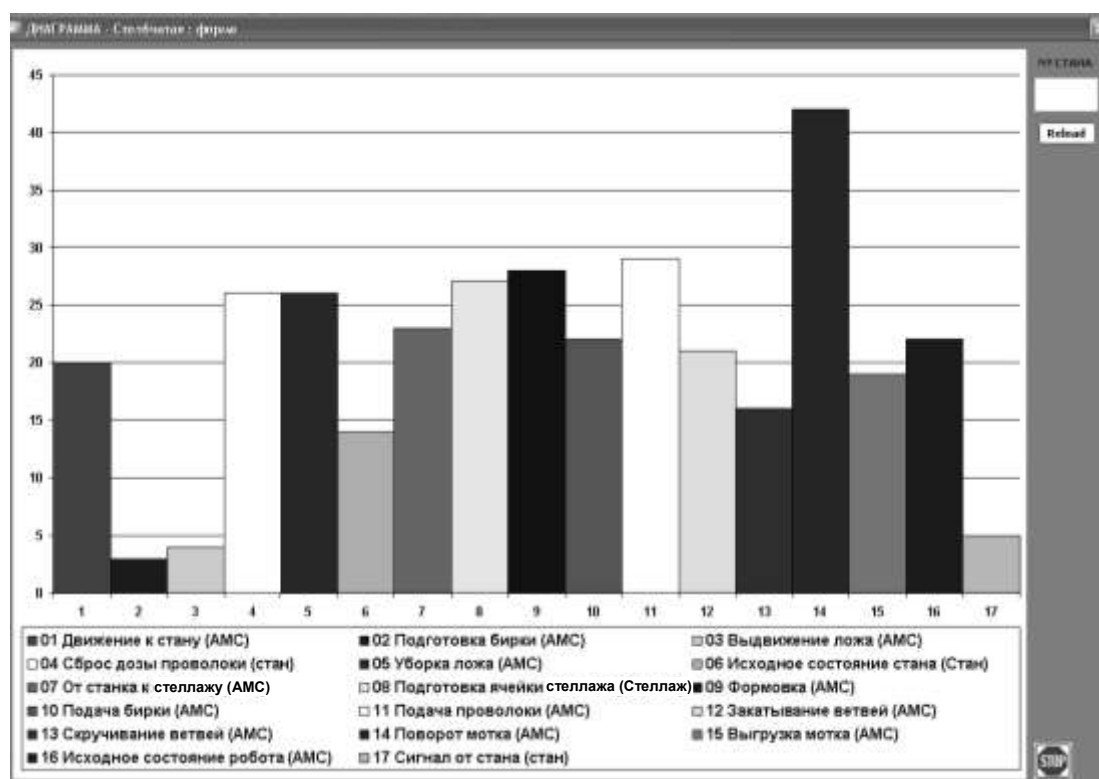


Рис. 4. Столбчатая диаграмма отказов

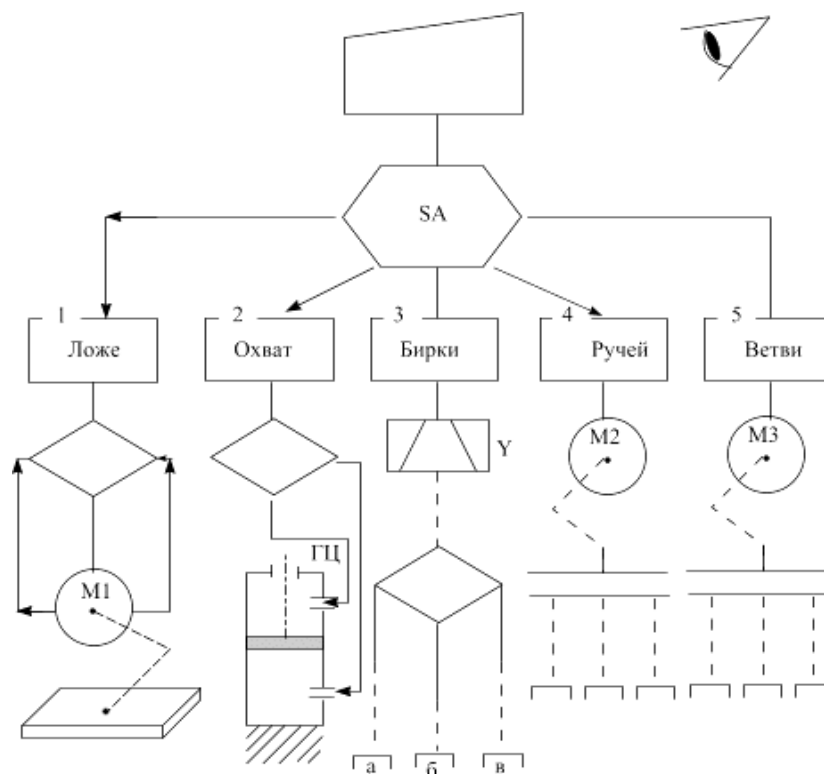


Рис. 5. Алгоритм контроля АМС

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бржозовский Б.М. Обеспечение устойчивого функционирования прецизионных станочных модулей / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатъев, В.В. Мартынов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1990. 120 с.
2. Подвигалкин В.Я. Интеграция автоматизированной информационно-технологической системы управления с мониторингом функционирования автоматизированного технологического комплекса / В.Я. Подвигалкин // Информационные технологии в науке, производстве и социальной сфере: сб. науч. тр. Саратов: Научная книга, 2005. С. 333-336.
3. Рогов В.А. Средства автоматизации производственных систем машиностроения / В.А. Рогов, А.Д. Чудаков. М.: Высшая школа, 2005. 400 с.
4. Игнатъев А.А. Мониторинг автоматизированного технологического процесса производства проволоки / А.А. Игнатъев, В.Я. Подвигалкин, С.А. Игнатъев // Материалы и технологии XXI века: сб. ст. Пенза: ПДЗ, 2006. С. 211-215.
5. Подвигалкин В.Я. Научно-методические основы конструирования автоматических манипуляционных систем для производства протяженных конструктивов / В.Я. Подвигалкин // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 166-171.

**Игнатъев Станислав Александрович** –

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Подвигалкин Виталий Яковлевич** –

главный специалист лаборатории  
Саратовского отделения ИРЭ РАН

*Статья поступила в редакцию 11.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

## **ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

---

УДК 621.372.8

**В.Я. Подвигалкин, Н.М. Ушаков**

### **ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ОБЪЕМНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ КАК БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

*Предложены оптоэлектронные объемные интегральные схемы (ООИС) в виде микросборок и микроблоков в качестве новых базовых элементов фотонных и радиоэлектронных систем управления. Проведено сравнение технических и экономических показателей известных пленочных технологий для создания ООИС.*

**V.Ya. Podvigalkin, N.M. Ushakov**

### **OPTOELECTRONIC BULK INTEGRAL CIRCUITS LIKE BASE ELEMENTS FOR FAST ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS**

*The optoelectronic bulk micro-circuitry based on both micro-insertions and micro blocks by way of new base elements for photonic and radio-electronic control systems are offered here. Comparison for technical and economical parameters of well-known film techniques is developed in this article.*

Современные системы контроля и мониторинга со скоростной обработкой больших массивов информации следуют в своем развитии по пути исследования и освоения все более коротких длин волн (от СВЧ до оптического диапазона) и перехода размеров объемных неоднородностей рабочих сред в нанометровую шкалу. Использование трехмерной (3-D) конструкции расположения базовых элементов (БЭ) в объемных интегральных схемах (ОИС) и обработка сигнала во всем объеме открывают широкие возможности улучшения электродинамических, оптических, массогабаритных, климатических, радиационных и других параметров устройств радиоэлектроники и фотоники [1]. Традиционные электронные ОИС в настоящее время имеют семь слоев и миллионы транзисторов в каждом слое. При этом, по оценкам экспертов, к 2012 году число слоев ОИС должно возрасти до девяти [2]. Фотонные интегральные схемы (ФИС) в отличие от электронных ОИС построены на БЭ, размеры которых имеют пока сравнительно большие размеры и меньшую плотность на квадратный сантиметр подложки. Единственный выход для интеграции БЭ в ФИС – это построение 3-D конструкций.

В настоящее время разработаны четырехканальные 3-D мультиплексоры для сверхскоростных волоконно-оптических линий связи [2]. Несмотря на отдельные успехи в созда-

нии 3-D ФИС наиболее реальным, на наш взгляд, является разработка гибридных ОИС, которые включают функциональные электронные и оптические элементы.

Целью настоящей работы является разработка принципов построения самих гибридных ОИС и отдельных элементов, а также сравнение для этих целей различных технологий от толстопленочной до нанотехнологии по своим технико-экономическим показателям.

ОИС представляют собой очень сложные структуры, анализ которых как единого целого даже для современных вычислительных средств является сложной и порой неразрешимой задачей. Поэтому для анализа работы таких устройств целесообразно логическое разбиение ОИС на отдельные функциональные части с последующей сборкой всех частей в единое целое. Рассмотрим гибридные ОИС. Для гибридных ОИС для вертикальных слоев (этажей) следует ввести иерархию слоев по их функциональному назначению. В качестве примера рассмотрим 3-D конструкцию гибридной ОИС с числом слоев, равным семи. Нижние четыре слоя предназначены для гальванической и волновой связи основных структурных элементов ОИС, расположенных на верхних «интеллектуальных» этажах. В качестве основных элементов гибридных ОИС мы предлагаем использовать микро- и наносборки, микро- и наноблоки. Подробнее об основных элементах будет сказано ниже.

Все базовые элементы (БЭ) связи представляют собой СВЧ и оптические линии передачи (ЛП). В СВЧ ОИС сочетание проводников образуют различные типы БЭ, число которых к настоящему времени превысило сотни. При этом БЭ организуют в ОИС неоднородности, которые функционально представляют собой, например, повороты ЛП, Т-соединения, межэтажные переходы и т.д. Следует отметить особенность применения ОИС в верхней части КВЧ диапазона ( $\lambda=1-2$  мм) и в оптическом диапазоне. Для этих диапазонов металлические проводники ЛП заменяются диэлектрическими волноводами, а металлические слои длинноволновых ОИС – на воздушные или другие диэлектрические прослойки с низким значением диэлектрической константы. Это необходимо для исключения паразитных связей между отдельными этажами ОИС.

Неоднородности БЭ в ОИС можно разделить на две группы: *первая группа* – это горизонтальные и вертикальные переходы между разными ЛП и *вторая группа* – это Т-соединения, плечи которых выполнены на разных этажах ОИС. Объемные неоднородности как базовые элементы ОИС еще мало изучены. В основном исследованы межслойные соединения между ЛП. К таким соединениям относятся резонансные переходы, шлейфные переходы, использующие выравнивание потенциалов на проводниках соединяемых линий, а также межслойные переходы с гальванической связью. В СВЧ ОИС гальванические связи заменяются разомкнутыми четвертьволновыми отрезками ЛП (режим короткого замыкания).

Нами разработана базовая платформа для построения различных гибридных ОИС. На рис. 1, а, б изображена такая платформа, выполненная из четырехслойной металлокерамики по технологии, описанной в [3, 4]. Нижний слой имеет общую шину для всех этажей. Базовые элементы расположены на трех нижних слоях и представляют собой гальванические переходы первой группы и несимметричные щелевые ЛП. Размеры платформы составляют  $48 \times 60 \times 1$  мм<sup>3</sup>. Существуют два варианта изготовления многослойных плат методом толстопленочной технологии. Первый использует поочередное нанесение проводящих и изолирующих слоев (уровней) с последующим их вжиганием. Межслойные соединения осуществляют путём формирования окон в изолирующем слое или уровне. Этот метод не требует сложного оборудования. Его недостаток заключается в большом количестве операций. Во втором варианте используют одновременное спекание всех слоев, сформированных на неотожжённых керамических подложках с последующей металлизацией пастами на основе вольфрама и молибдена. Слои вжигаются в среде водорода при температуре 1600°C. Достоинства этого варианта – монолитность, плотность, термостойкость, повышенная теплопроводность, плотность упаковки. Недостатки: большие затраты на оснастку и длительность наладки производства, отсутствие соответствующих паст. Нижние проводники (многоуровневые или многослойные соединения и защитные покрытия, например из

стекла) наносятся методом толстоплёночной технологии. После оплавления стекла, получив гладкую поверхность, создают на ней проводники и резисторы, а на дополнительные контактные места монтируют основные элементы ОИС.

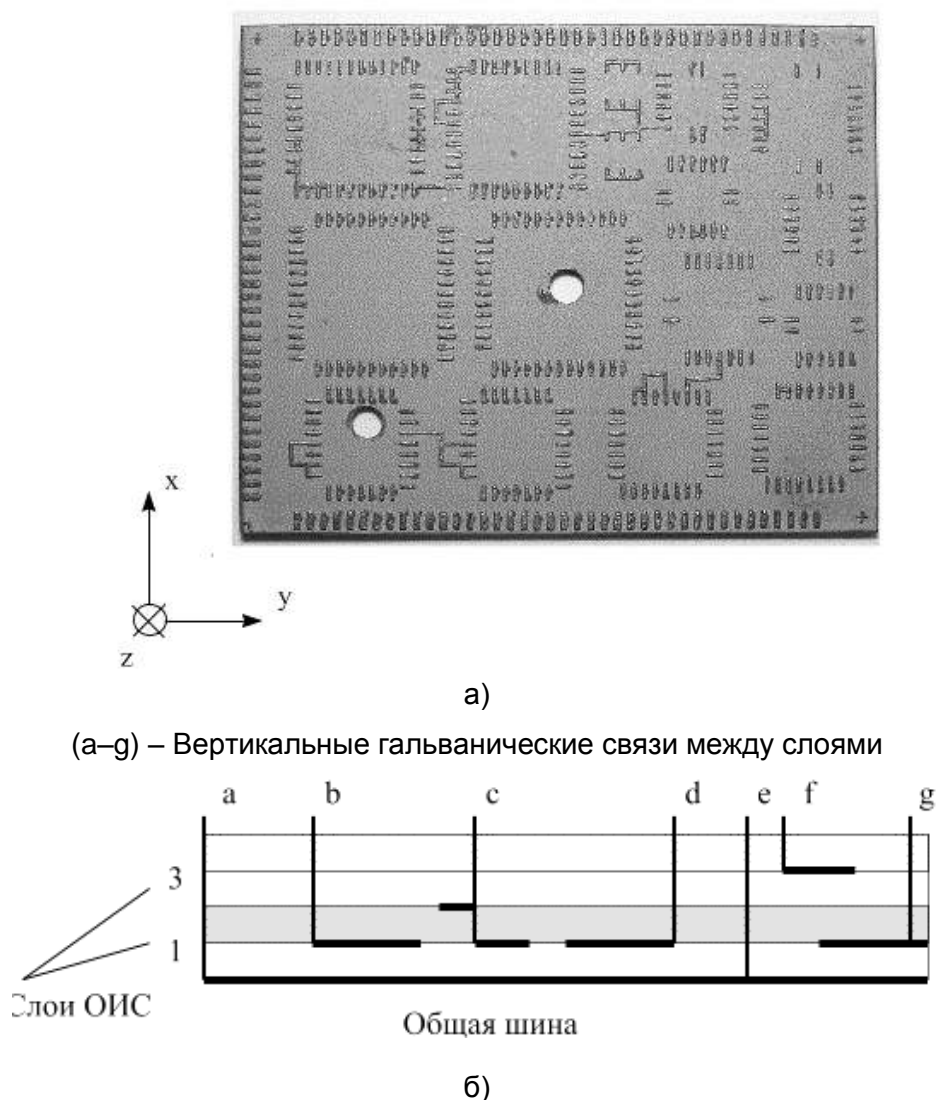


Рис. 1. Фотография четырехслойной платы с вертикальными гальваническими связями как базовой платформы для построения объемных интегральных схем:  
а – вид сверху; б – произвольное сечение платы

Основные элементы в виде микросборок расположены на поверхности самого верхнего четвертого слоя и гальванически связаны с БЭ. Основными достоинствами микросборок являются: возможность создания широкого класса радиоэлектронных систем цифровой и аналоговой техники при коротком цикле их разработки; универсальность конструирования; высокая экономическая эффективность изготовления больших партий. Унификация микросборок позволяет создавать микросборки практически любого функционального назначения из любого набора элементной базы радиоэлектроники и фотоники.

В качестве микросборки или микроблоков могут применяться интегральные электронные и оптические устройства обработки информации. На рис. 2, а, б показаны такие микросборки: электронная микросборка (а), объединяющая несколько микросхем, и фотонная микросборка, представляющая интегрально-оптический интерферометр Маха – Цендера



[3]. Электронными микросборками являются, например, чипсет и процессор персонального компьютера. Примером фотонной микросборки может служить акустооптический процессор на поверхностных акустических волнах.

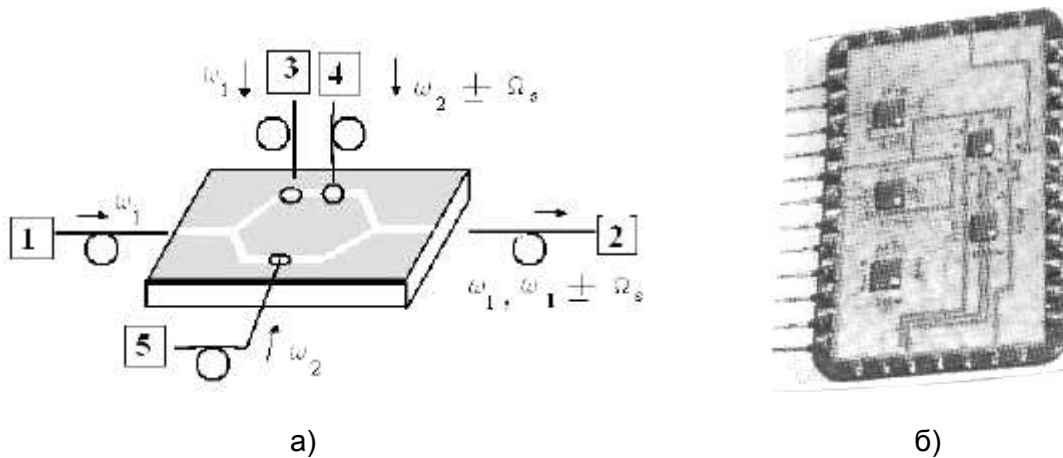


Рис. 2. Изображения фотонной (а) и электронной (б) микросборки для платформы гибридной ОИС

Общий принцип работы фотонной микросборки в виде интегрально-оптического устройства напоминает транзистор. Интерферометр Маха – Цендера представляет собой 5-портовое устройство: оптический вход (порт 1 и 3), оптический выход (порт 2) и порт управления (порты 4 и 5). В интерферометр через порт 1 вводится опорное (режим модуляции) оптическое излучение  $P_1$  на частоте  $\omega_1 < E_g/\hbar$  (аналог: эмиттер-коллектор), где  $E_g$  – ширина запрещенной зоны полупроводниковой пластины. С помощью непрерывного компенсирующего оптического излучения  $P_5$  на частоте  $\omega_2 > E_g/\hbar$ , поступающего в одно из плеч интерферометра через порт 5, регулируется начальный фазовый сдвиг, смещение рабочей точки усиления для обеспечения максимального значения выходной оптической мощности. В режиме оптического усиления через порт 3 поступает оптическая мощность  $P_3$  на частоте  $\omega_1 \pm \Omega_s$  ( $\omega_1 < E_g/\hbar$ ), которую надо усилить. Одновременно на это же плечо через порт 4 поступает непрерывная или импульсная оптическая мощность накачки (управления)  $P_4$  на частоте  $\omega_2 = 2\omega_1$  ( $\omega_2 > E_g/\hbar$ ), которая, меняя концентрацию фотоиндуцированных носителей заряда, изменяет показатель преломления на требуемую величину и, тем самым, фазовый сдвиг для световых волн, проходящих через это плечо. В режиме модуляции света порт 3 закрыт, и через порт 4 вводится на несущей частоте  $\omega_2 > E_g/\hbar$  оптический пучок  $P_4$ , модулированный на частоте  $\Omega_s$ . В этом режиме модулируется на частоте  $\Omega_s$  оптическая мощность, поступающая через порт 1. Каждый порт устройства, обозначенный на рисунке квадратом, физически связан с интерферометром с помощью волоконного световода.

Рассмотрим теперь основные технологические приемы изготовления 3-D конструкций ОИС. В качестве примера рассмотрим изготовление оптического мульти/демультиплексора на основе ФОИС. Такие устройства применяются в системах частотного разделения каналов передачи оптической информации (DWDM технология) и называются сокращенно Мух/Демух. Основным элементом ФОИС такого типа является оптический ответвитель X-типа, который изготавливается на основе шестислойной структуры. Основными технологиями изготовления Мух / Демух являются технология 2-сторонней обработки пластин с использованием диффузионной сварки и тонкопленочная технология формирования оптических волноводов. Толщины слоев составляли от 1 до 1,5 мкм. В качестве активного основно-

го слоя выбран твердый раствор InGaAsP, выращенный методом MOCVD технологии на подложке из фосфида индия (InP). Операция перемещения активного слоя производилась с использованием диффузионной сварки структуры со второй подложкой из InP. Такая технология позволяет использовать различные подложки из разных материалов. Например, подложки из фосфида индия (InP) и арсенида галлия (GaAs).

На рис. 3, а-д изображены технологические стадии формирования оптического ответвителя X-типа. Стадия (а) – формирование верхнего оптического волновода; (б) – удаление части верхнего слоя; (в) – перемещение активного слоя и замена слоев структуры; (г) – изготовление второго оптического волновода; (д) – удаление части активного слоя.

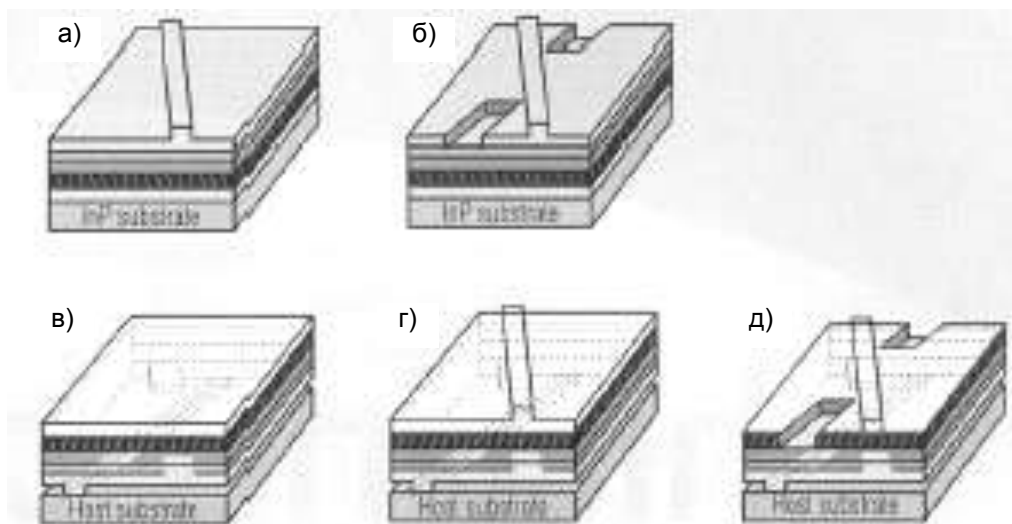


Рис. 3. Технологические стадии формирования оптического ответвителя X-типа в виде многослойной 3-D конструкции гибридной ОИС на подложке фосфида индия (InP) [3]

Наряду с тонкопленочной технологией для изготовления элементов ОИС может применяться и толстопленочная технология, основанная на нанесении паст с различными электрофизическими свойствами. Методы нанесения паст во многом сходны с жидкофазной тонкопленочной технологией [5]. Известная технология создания микросборок, развитая еще в 80-х годах XX века, базируется в основном на толстопленочной технологии. Толстопленочная технология получения, скажем, микросборок основана на нанесении на керамическую подложку проводящих, диэлектрических резистивных паст с использованием соответствующих масок в виде сеткографетов. Следует указать на четыре основных недостатка толстопленочной технологии: 1) сравнительно низкий уровень интеграции; 2) трудность реализации прецизионных резисторов; 3) ограничение частотного диапазона (не более 10 ГГц) и 4) необходимость введения операций подгонки пассивных элементов. Эти недостатки можно устранить применением комбинации технологии толстых плёнок и технологии нанокompозитов. Толстопленочная технология микроэлектроники незаменима, когда требуется создание микросборок и микроблоков для больших мощностей рассеяния сигналов. Поэтому при создании ОИС следует использовать стабильные и совместимые комбинации материалов – от композиций паст из наноматериалов до композиций из технологических структур с высокой организацией.

В последнее время интенсивно развивается нанотехнология, которая позволяет синтезировать среды с уникальными управляемыми свойствами. Важное место среди таких сред занимают полимеры с наночастицами из металлов, оксидов металлов и полупроводников [6, 7]. Из полимерных пленок, паст и дисков можно создавать структуры с различными физическими свойствами – от проводников до диэлектриков. При этом в одном слое на основе одного и того же материала матрицы можно создавать области с полупроводниковыми, про-

водящими и диэлектрическими свойствами. Широкое использование полимеров и успехи в создании различных устройств радиоэлектроники и фотоники позволяют говорить о сформировавшихся направлениях – полимерной электронике и полимерной фотонике. На наш взгляд, эти перспективные направления должны сыграть важную роль в развитии ОИС.

В заключение приведем оценки эффективности тонкопленочной, толстопленочной и нанотехнологии для создания ОИС.

В таблице приведены сведения и сравнительные характеристики этих технологий. Все показатели приведены относительно показателей, полученных при изготовлении плат второго поколения [8].

Оценка эффективности известных технологий для производства ОИС\*

№ п/п	Показатели	Полупроводниковая объемная	Тонкопленочная	Толстопленочная	Нанотехнологии	
					реальные	тенденция развития
1	Стоимость подготовки производства	3	2	1	0,5	Снижение
2	Стоимость эксплуатации	3	2	1	0,5	—«—
3	Эффективность крупносерийного производства	1	3	2	3	Рост
4	Эффективность мелкосерийного производства	3	2	1	3-4	—«—
5	Плотность элементов, элемент / см <sup>2</sup>	1	3	2	3	—«—

Преимущества толстопленочной технологии и нанотехнологии по сравнению с другими видами технологий изготовления микросборок и микроблоков, представленных в таблице, носят в основном экономический характер и особенно важны при организации производства ОИС.

Таким образом, в работе развит принцип интеграции электронных и фотонных устройств в единой гибридной ОИС. Данный подход проиллюстрирован на примере конкретных функциональных элементов и микросборок на единой металлокерамической платформе, являющейся базовой при построении гибридных ОИС. Показано, что при производстве микросборок известная и хорошо отработанная технология толстых пленок может успешно применяться в сочетании с нанокompозитными материалами. Приведены сравнительные характеристики основных известных технологий для производства ОИС. Показано преимущество толстопленочной технологии и нанотехнологии по экономическим показателям для массового производства ОИС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев В.И. Объемные интегральные схемы СВЧ – элементная база аналоговой и цифровой радиоэлектроники / В.И. Гвоздев, Е.И. Нефедов. М.: Наука, 1987. 110 с.
2. Shakouri A. Integration in 3-D wafer-bonding techniques yield vertically integrated optoelectronic devices / A. Shakouri // OE magazine. April 2001. P. 40-43.
3. Пат. 2024899 РФ, МКИ G02 F 3/00. Оптический транзистор / Н.М. Ушаков, К.Ю. Кравцов, В.И. Петросян. № 5021326/25; Заявл. 12.07.91; Опубл. 15.12.94, Бюл.23. 8 с.
4. Ushakov N.M. Amplification and Transformation of Optical Signals Based on Integrated-Optical Mach-Zehnder Interferometer application in Optical Communication Networks / N.M. Ushakov // Proc. of 6-th International Conference on Transparent Optical Networks Wroclaw. Poland, July 4-8 2004. P. 177-180.

5. Исаев Ю.В. Состояние и тенденции развития толстоплёночной технологии и оборудования / Ю.В. Исаев, Е.И. Хопяк // Обзорная информация. ТС-9; Экономика и технология. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1978. С. 45-56.

6. Наночастицы оксидов металлов в полиэтиленовой матрице / К.В. Запис, И.Д. Кособудский, Н.М. Ушаков, М.Н. Журавлева // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 2. С. 8-14.

7. Новые электропроводящие нанокompозитные материалы для электроники / К.В. Запис, И.Д. Кособудский, Н.М. Ушаков, В.Я. Подвигалкин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 108-113.

8. Палачев Ю.М. Эволюция конструкций ЭВМ с применением бескорпусной элементной базы / Ю.М. Палачев // Электронная техника. Серия 10. Микроэлектронные устройства. 1979. Вып. 6 (18). С. 12-17.

**Подвигалкин Виталий Яковлевич –**

главный специалист лаборатории субмикронной электроники  
Саратовского отделения ИРЭ РАН

**Ушаков Николай Михайлович –**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Радиотехника»  
Саратовского государственного технического университета,  
заведующий лабораторией субмикронной электроники  
Саратовского отделения ИРЭ РАН

*Статья поступила в редакцию 04.07.06, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 621.382+530.21

**А.Г. Роках, А.А. Сердобинцев, М.Д. Матасов, А.П. Кондратьев**

## **О СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ВТОРИЧНО-ИОННОГО ФОТОЭФФЕКТА**

*Проведены предварительные исследования спектральных характеристик вторично-ионного фотоэффекта (ВИФЭ), т.е. зависимости выхода вторичных ионов из фоточувствительной полупроводниковой мишени от длины волны падающего света. Показано, что необходимость учета зависимости ВИФЭ от освещенности усложняет эксперимент. С помощью сделанного ранее теоретического обобщения экспериментов проведен расчет спектральной зависимости ВИФЭ.*

**A.G. Rokakh, A.A. Serdobintsev, M.D. Matasov, A.P. Kondratjev**

## **ABOUT SPECTRAL CHARACTERISTIC OF SECONDARY-ION PHOTOEFFECT**

*Preliminary researches of secondary-ion photo effect (SIPE) spectral characteristics are carried out here. In other words dependence between secondary ion yield and wavelength of incident light is firstly researched here. The article demonstrates that such investigations are more complicated because of relation between SIPE and illumination intensity. The SIPE spectral characteristic calculation based on previously made theoretical generalization is carried out here as well.*

## Введение

Влияние освещения белым светом на выход вторичных ионов из высокоомной полупроводниковой мишени впервые наблюдался на фотопроводящих пленках CdS и CdS-PbS [1]. Это явление мы обозначили как вторично-ионный фотоэффект (ВИФЭ). Заметим, что ранее был известен только электронный внешний и внутренний фотоэффект, причем одной из его разновидностей является фотопроводимость. Важной характеристикой любого вида фотоэффекта служит его спектральная характеристика. Но, в отличие от внутреннего (электронного) фотоэффекта, например фотопроводимости, для ВИФЭ изучение спектральной характеристики представляет определенные трудности, о которых речь пойдет ниже.

## Методика исследований

Изучение механизма вторично-ионного фотоэффекта производилось нами на установке вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС), созданной на базе масс-спектрометра МИ-1305 [2]. Пучок ионов, представляющих собой положительно заряженные ионы кислорода с энергией 4 кэВ, бомбардировал образец под углом  $60^\circ$  к нормали. Фокусирующая система установки позволяла получать пучок ионов диаметром 1 мм. Ток первичного пучка составлял 1-10 мкА, диапазон регистрируемых массовых чисел – от 1 до 240. Установка оснащена масс-анализатором с однородным магнитным полем секторного типа, разрешающая способность 300 единиц. Магнитное поле регистрируется датчиком Холла ПХЭ 606118А, для определения интенсивности освещения в камере образцов установлен фотодиод ФД-263. Освещение в ходе экспериментов осуществляется лампой накаливания мощностью 150 Вт, при этом освещенность исследуемого образца изменяется от 0 до 1300 лк с помощью нейтральных светофильтров. Предварительный оценочный спектр ВИФЭ был получен с помощью стандартных цветных светофильтров, спектр пропускания которых показан на рис. 1.

Для получения спектра фотопроводимости исследуемых полупроводников CdS-PbS использовались призмный двойной монохроматор ДМР-4 и галогенная лампа мощностью 100 Вт. Регистрировался ток через исследуемый фоторезистор, подключенный в поперечном режиме к стабилизированному источнику напряжения.

## Экспериментальные результаты

В результате проведенных экспериментов было замечено, что выход ионов кадмия при освещении уменьшается (так называемый «нормальный» ВИФЭ, связанный с уменьшением электронной работы выхода при освещении и с повышенной нейтрализацией вышедших в вакуум положительных вторичных ионов), а свинца – как правило, увеличивается («аномальный» ВИФЭ) [1, 2]. В качестве объекта исследования использовались фотопроводящие поликристаллические пленки CdS-PbS [3].

Предварительные данные о спектральной зависимости ВИФЭ, полученные с помощью цветных светофильтров, приведены на рис. 2. На графике отмечены темновой (выкл.) и световой (вкл.) уровни выхода, а также выход вторичных ионов кадмия при освещении через цветные светофильтры (СЗС8, ЖЗС9, КС2, ИКС2). Как видно из графика, наибольшее влияние на выход вторич-

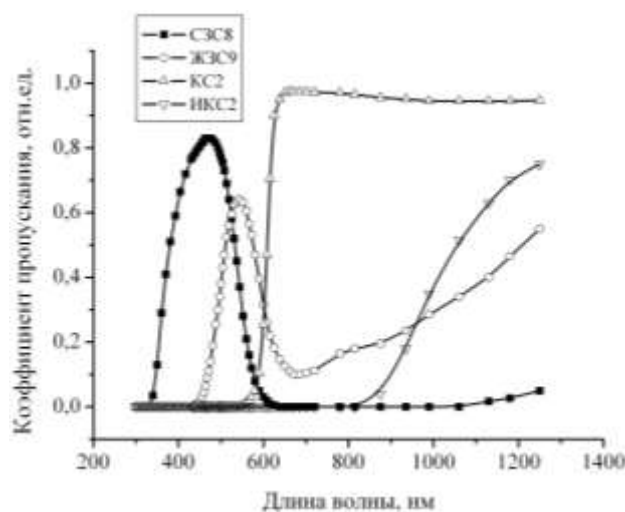


Рис. 1. Спектры пропускания цветных светофильтров

ных ионов оказывает свет, прошедший через фильтр КС2, область пропускания которого начинается после 600 нм, т.е. в той части спектра, где фотопроводимость мала. Происходит это потому, что фильтр КС2 обладает высоким оптическим пропусканием в довольно широкой области спектра (см. рис. 1). Таким образом, интенсивность падающего на образец света в случае фильтра КС2 значительно выше, чем для других светофильтров. В результате при использовании цветных светофильтров для получения спектральной характеристики ВИФЭ мы сталкиваемся с серьезной проблемой, а именно с невозможностью однозначно разделить влияние интенсивности и спектрального состава падающего света на выход вторичных ионов.

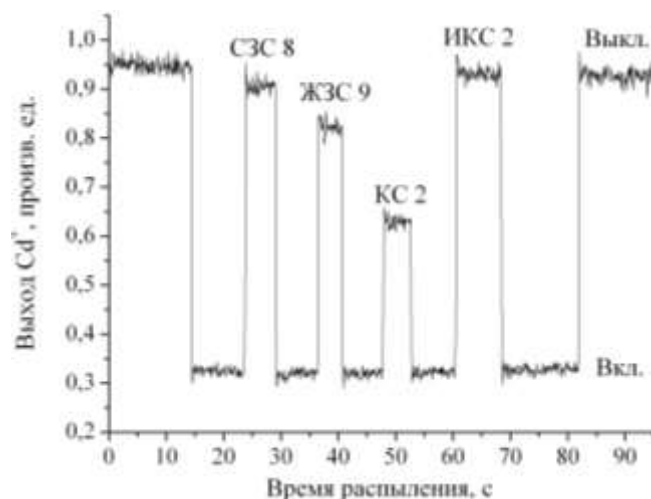


Рис. 2. Профиль кадмия для образца CdS-PbS при освещении белым светом и через различные светофильтры

Следующим этапом исследований стало получение зависимости величины эффекта от интенсивности освещения. С помощью нейтральных светофильтров были проведены исследования зависимости выхода положительных вторичных ионов кадмия от интенсивности освещения. В результате было установлено, что уменьшение выхода ионов кадмия практически прямо пропорционально освещенности. При максимальной освещенности уменьшение выхода составило 5-10%.

Для сопоставления с результатами масс-спектрометрических измерений были проведены исследования спектральных характеристик фотопроводимости исследуемых образцов. Типичная зависимость фоточувствительности исследуемого образца от длины волны падающего света представлена на рис. 3.

### Обсуждение результатов

Согласно литературным данным [4], снижение работы выхода электронов приводит к увеличению вероятности туннелирования электронов с поверхности образца на внешние уровни распыленных ионов. В нашем случае работа выхода в образце снижается за счет повышения квазиуровня Ферми для электронов при освещении. Следовательно, для вторичных ионов повышается вероятность присоединения электрона в момент вылета из образца, что приводит к уменьшению доли положительных ионов и росту доли нейтральных атомов в суммарном выходе.

Очевидно, что для дальнейшего описания наблюдаемого явления необходимо перейти от термина «освещенность» к термину «изменение электронной работы выхода, вызванное освещенностью». Такой переход достаточно прост и возможен с помощью хорошо известных из физики полупроводников формул. Подробно данный вопрос рассмотрен в работе [5].

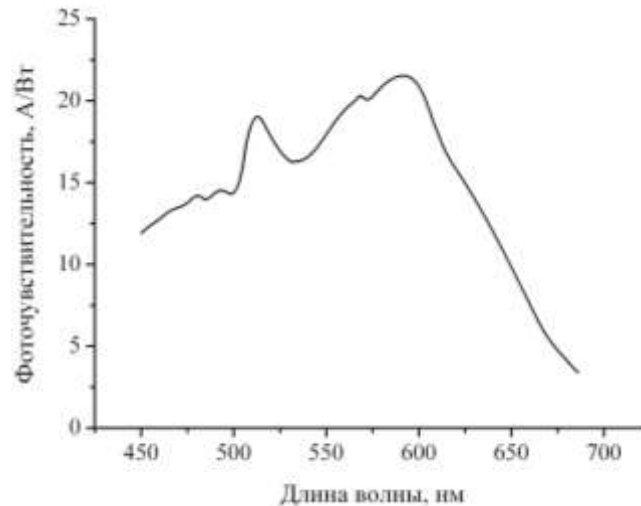


Рис. 3. Спектральная зависимость фоточувствительности образцов CdS-PbS

Проведя отмеченные выше преобразования, приходим к графику, представленному на рис. 4. Этот график отражает зависимость относительного выхода вторичных ионов кадмия от изменения электронной работы выхода фотопроводника. К зависимости, построенной в таких координатах, можно применить выведенную ранее эмпирическую формулу [6]:

$$\frac{Y^+}{Y_0^+} = \exp\left(\Delta A \frac{kT_0 - \gamma\Delta A - \varepsilon_p}{\varepsilon_p(kT_0 - \gamma\Delta A)}\right), \quad (1)$$

где  $Y^+$  — выход положительных вторичных ионов;  $Y_0^+$  — выход положительных вторичных ионов в темноте, то есть при нулевом изменении электронной работы выхода;  $\Delta A$  — изменение работы выхода;  $\varepsilon_p$  — характерный параметр системы, зависящий от энергии и угла эмиссии;  $k$  — постоянная Больцмана;  $\gamma$  — параметр, определяющий уровень локального разогрева в узкозонных включениях (коэффициент локального разогрева);  $T_0$  — температура при нулевом изменении работы выхода, то есть в темноте. Пунктирной линией на рис. 4 показаны результаты аппроксимации экспериментальных данных с помощью формулы (1). Как видно из рисунка, результаты расчета хорошо согласуются с экспериментом.

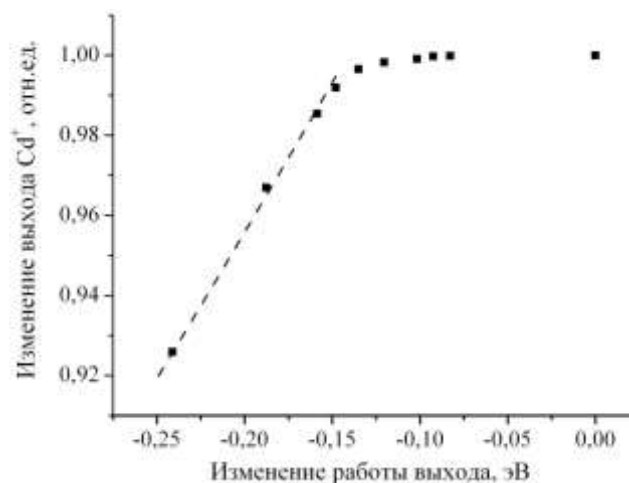


Рис. 4. Зависимость относительного изменения выхода положительных вторичных ионов кадмия от изменения электронной работы выхода; точки — экспериментальные данные, пунктир — расчет по формуле (1)

Проведенные исследования ясно говорят о сложном характере ВИФЭ. Экспериментальные данные свидетельствуют о существенном влиянии на выход вторичных ионов как интенсивности падающего света, так и его спектрального состава. К сожалению, попытки выяснить спектральную характеристику ВИФЭ экспериментальным путем сопряжены с серьезными трудностями, связанными, в первую очередь, с необходимостью серьезной модернизации установки ВИМС. Поэтому в данной статье предпринимается попытка определить зависимость ВИФЭ от длины волны падающего света при помощи анализа и сопоставления существующих экспериментальных данных, а также расчетов по формуле (1).

На основании эмпирически полученной формулы (1) была теоретически рассчитана спектральная зависимость ВИФЭ. Зависимость относительного изменения выхода от длины волны рассчитывалась при помощи спектральной характеристики фототока (рис. 3), соответствующее изменение работы выхода  $\Delta A$  определялось по формуле

$$\Delta A(\lambda)[\text{эВ}] = kT \ln \frac{I_T}{I_C(\lambda)}. \quad (2)$$

Затем полученные значения  $\Delta A$  подставлялись в формулу (1), причем в расчете использовались различные уровни освещенности. Полученное в результате семейство кривых представлено на рис. 5.

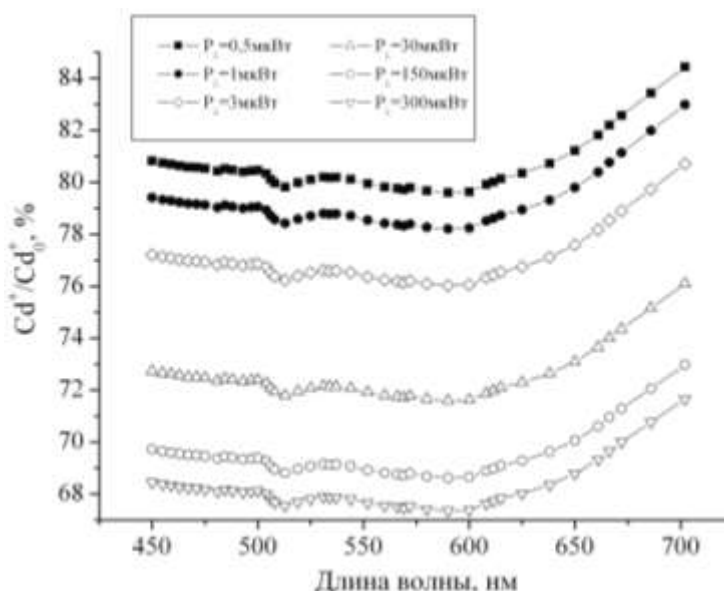


Рис. 5. Теоретические зависимости относительного изменения выхода положительных вторичных ионов кадмия от длины волны падающего света при различных мощностях засветки

Интересной особенностью теоретически полученной спектральной зависимости ВИФЭ является наличие минимума относительного выхода ионов кадмия. Действительно, в случае спектральной чувствительности фотопроводника наблюдается максимум, свидетельствующий о наибольшем влиянии света. И наличие этого теоретического слабовыраженного минимума подтверждается также экспериментальным уменьшением выхода ионов кадмия, при освещении излучением широкой полосы.

### Заключение

Таким образом, к настоящему времени возможно только теоретическое описание спектра ВИФЭ, основанное на полуэмпирической формуле (1), которая ранее была использована при



описании зависимости ВИФЭ от интенсивности освещения. Полученный таким путём спектр ВИФЭ находится в качественном соответствии со спектром фотопроводимости.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику А.Г. Жукову за помощь в проведении измерений на масс-спектрометре.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-08-01609

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование особенностей ионного травления гетерофазных полупроводников при освещении белым светом / А.Г. Роках, С.В. Стецюра, А.Г. Жуков, А.А. Сердобинцев // Письма в журнал технической физики. 2003. Т. 29. Вып. 2. С. 23-29.

2. Rokakh A.G. Secondary-ion mass spectrometry of photosensitive heterophase semiconductor / A.G. Rokakh, A.G. Zhukov, S.V. Stetsura, A.A. Serdobintsev // Nuclear Instruments and Methods B. 2004. Vol. 226. Issue 4. P. 595-600.

3. Роках А.Г. Гетерогенный фотопроводник на основе CdS-PbS / А.Г. Роках, А.В. Кумаков, Н.В. Елагина // Физика и техника полупроводников. 1979. Т. 13. Вып. 4. С. 787-789.

4. Yu M.L. Direct Evidence of Electron Tunneling on the Ionization of Sputtered Atoms / M.L. Yu, N.D. Lang // Physical Review Letters. 1983. Vol. 50. P. 127-130.

5. Зависимость скорости ионного распыления от изменения электронной работы выхода, вызванного освещением / А.Г. Роках, С.В. Стецюра, А.Г. Жуков, А.А. Сердобинцев // Письма в журнал технической физики. 2006. Т. 32. Вып. 1. С. 58-64.

6. Вторично-ионная масс-спектрометрия фотопроводящих мишеней / А.А. Сердобинцев, А.Г. Роках, С.В. Стецюра, А.Г. Жуков // Журнал технической физики. 2007. Т. 77. Вып. 11. С. 96-102.

**Роках Александр Григорьевич –**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика полупроводников» Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Сердобинцев Алексей Александрович –**

кандидат физико-математических наук,  
ассистент кафедры «Материаловедение, технология и управление качеством»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Матасов Максим Дмитриевич –**

студент кафедры «Физика полупроводников»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Кондратьев Алексей Павлович –**

студент кафедры «Физика полупроводников»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

*Статья поступила в редакцию 30.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

## АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

---

УДК 625.855.31/32

**Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин, А.В. Кочетков**

### ХОЛОДНЫЙ РЕГЕНЕРИРОВАННЫЙ АСФАЛЬТ

*Технология холодной регенерации асфальтового бетона с дисперсным битумом является эффективным направлением дальнейшего развития технологии асфальта с дисперсным битумом по способу СГТУ. Процессы структурообразования в регенерированном асфальте имеют свои особенности. Дорожно-технические свойства позволяют рекомендовать его для строительства покрытий.*

**N.A. Gornajev, V.E. Nickishin, A.V. Kochetkov**

### ASFALT'S COLD REGENERATION

*The technology of cold regeneration of new concrete asphalt with dispersed bitumen is the effective direction of further development of asphalt with dispersed bitumen technology by SSTU method. The processes of structure formation within regenerated asphalt have some peculiarities. The road-technical properties permit to recommend this method for the pavement base construction.*

Утилизация старого асфальта методом его регенерации и применения в дорожном строительстве приобретает всё большее значение. Доказана её технико-экономическая эффективность и в некоторых странах она достигает десятков миллионов тонн в год.

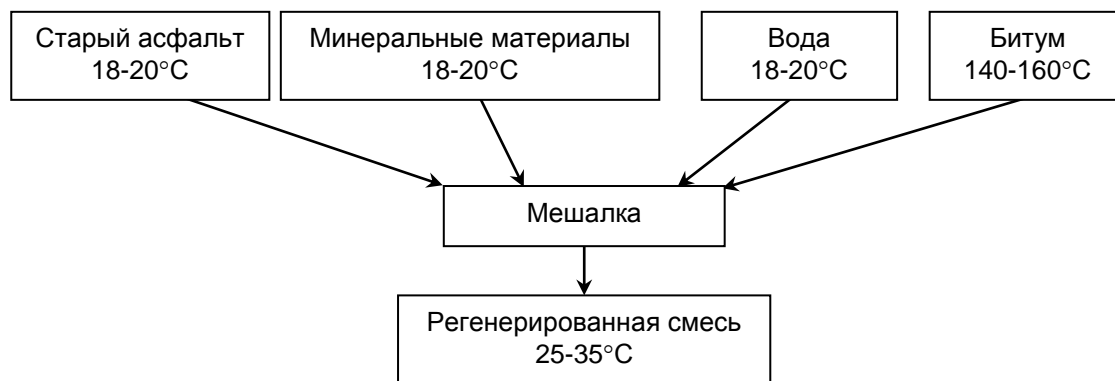
В настоящее время наиболее широко применяется регенерация горячим способом, позволяющая получать асфальт высокого качества, но обладающая рядом существенных недостатков: повышенный расход энергии, загрязнение окружающей среды, необходимость применения специального оборудования и др. Альтернативная холодная регенерация, основанная, в частности, на применении битумных эмульсий, представляется более предпочтительной. Однако современная практика производства битумных эмульсий с использованием дорогостоящих поверхностно-активных эмульгаторов и оборудования эмульсионных баз, нередко зарубежного производства, делают этот, казалось бы, прогрессивный способ регенерации достаточно дорогим.

Технология регенерации асфальта с дисперсным битумом является дальнейшим развитием предложенной в СГТУ технологии асфальта с дисперсным битумом [1]. Под патронажем Минавтодора РСФСР она прошла производственную проверку и была одобрена спе-

циальной комиссией и научно-техническим советом Министерства. Были разработаны соответствующие Рекомендации [2].

На рисунке представлена технология регенерации асфальта с дисперсным битумом. Холодные измельченный старый асфальт (фрезерованный, дробленый), песок и минеральный порошок в определённых соотношениях увлажняются и перемешиваются. В полученную смесь вводится вязкий битум с рабочей температурой 140-150°C. В процессе перемешивания в объёме смеси образуется прямая медленнораспадающаяся битумная эмульсия на твёрдом эмульгаторе, роль которого могут выполнять обычно применяемые в асфальтах минеральные порошки. Таким образом, получаются холодные регенерированные асфальтовые смеси на битумных эмульсиях, целесообразность производства и применения которых известна.

Технология холодной регенерации асфальта с дисперсным битумом способствует решению острых социальных проблем. Является энергосберегающей, так как отпадает необходимость в высушивании и нагреве старого асфальта, песка и минерального порошка; экологически безопасной, практически исключая выброс в атмосферу минеральной пыли, различных окислов, канцерогенных углеводородов; трудосберегающей, поскольку из технологической линии исключаются сушильный барабан, форсунка, топочное хозяйство, пылеуловительная установка, грохот; материалосберегающей за счёт снижения металлоёмкости АБЗ и др.



Технологическая схема производства регенерированной асфальтовой смеси

Главным преимуществом рассматриваемой технологии перед регенерацией с использованием эмульсий является отсутствие необходимости их заблаговременного приготовления по химической технологии, на специальных базах (заводах), с применением дефицитных эмульгаторов. Технологические трудности производства и применения битумных эмульсий на более доступных твёрдых эмульгаторах (битумные пасты) делают их использование для регенерации асфальта нерентабельным.

В отличие от горячей регенерации, когда процессы структурообразования в основном заканчиваются на стадии смешения составляющих, формирование структуры асфальта с дисперсным битумом значительно сложнее, начинается на стадии смешения и заканчивается в покрытии в процессе его эксплуатации. При этом асфальтовая смесь проходит ряд состояний, сопровождающихся обменом с окружающей средой энергией (горячий битум, механическое смешение, солнечная энергия) и веществом (испарение воды). Она представляет собой гетерогенную необратимую систему открытого типа, протекающие в ней процессы происходят в направлении уменьшения суммарной избыточной энергии, достижения устойчивого равновесия. При этом имеют место такие физико-химические процессы как смачивание водой, битумом, эмульгирование битума и стабилизация эмульсии, распад эмульсии, обращение фаз и др.

Скорость протекания этих процессов обуславливается интенсивностью происходящего теплообмена смеси, определяемой её составом, температурами исходных материа-

лов, погодными условиями (солнце, ветер, температура воздуха и др.). Пределом формирования структуры является образование практически бинарной системы битум-минеральные составляющие. Фактором интенсивности являются удельные избыточные поверхностные энергии составляющих материалов, фактором ёмкости – степень дисперсности.

Решающее значение для технологии регенерации асфальта с дисперсным битумом имеет диспергирование битума, образование в объёме асфальтовой смеси битумной эмульсии на твёрдом эмульгаторе (БЭТЭ). Старый асфальт, являясь гидрофобной составляющей, способен образовывать только обратную битумную эмульсию. Гидрофильные минеральный порошок и песок (частично) образуют только прямую эмульсию. Следовательно, в смеси присутствуют эмульгаторы-антагонисты, способные, в лучшем случае, образовывать множественную эмульсию. Однако асфальтовая смесь может быть технологичной только тогда, когда в её объёме образуется прямая эмульсия, что и определяет минимально допустимое содержание в смеси песка и минерального порошка. Исследованиями установлено, что содержание фрезерованного старого асфальта в смеси может достигать 70%, содержание песка должно быть не менее 20-30%, минерального порошка, в пересчёте на частицы, менее 0,071 мм, не менее 7%. В связи с этим представляется абсурдным заявление автора патента [3], утверждающего, что получает достаточную степень дисперсности вязкого битума при содержании 96% фрезерованного асфальта и 4% известнякового минерального порошка (то есть до 3% частиц менее 0,071 мм) с помощью непригодного для этих целей фрезы-смесителя-стабилизера (рисайклера).

В регенерированном асфальте с дисперсным битумом рекомендуется применять вязкие битумы с вязкостью более 100 дмм в количестве 3,5-4,0%. Содержание воды любой степени жёсткости в пределах 5-7%. Требования к свойствам песка и минерального порошка как для горячего асфальтобетона. Асфальтовые смеси могут приготавливаться с минеральной частью, соответствующей высокоплотным, плотным, пористым и высокопористым смесям с максимальными размерами зёрен 10, 15, 20 и 40 мм. В случае необходимости в смеси дополнительно вводятся щебень и песок.

В таблице приведены требования к свойствам регенерированного асфальта с дисперсным битумом.

Требования к свойствам регенерированного асфальта с дисперсным битумом

Наименование показателя	Значение для		
	регенерированного асфальта с дисперсным битумом	горячих асфальтобетонов по ГОСТ 9128-97	
		плотных II марки для III ДКЗ	пористых I марки
Водонасыщение, % по объёму, не более, для типов:			
А		2,0-5,0	
Б, В	9,0	1,5-4,0	5,0-10,0
Набухание, % по объёму, не более	0,5	–	–
Предел прочности при сжатии, МПа:			
а) при температуре 20°C для всех типов, не менее	2,2	2,2	–
б) при температуре 50°C, не менее, для типов:			
А	0,9	0,9	
Б	1,0	1,0	0,7
В	1,2	1,2	
Водостойкость, не менее	0,90	0,85	0,7
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,75	0,75	0,6

По основным показателям он отвечает требованиям ко II марке горячего плотного асфальтобетона для III дорожно-климатической зоны. Повышенное водонасыщение обусловлено особенностями его уплотнения в присутствии воды. Однако, благодаря присутствию гидрофобной составляющей – старого асфальта, водостойкость его достаточно высокая.

Свойства асфальта, такие как теплоустойчивость, трещиностойкость, водостойкость можно регулировать введением различных добавок. При замене 3-4% минерального порошка дорожным портоландцементом в смеси формируются кристаллизационные связи, значительно повышается сдвигустойчивость асфальта. Положительный эффект получен при использовании составленных вяжущих из нефтяного битума, сланцевой смолы и каменноугольного дёгтя предложенным способом [4]. Одновременное раздельное введение в смесь нефтяного битума, сланцевой смолы или дёгтя позволяет получить в объёме асфальтовой смеси смешанную эмульсию из двух вяжущих, стабилизированных твёрдым эмульгатором. Обеспечивая в окончательно сформированном асфальте необходимые дорожно-технические свойства, такой способ исключает необходимость получения составленных вяжущих горячим способом, сопровождающимся выбросом в атмосферу содержащихся в большом количестве в смоле и дёгте высокотоксичных веществ.

Регенерированные асфальтовые смеси с дисперсным битумом на стадии экспериментального освоения можно приготавливать на современных АБЗ. Предпочтительнее смесители принудительного перемешивания. Старый асфальт и песок из агрегата предварительного дозирования системой транспортёров должен подаваться, минуя сушильный барабан, непосредственно на горячий элеватор или грохот. Для широкого производственного применения технологии необходимо создать упрощённую технологическую линию, исключаящую сушильный барабан, грохот, бункеры по фракциям [5]. Смеситель должен быть дооборудован системой хранения воды, её дозирования, подачи в мешалку и распределения.

Готовая асфальтовая смесь транспортируется, укладывается в покрытие и уплотняется обычными серийно выпускаемыми машинами. Технология уплотнения имеет ряд особенностей и требует повышенного внимания. Уплотнение должно осуществляться по мере испарения из смеси воды и поэтому растянуто во времени. Заполняя все поры и являясь практически несжимаемой, свободная вода препятствует сближению частиц смеси, уплотнению. Смесь обладает повышенной подвижностью. На этой стадии уплотнение следует производить 2-3 проходами лёгкого катка. Дальнейшее уплотнение следует осуществлять сначала средними, а затем тяжёлыми катками по 4-6 проходов по одному следу. При благоприятных погодных условиях (ясная погода, высокая температура воздуха, ветер, низкая относительная влажность воздуха) движение открывается в конце дня с проектной скоростью.

Имеется положительный опыт применения холодных регенерированных смесей для ямочного ремонта на проезжей части городских дорог и тротуаров. Отремонтированные участки находятся в удовлетворительном состоянии 6-9 лет эксплуатации.

Регенерированный асфальт с дисперсным битумом рекомендуется применять для устройства покрытий на дорогах II-IV технической категории в III-V дорожно-климатических зонах.

Народно-хозяйственный эффект новой технологии складывается из технико-экономического, социального и экологического эффектов и составляет 52,7% по сравнению с горячим регенерированным асфальтобетоном.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горнаев Н.А. Технология приготовления асфальтобетонной смеси с дисперсным битумом / Н.А. Горнаев // Наука и техника в дорожной отрасли. 2004. № 2. С. 20-21.
2. Рекомендации по технологии производства и применения холодных асфальтобетонных смесей с диспергированным битумом / Министерство автомобильных дорог РСФСР. М.: Главдортех, 1987. 16 с.

3. Патент 2232841 РФ, МПК<sup>7</sup> Е 01С 7/18. Способ холодной регенерации слоёв дорожной одежды / Г.С. Бахрах; ГП «Росдорнии». № 2003102411/03; Опубл. 20.07.2004, Бюл. № 20.

4. Горнаев Н.А. Регенерированный асфальтобетон с составленными дисперсными вяжущими / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин // Актуальные проблемы транспорта России: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 1999. Вып. 3. С. 107-109.

5. Горнаев Н.А. Технология холодной регенерации асфальтобетона / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин // Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 3. С. 43-44.

**Горнаев Николай Алексеевич –**

кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Строительство дорог и организация движения»  
Саратовского государственного технического университета

**Никишин Вадим Евгеньевич –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство дорог и организация движения»  
Саратовского государственного технического университета

**Кочетков Андрей Викторович –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и транспортные сооружения»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 03.11.06, принята к опубликованию 05.12.06*

УДК 677:691.175

**В.М. Шумячер, Т.К. Барабанщикова, И.Ю. Кулявцев,  
О.Ю. Пушкарская, С.П. Денисова**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ  
В СОСТАВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

*Разработаны новые составы строительного композита путем модифицирования тугоплавкими и металлическими материалами, являющимися отходами производства. Установлено, что введение в состав композитов (бетонов) карбида кремния и металлической дроби обеспечивает увеличение термической стойкости в 6-7 раз, снижение показателя водопоглощения в 1,5-2 раза. Результаты испытания разработанных составов строительных композитов позволяют осуществить прогнозирование свойств и выбрать рациональные направления безотходных технологий.*

**V.M. Shumyacher, T.K. Barabanshikova, I.Yu. Kulyavtsev,  
O.Yu. Pushkarskaya, S.P. Denisova**

**SECONDARY RAW MATERIAL APPLICATION OPPORTUNITY RESEARCH  
WITHIN BUILDING COMPOSITES STRUCTURES**

*New structures of building composites are developed on the base of modifying by the refractory and metal materials being waste products of manufacture. It*

*is established, that introduction in structure of carbide of silicon composites (concrete) and metal fraction provides the increase of thermal stability and decrease of a parameter of water absorption. The test results of the developed structures of building composites allow to forecast properties and to choose rational directions of technologies without waste.*

Современная промышленность выпускает десятки тысяч наименований разнообразной продукции. В производство вовлекается во много раз больше исходного сырья, чем выпускается готовой продукции.

Из отраслей, потребляющих промышленные отходы, наиболее емкой является отрасль производства строительных материалов, доля сырья которой в себестоимости продукции достигает 50% и более [1]. Возможности использования природного сырья в композитах строительного назначения и критерии оценки его качества изучены недостаточно.

В настоящее время актуально использование в строительном производстве промышленных отходов, которые в ряде случаев представляют собой готовое сырье. Введение вторичного сырья в состав масс для получения строительных композитов делает производство ресурсосберегающим, менее дорогостоящим и в определенной степени способствует решению экологических проблем.

Анализ состояния и основных направлений по совершенствованию производства строительных материалов указывает на преимущество развития технологий строительных бетонов со специфическими свойствами. Использование бетона на портландцементе при высоких температурах эксплуатации и периодичности процессов (нагрев – остывание) достигается введением в композит бетона наполнителей с различными функциональными свойствами: тугоплавких и металлических наполнителей.

Авторами разработаны составы композита строительного назначения с инертным металлическим и тугоплавким наполнителем (см. таблицу), исследовано влияние добавок на изменение физико-механических показателей (рис. 1-5).

В настоящей работе в качестве заполнителей применялся материал карбид кремния (технологические хвосты дробильно-рассеивального цеха и отходы разборки печей зеленого карбида кремния) производства ОАО «Волжский абразивный завод» и металлическая дробь как отходы производства Волжского трубного завода.

Увеличение прочностных показателей композита обусловлено совокупностью физико-механических и эксплуатационных свойств, с одной стороны, металлического наполнителя, с другой стороны – связующего и за счет плотной упаковки частиц при твердении.

Составы композитов строительного назначения

№ п/п	Наполнители, являющиеся компонентами состава	№ состава					
		1	2	3	4	5	6
		Содержание наполнителей, %					
1	Карбид кремния черный	–	–	–	38	18	10
2	Карбид кремния зеленый	–	–	–	–	20	10
3	Дробь металлическая	–	5	10	–	–	–

По результатам исследования влияния наполнителя карбида кремния на показатель пористости (рис. 2) видно, что наблюдается тенденция снижения пористости от 21,4% до 12,1%. Средняя величина пористости по составам 4-6 составила 13,4%, что составляет 47% снижения показателя.

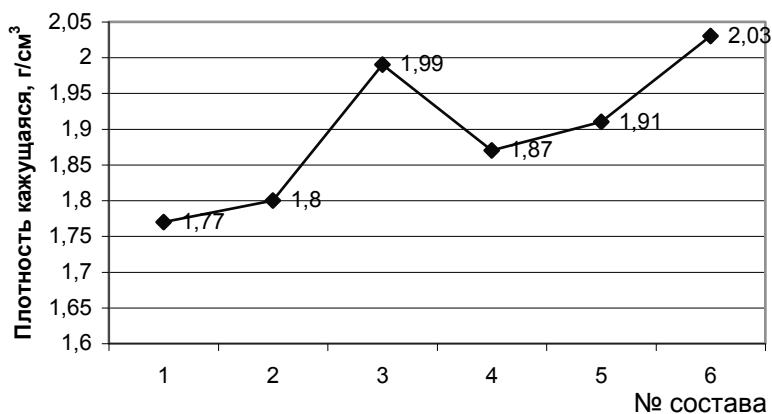


Рис. 1. Изменение плотности кажущейся от содержания наполнителей в составе бетона

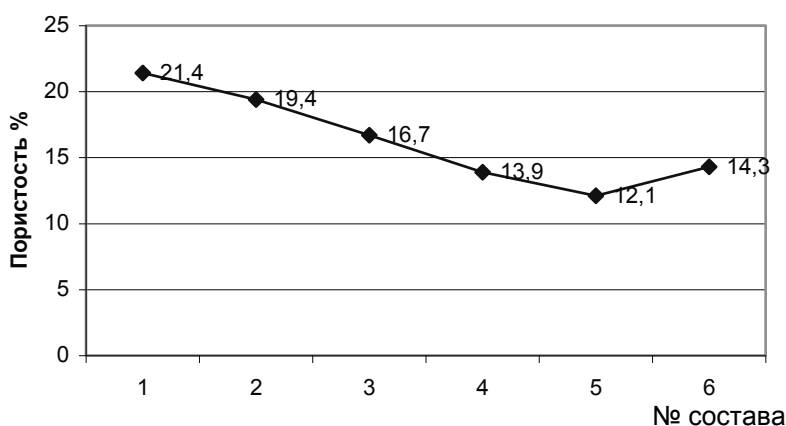


Рис. 2. Изменение пористости от содержания наполнителей в составе бетона

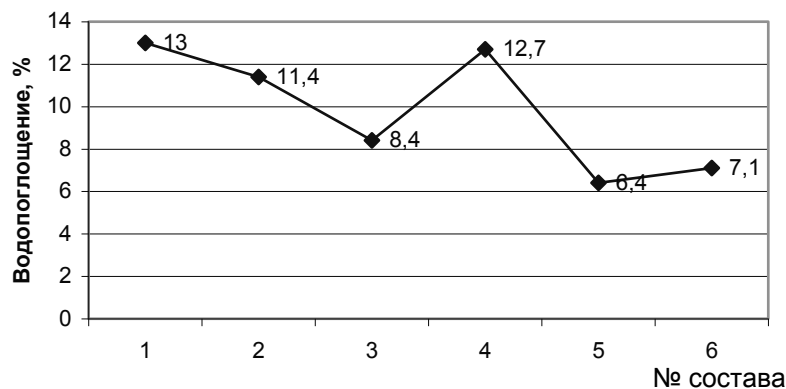


Рис. 3. Изменение водопоглощения от содержания наполнителей в составе бетона

Анализ влияния введения наполнителей на физико-механические показатели виден из сравнения результатов испытаний на водопоглощение (рис. 3). Величина показателя водопоглощения снизилась в 1,5-2 раза от состава 1 к составу 6.

Исследование влияния продуктов взаимодействия поверхностных примесей карбида кремния и компонентов связки проводилось посредством испытаний образцов-кубиков на предел прочности при сжатии (рис. 4) и термическую стойкость (рис. 5). Теоретическое обоснование формирования карбидокремниевой композиции подтвердилось увеличением данных показателей.



От первого до шестого состава видна тенденция увеличения показателя предела прочности при сжатии от 20,6 до 27,2 МПа (рис. 3), термическая стойкость увеличилась в 7 раз (рис. 5).

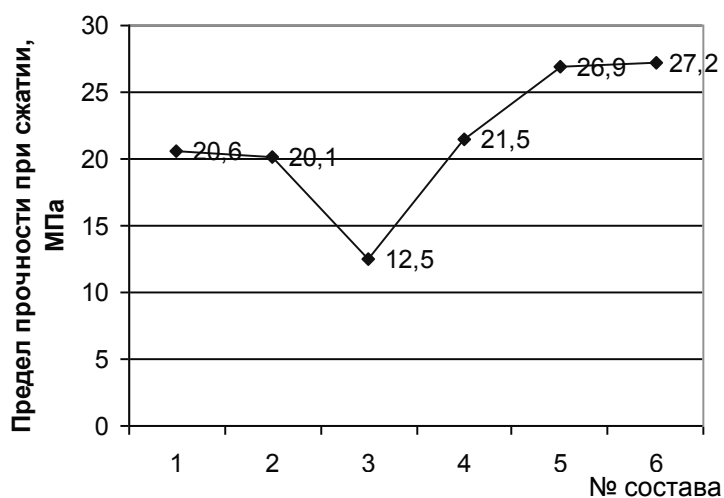


Рис. 4. Изменение предела прочности при сжатии от содержания наполнителей в составе бетона

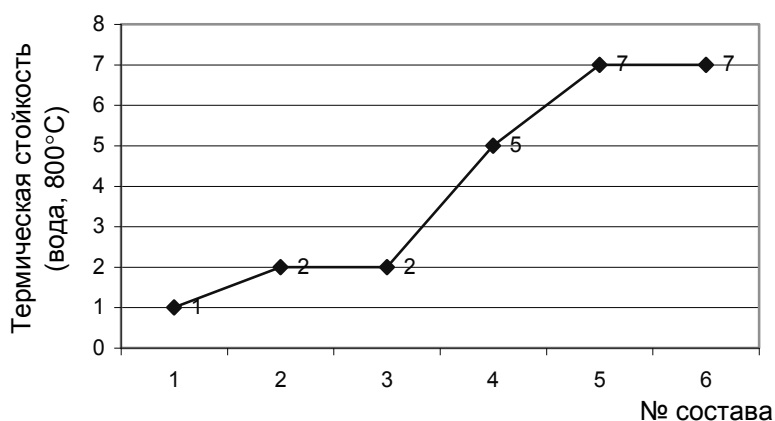


Рис. 5. Изменение термической стойкости (количество теплосмен) от содержания наполнителей в составе бетона

Таким образом, разработаны новые составы строительного композита с наполнителями металлическими и тугоплавкими соединениями, являющимися вторичными материальными ресурсами. Проведены испытания бетонных образцов, результаты которых позволяют осуществить прогнозирование свойств новых строительных материалов и выбрать рациональное направление безотходной технологии в соответствии с реальной потребностью в конкретном наборе качественных параметров получаемого изделия или конструкции с учетом эксплуатационных показателей их работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пичугин А.П. Экологические проблемы эффективного использования отходов и местного материала в строительстве / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 36-37.

**Шумячер Вячеслав Михайлович –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология обработки и производства материалов»,  
ректор Волжского института строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Барабанщикова Татьяна Константиновна –**

доцент кафедры «Строительные и дорожные машины»  
Волжского института строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Кулявцев Иван Юрьевич –**

заместитель директора ООО «Ремстройсервис», г. Волжский Волгоградской области

**Пушкарская Ольга Юрьевна –**

старший преподаватель кафедры «Технология обработки и производства материалов»  
Волжского института строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Денисова Светлана Петровна –**

ассистент кафедры «Технология обработки и производства материалов»  
Волжского института строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

*Статья поступила в редакцию 30.10.06, принята к опубликованию 26.12.06*

---

# ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

---

УДК 621.313 (075)

**И.Н. Дубровский, В.М. Кузьмин****АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
СТАБИЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ДВУХМАШИННОГО  
СОВМЕЩЁННОГО ГЕНЕРАТОРА**

*Рассмотрены схемы однофазного и трёхфазного автономного источника стабильной частоты на основе двухмашинного совмещённого генератора с формированием кривой выходного напряжения путём сложения двух синусоидальных ЭДС. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

**I.N. Dubrovskiy, V.M. Kuzmin****ALTERNATING VOLTAGE INDEPENDENT SUPPLY SOURCE  
ON THE BASIS OF DUAL INTEGRATED GENERATOR SYSTEM**

*Schemes of mono-phase and three-phase independent supply sources based on the dual integrated generator system are considered in this article, forming the output voltage curve by composition of two sinusoidal electromotive forces. The results of the experimental researches are given here.*

Проблема получения переменного тока стабильной и регулируемой частоты является одной из самых актуальных задач в автономных системах, работающих при переменных частотах вращения первичного двигателя. К таким системам могут быть отнесены авиационные генераторы, приводимые во вращение от основного авиационного двигателя; танковые генераторы, приводимые во вращение от основной силовой установки; генераторы на пассажирских поездах на тепловой тяге, речных и морских судах, строительных и автодорожных машинах и других автономных системах.

Развитие и совершенствование подвижных автономных систем сопровождается повышением их энерговооруженности, усложнением бортовой аппаратуры и вычислительной техники. Как следствие этого, возрастают требования к качеству электроэнергии, бесперебойности электроснабжения. В то же время применение переменного тока стабильной частоты как основного вида питания потребителей даёт ряд преимуществ в отношении веса и надёжности всей энергосистемы.

В настоящее время широко применяются энергоблоки с синхронными и асинхронными генераторами, коллекторными машинами постоянного тока, которые не в полной мере удовлетворяют всем возрастающим требованиям к качеству и надёжности, к сроку службы,

статическим и динамическим показателям автономной системы электроснабжения, а также приводят к усложнению и удорожанию.

В автономных системах с приводом постоянной скорости (ППС) получение стабильной частоты достигается путём воздействия на механическую часть установки. ППС является достаточно сложной системой, его применение ограничено громоздкостью, сложностью изготовления, низкими быстродействием и надёжностью.

Получение переменного напряжения стабильной частоты в автономных системах с переменной частотой вращения вала можно обеспечить путём применения машинно-вентильных систем. Возникающую при этом проблему обеспечения синусоидальности выходного напряжения можно решить путём использования в качестве электромеханического преобразователя энергии модуляционного генератора [1].

Одной из наиболее эффективных систем является источник переменного напряжения стабильной частоты с формированием кривой выходного напряжения путём сложения двух синусоидальных ЭДС близких частот в генераторе [2].

Принципиальная схема одного из возможных вариантов источника, реализующего названный принцип формирования кривой выходного напряжения приведена на рис. 1.

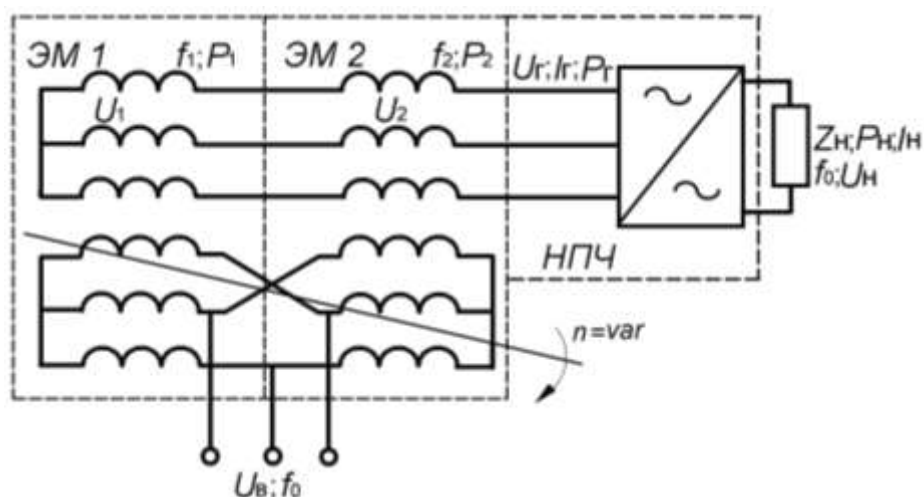


Рис. 1

Электромашинный генератор состоит из двух электрических машин (ЭМ) переменного тока с последовательно соединёнными якорными обмотками. В качестве ЭМ1 и ЭМ2, составляющих генератор, используются асинхронные машины с фазным ротором. Роторные обмотки машин подключены к источнику переменного тока стабильной частоты таким образом, что их поля вращаются в противоположные стороны. В якорной обмотке ЭМ1, которая работает в режиме электромагнитного тормоза (ЭМТ), наводится трёхфазная система ЭДС

$$\begin{aligned}
 e_{1A} &= E_{1m} \sin(\omega_1 + \omega_0)t, \\
 e_{1B} &= E_{1m} \sin\left[(\omega_1 + \omega_0)t - \frac{2\pi}{3}\right], \\
 e_{1C} &= E_{1m} \sin\left[(\omega_1 + \omega_0)t + \frac{2\pi}{3}\right],
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $\omega_1$  – угловая частота ЭДС вращения;  $\omega_0$  – угловая частота тока возбуждения.

В выходных обмотках ЭМ2, которая работает в режиме асинхронного генератора (АГ), наводится ЭДС

$$\begin{aligned}
 e_{2A} &= E_{2m} \sin(\omega_1 - \omega_0)t, \\
 e_{2B} &= E_{2m} \sin\left[(\omega_1 - \omega_0)t - \frac{2\pi}{3}\right], \\
 e_{2C} &= E_{2m} \sin\left[(\omega_1 - \omega_0)t + \frac{2\pi}{3}\right].
 \end{aligned} \tag{2}$$

При равенстве амплитуд указанных ЭДС ( $E_{1m}=E_{2m}=E_m$ ) результирующая ЭДС на входе полупроводникового преобразователя с непосредственной связью (НПЧ) будет описываться уравнениями

$$\begin{aligned}
 e_A &= e_{1A} + e_{2A} = 2E_m \sin \omega_1 t \cos \omega_0 t, \\
 e_B &= e_{1B} + e_{2B} = 2E_m \sin\left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{3}\right) \cos \omega_0 t, \\
 e_C &= e_{1C} + e_{2C} = 2E_m \sin\left(\omega_1 t + \frac{2\pi}{3}\right) \cos \omega_0 t,
 \end{aligned}$$

а частота огибающей будет равна частоте переменного тока возбуждения.

В системах с электромашинным формированием кривой выходного напряжения получение трехфазного напряжения стабильной частоты является непростой задачей. Это обусловлено тем обстоятельством, что генератор в этом случае должен вырабатывать трехфазную систему ЭДС, имеющих сдвиг между огибающими на  $2/3$  периода выходной частоты.

Трехфазную систему напряжений стабильной частоты можно получить в автономном источнике, выполненном на основе трёх асинхронных машин [4], установленных на одном валу и расположенных в одном корпусе (рис. 2).

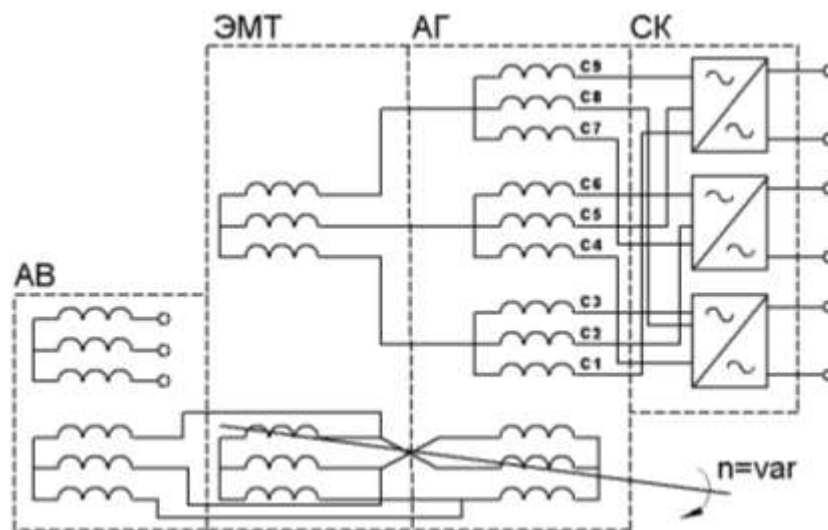


Рис. 2

Роторные обмотки машин подключены к асинхронному возбудителю (АВ) таким образом, что одна из них работает в режиме ЭМТ, а другая – в режиме АГ. Якорная обмотка ЭМТ выполнена в виде обычной трехфазной обмотки. На статоре АГ расположено три идентичных трехфазных обмотки, уложенных в одни и те же пазы. Выводы выходной обмотки ЭМТ подключены к нулевым точкам якорных обмоток АГ. В якорной обмотке ЭМТ наводится трёхфазная система ЭДС в соответствии с (1), а в выходных обмотках АГ наводится ЭДС в соответствии с (2). Тогда при равенстве амплитуд ЭДС машин ( $E_{1m}=E_{2m}=E_m$ ), ЭДС электромашинного генератора определяется следующим образом

$$e_1 = e_{1A} + e_{2A} = 2E_m \sin \omega_1 t \cos \omega_0 t,$$

$$e_2 = e_{1B} + e_{2B} = 2E_m \sin \left( \omega_1 t - \frac{2\pi}{3} \right) \cos \omega_0 t, \quad (3)$$

$$e_3 = e_{1C} + e_{2C} = 2E_m \sin \left( \omega_1 t + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \omega_0 t,$$

$$e_4 = e_{1A} + e_{2C} = 2E_m \sin \left( \omega_1 t + \frac{\pi}{3} \right) \cos \left( \omega_0 t - \frac{\pi}{3} \right),$$

$$e_5 = e_{1B} + e_{2A} = 2E_m \sin \left( \omega_1 t - \frac{\pi}{3} \right) \cos \left( \omega_0 t - \frac{\pi}{3} \right), \quad (4)$$

$$e_6 = e_{1C} + e_{2B} = 2E_m \sin (\omega_1 t + \pi) \cos \left( \omega_0 t - \frac{\pi}{3} \right),$$

$$e_7 = e_{1A} + e_{2B} = 2E_m \sin \left( \omega_1 t - \frac{\pi}{3} \right) \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{3} \right),$$

$$e_8 = e_{1B} + e_{2C} = 2E_m \sin (\omega_1 t - \pi) \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{3} \right), \quad (5)$$

$$e_9 = e_{1C} + e_{2A} = 2E_m \sin \left( \omega_1 t + \frac{\pi}{3} \right) \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{3} \right).$$

Анализ выражений (3)-(5) показывает, что огибающие результирующих ЭДС обмоток, подключенных к первому силовому коммутатору (СК), сдвинуты по отношению к огибающей ЭДС обмоток, подключенных ко второму СК, на  $1/6$  периода тока возбуждения, или на треть собственного периода. Аналогично можно установить, что огибающие результирующих ЭДС обмоток, подключенных к третьему коммутатору, сдвинуты по отношению к огибающей ЭДС обмоток, подключенных к первому СК на  $1/3$  их собственного периода.

При питании обмотки возбуждения возбудителя АВ переменным током стабильной частоты  $\omega_0$  и вращении вала с угловой частотой  $\omega_1$ , в роторной обмотке возбудителя наводится ЭДС, изменяющаяся с угловой частотой

$$\omega_s = \omega_1 p_1 + \omega_0,$$

где  $p_1$  – число пар полюсов обмотки возбудителя.

Нагрузкой для роторной обмотки возбудителя являются роторные обмотки ЭМТ и АГ. В статорных обмотках этих машин наводится ЭДС с угловыми частотами

$$\omega_2 = \omega_1 (p_2 - p_1) - \omega_0,$$

$$\omega_3 = \omega_1 (p_3 + p_1) + \omega_0,$$

где  $p_2$  и  $p_3$  – числа пар полюсов АГ и ЭМТ соответственно.

Частота биений выходного напряжения электромашинного генератора определяется следующим образом

$$\omega_B = \omega_1 (2p_1 + p_3 - p_2) + 2\omega_0.$$

Частота выходного напряжения источника не будет зависеть от частоты вращения вала приводного двигателя при условии  $\omega_B = 2\omega_0$ . Тогда числа пар полюсов асинхронных машин, составляющих генератор, должны выбираться из условия

$$2p_1 + p_3 = p_2.$$

В таком источнике вместо одной асинхронной машины может быть использован синхронный генератор, возбуждаемый от источника постоянного тока. Угловая частота биений выходного напряжения определится следующим образом

$$\omega_B = (p_1 + p_2 - p_3)\omega_1 + \omega_0,$$

где  $p_1$  – число пар полюсов синхронного генератора;  $p_2$  – число пар полюсов ЭМТ;  $p_3$  – число пар полюсов АВ;  $\omega_1$  – угловая частота вращения вала;  $\omega_0$  – угловая частота тока возбуждения АВ.

Тогда для обеспечения стабильности частоты выходного напряжения источника при переменной частоте вращения вала необходимо выполнить условие

$$p_1 + p_2 = p_3.$$

Таким образом, схема электромашинной части источника, приведенная на рис. 2, позволяет получить три системы трехфазных модулированных напряжений со сдвигом огибающей каждой системы на треть периода. Осуществив с помощью силового коммутатора выделение модулирующих функций, можно получить трехфазное напряжение, близкое к синусоидальному. Частота выходного напряжения при этом будет равна частоте переменного тока возбуждения. Все три машины, составляющие генератор, могут быть совмещены как по магнитным цепям, так и по обмоткам. Это существенно улучшает конструкцию генератора.

Несложно составить совмещённую обмотку статора генератора [3]. Вариант электрической схемы совмещённой обмотки АГ с  $p=3$  и ЭМТ с  $p=6$  при наличии 54 пазов на статоре изображён на рис. 3.

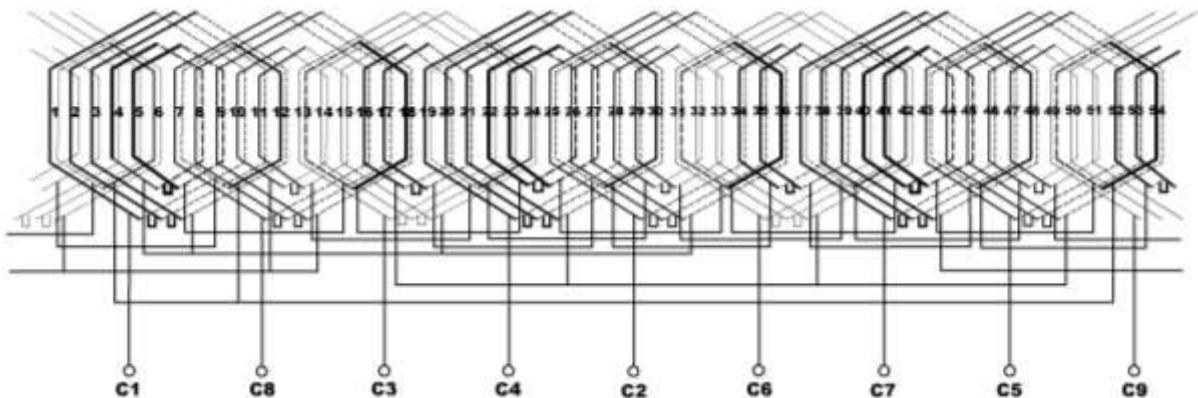


Рис. 3

Схема совмещённой обмотки ротора при  $p=3$  и  $p=6$  соответственно для АГ и ЭМТ при наличии 36 пазов изображена на рис. 4.

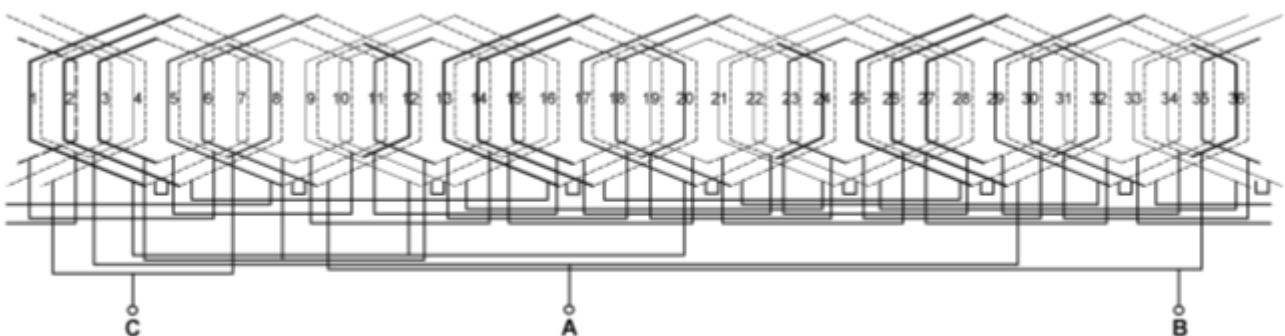


Рис. 4

При создании автономного источника стабильной частоты особое значение приобретает определение соотношений между токами, напряжениями и мощностями в отдельных элементах системы.

Целью исследований являлись экспериментальное определение указанных соотношений и проверка работоспособности устройства.

Экспериментальные исследования реализованы на макетном образце (рис. 1), созданном на базе двух электрических машин ЭМ1 и ЭМ2, генерирующих две системы трехфазных напряжений  $U_1$  и  $U_2$  близких частот  $f_1/f_2 = 5/6$ .

Статорные обмотки машин соединены последовательно и подключены к нагрузке  $Z_H$  через НПЧ. Цепи возбуждения машин подключены с различным порядком чередования фаз к источнику питания стабильной частоты  $f_0$ , определяющему, в свою очередь, частоту выходного напряжения исследуемого устройства.

Осциллограммы выходного напряжения  $U_H$  и тока статорной цепи  $I_e$  приведены на рис. 5 и 6.

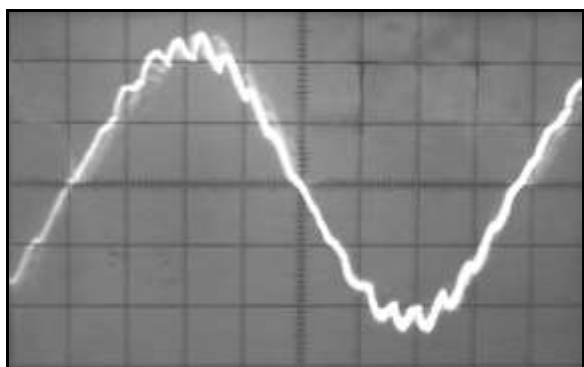


Рис. 5

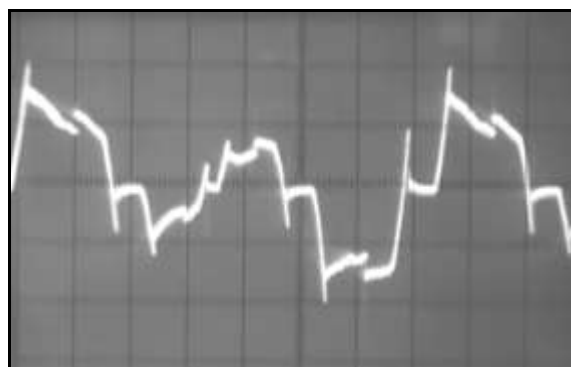


Рис. 6

Зависимости основных величин, характеризующих работу источника от мощности нагрузки, приведены на рис. 7, 8, 9.

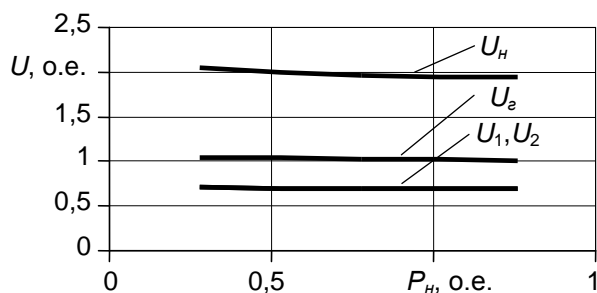


Рис. 7

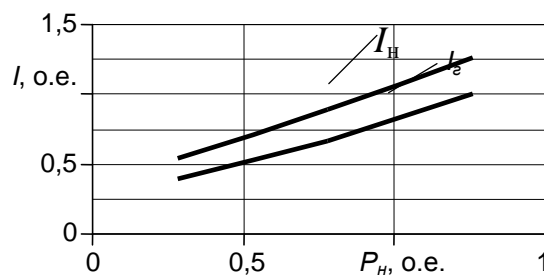


Рис. 8

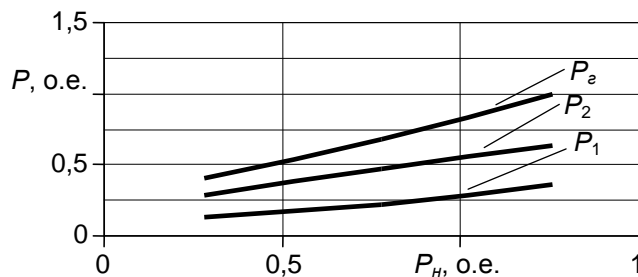


Рис. 9



Указанные зависимости могут быть аппроксимированы следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 U_2 &= -0,1813P_H + 1,0751; & U_{1,2} &= -0,0408P_H + 0,726; \\
 I_H &= 1,4689P_H - 0,0385; & I_2 &= 1,2232P_H - 0,0921; \\
 P_2 &= 1,2032P_H - 0,0694; & P_1 &= 0,4686P_H - 0,0617; \\
 P_2 &= 0,7146P_H + 0,005; & U_H &= -0,1843P_H + 2,104.
 \end{aligned}$$

Обозначив коэффициенты преобразования:

$$K_I = \frac{I_H}{I_\Gamma}, \quad K_U = \frac{U_H}{U_\Gamma}, \quad K_{U1} = \frac{U_1}{U_\Gamma}, \quad K_{U2} = \frac{U_2}{U_\Gamma}, \quad a = \frac{U_1}{U_2},$$

результаты испытаний можно представить в виде таблицы.

$I_H$	$a = 0,54$				$I_H$	$a = 1$			
	$K_U$	$K_I$	$K_{U1}$	$K_{U2}$		$K_U$	$K_I$	$K_{U1}$	$K_{U2}$
0,57	2,17	1,44	0,92	0,5	0,54	1,960	1,35	0,68	0,69
1,0	2,10	1,43	0,91	0,5	0,89	1,955	1,35	0,68	0,68
1,4	2,05	1,40	0,89	0,5	1,26	1,950	1,26	0,69	0,70

Таким образом, в результате экспериментальных исследований однофазного автономного источника стабильной частоты была проверена его работоспособность, определены соотношения между токами, напряжениями и мощностями статорной цепи генератора. Результаты исследований могут быть использованы в качестве исходной базы для расчёта и проектирования источников с модуляцией напряжения генератора.

Трёхфазный автономный источник с электромашинным формированием кривой выходного напряжения, выходной каскад которого выполнен на базе двух асинхронных машин с последовательно соединёнными якорными обмотками, является перспективным при электроснабжении переменным током стабильной частоты автономных объектов, так как имеет простую конструкцию и наилучшие массогабаритные показатели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брускин Д.Э. Генераторы, возбуждаемые переменным током: учеб. пособие для вузов / Д.Э. Брускин. М.: Высшая школа, 1974. 128 с.
2. Кузьмин В.М. Трёхфазный модуляционный вентильный генератор / В.М. Кузьмин, Ш.С. Ройз, В.С. Саяпин // Исследование специальных электрических машин и машинно-вентильных систем: межвуз. сб. науч. тр. Томск, 1979. С. 160-163.
3. Войтех А.А. Асинхронные электродвигатели с регулированием скорости / А.А. Войтех, Г.М. Кирчек, Э.В. Лир. Киев: Техника, 1973. 172 с.
4. А.с. 1149357 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 02 М 5/48, Н 02 К 29/00. Машинно-вентильный источник трёхфазного напряжения стабильной частоты / Ш.С. Ройз, А.Б. Цукублин, В.М. Кузьмин, А.И. Озга (СССР). № 3576674/24-07; заявл. 11.04.83; опубл. 07.04.85, Бюл. № 13. 2 с.

**Дубровский Игорь Николаевич** –  
соискатель кафедры «Электромеханика»  
Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

**Кузьмин Вячеслав Матвеевич** –  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика»  
Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 12.10.06, принята к опубликованию 26.12.06*

**О.Ю. Косова**

**РАСЧЕТ ТРУБЧАТОГО РЕАКТОРА ТИПА «ГАЗОВЗВЕСЬ»  
ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

*Предложена методика численного расчета трубчатого реактора для пирогазификации измельченного твердого топлива в потоке газозвеси с подводом тепла к потоку от внешнего источника через стенку реактора.*

**O.Yu. Kosova**

**GAS SUSPENSION TYPE TUBULAR REACTOR CALCULATION  
FOR FIRM FUEL THERMAL PROCESSING**

*The technique of numerical calculation of a tubular reactor for thermal processing the crushed firm fuel in a stream of gas with a supply of heat to a stream from an external source through a wall of a reactor is offered in this article.*

В настоящее время проблема комплексного энерготехнологического использования твердого топлива, с научно-технической точки зрения – это, главным образом, проблема аппаратного оформления термохимических процессов переработки топлива. В [1] предложена установка, процессы пирогазификации топлива в которой осуществляются в трубчатых реакторах типа «газовзвесь». Одно из важных преимуществ трубчатых реакторов состоит в возможности организации теплоподвода в реакционную зону от внешнего источника через разделяющую стенку.

В данной работе представлена методика расчета трубчатого реактора, основанная на использовании численного метода расчета теплообмена газозвеси, который изложен в [2, 3]. Расчетная схема метода предусматривает разбивку потока газозвеси в трубе на элементарные концентрические кольцевые слои толщиной  $\Delta y = (R - 0,5 d_m) / (n - 0,5)$ , где  $n$  – число слоев (следует принимать  $n$  не менее 20). В продольном направлении поток представляется состоящим из участков переменной длины  $\Delta x$ , величина которых определяется в процессе итерационного счета.

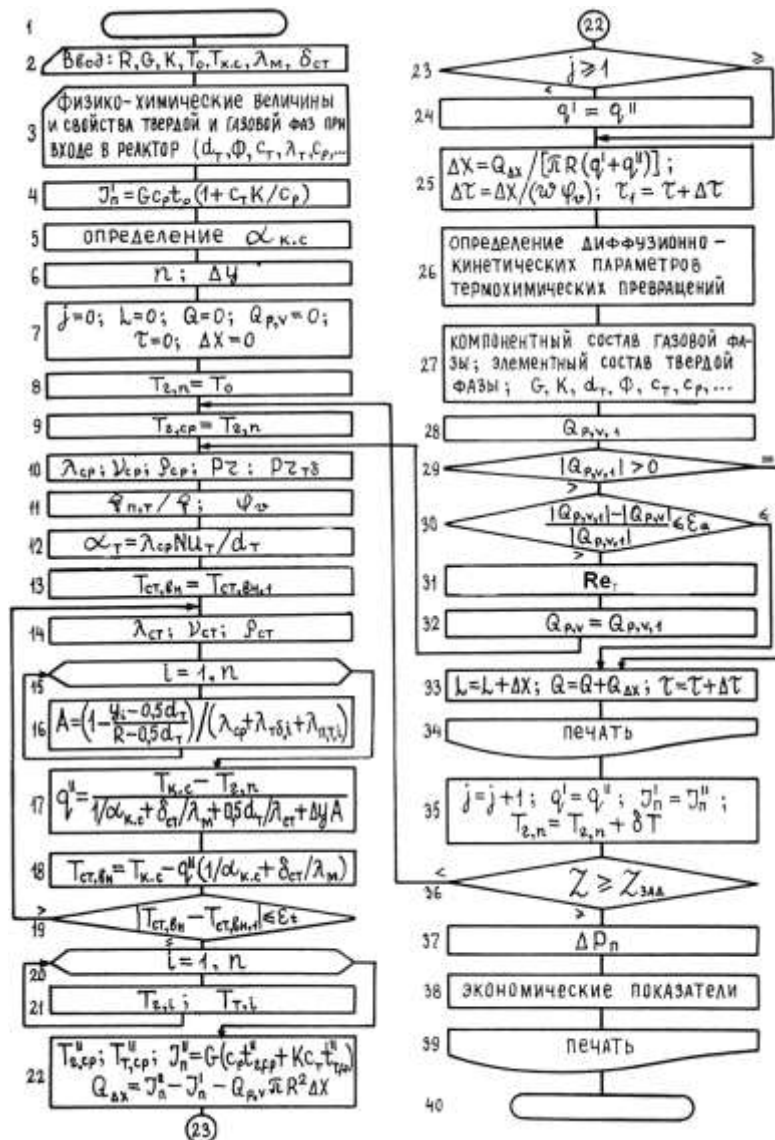
Укрупненная блок-схема расчета приведена на рисунке.

Рассматривается трубчатый реактор, расположенный в кипящем слое с температурой  $T_{к.с}$ . Задача теплообмена решается в сопряженной постановке. При этом температура  $T_{ст.вн}$  внутренней поверхности стенки реактора является определяемой величиной, она находится в итерационном цикле (блоки 13...19) при известных термических сопротивлениях теплоотдачи со стороны кипящего слоя –  $1/\alpha_{к.с}$  и теплопроводности стенки реактора –  $\delta_{ст}/\lambda_m$ .

Коэффициент теплообмена  $\alpha_{к.с}$  в блоке 5 определяется по известным соотношениям, например в [4]. При необходимости учета лучистой составляющей  $\alpha_{к.с}$ , зависящей от  $T_{ст}$ , ее вычисление целесообразно осуществлять в итерационном цикле одновременно с нахождением  $T_{ст.вн}$  (блоки 13...19).

В качестве определяющей температуры, по которой находятся теплофизические параметры газовой среды, транспортирующей топливные частицы, принимается температура на оси потока  $T_{с.н}$  (блок 9). Коэффициент теплообмена  $\alpha_{м,ср}$  в блоке 12 вычисляется с использованием рекомендаций [5].

Определение диффузионно-кинетических параметров термохимических превращений натуральных топлив в блоке 26 осложнено ограниченностью и низкой точностью расчетных рекомендаций. Наиболее полно в литературе представлены кинетические параметры реакций взаимодействия лишь чистого углерода с газовыми компонентами. Поэтому в отсутствие сведений по кинетическим параметрам термодеструктивных превращений перерабатываемого топлива, при определении состава потока в конце элементарного участка реактора длиной  $\Delta x$  (блок 27) можно использовать экспериментальные данные по динамике газовыделения в нагреваемой топливной взвеси, имеющиеся в [6] и других литературных источниках.



Блок-схема расчета

По известным составам потока на входе и выходе участка  $\Delta x$  в блоке 28 вычисляется тепловой эффект протекающих реакций, отнесенный к  $1 \text{ м}^3$  реакторного объема –  $Q_{p,v}$ , Вт/ $\text{м}^3$ . Величина  $Q_{p,v}$  принята в качестве параметра итерационного цикла (блоки 10...32) расчета характеристик на участке  $\Delta x$ .

В блоке 34 предусматривается вывод на печать текущих значений определяемых величин, а в блоке 35 дается приращение  $\delta T$  для температуры газа в центре потока на следующем участке  $\Delta x$ . Таким образом расчет выполняется для каждого последовательно располо-

женного участка реактора до выполнения условия в блоке  $36-Z \geq Z_{зад}$ , где  $Z_{зад}$  – наперед заданная или определяемая в процессе расчета величина. Такой величиной, в зависимости от решаемых задач, могут выступать длина  $L$  реактора, температура стенки реактора  $T_{cm}$ , конечная температура нагрева частиц топлива  $T_m$ , выход парогазовой смеси  $V_{n,z}$  или целевого продукта ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_6H_6$  и т.д.) и другие параметры. Если пирогазификация осуществляется за счет подвода теплоты, выделяющейся при сжигании коксового остатка, то ограничивающим расчет параметром может быть степень выгазовывания исходного топлива, обеспечивающая баланс потребляемой в процессе теплоты и потенциальной химической теплоты твердой фазы потока газозвеси на выходе реактора.

С целью проверки адекватности предложенного алгоритма осуществлялся расчет длины реактора для условий опытов [6] по высокоскоростному пиролизу ирша-бородинского и южноуральского (Ермолаевский разрез) бурых углей в средах водяного пара и воздуха, а также по окислительному пиролизу горючих сланцев. Использовались экспериментальные данные по динамике выхода парогазовых компонентов на длине реакторной трубы. В процессе расчета решалась внутренняя задача теплообмена при задаваемой (измерялась в опытах) температуре стенки. Всего просчитывалось двенадцать опытов. Расхождение расчетного значения  $L$  с действительным составило в среднем 12%.

Таким образом, расчетная методика и принятое описание теплогидравлических процессов при пирогазификации топлива в потоке газозвеси позволяют получать результат с приемлемой для инженерной практики точностью.

### Список обозначений

$R$  – радиус реактора, м;  $G$  – расход газовой фазы потока, кг/с;  $K$  – расходная массовая концентрация частиц в потоке;  $T, t$  – температура, К, °С;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\delta_{cm}$  – толщина стенки реактора, м;  $d_m$  – диаметр частиц топлива, м;  $\Phi$  – геометрический фактор формы частиц;  $c_p$  и  $c_m$  – теплоемкость сплошной и дисперсной фаз, Дж/(кг·К);  $J$  – полная энтальпия потока, Дж/кг;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $Q$  – мощность теплового потока, Вт;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – плотность газовой фазы, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi$  – коэффициент гидродинамического сопротивления;  $\varphi_v$  – фактор скоростного скольжения частиц;  $A$  – расчетный параметр;  $q$  – плотность теплового потока на стенке, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время, с;  $w$  – среднерасходная скорость газовой фазы, м/с;  $\Delta P$  – перепад давления потока, Па;  $Nu$  – число Нуссельта;  $Re$  – число Рейнольдса;  $Pr$  – число Прандтля.

Индексы:  $o$  – вход потока;  $к.с.$  – кипящий слой;  $cm$  – стенка реактора;  $m$  – твердая фаза;  $n$  – поток;  $г$  – газ;  $ср$  – параметр при средней температуре потока;  $Tб$  – турбулентный; ' и " – вход и выход участка  $\Delta x$ ;  $i$  – порядковый номер кольцевого слоя;  $j$  – порядковый номер участка  $\Delta x$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Косова О.Ю. Установка для термической переработки пылевидного сланца / О.Ю. Косова // Горючие сланцы – альтернативный источник топлива и сырья. Фундаментальные исследования. Опыт и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. 21-23 мая 2007 г. Саратов: СГТУ, 2007. С. 108-112.

2. Печенегов Ю.Я. Математическое моделирование теплообмена потока газозвеси в трубе / Ю.Я. Печенегов, О.Ю. Косова // Физические основы экспериментального и математического моделирования процессов газодинамики и теплообмена в энергетических установках: труды XIII Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. А.И. Леонтьева: в 2 т. С.-Петербург, 20-25 мая 2001 г. Т. 2. М.: Изд-во МЭИ, 2001. С. 39-41.

3. Печенегов Ю.Я. Метод расчета теплообмена при течении в трубе газозвеси с термохимически разлагающейся твердой фазой / Ю.Я. Печенегов, О.Ю. Косова // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках: труды XIV Школы-семинара

молодых ученых и специалистов под руководством акад. А.И. Леонтьева: в 2 т. Рыбинск, 26-30 мая 2003 г. Т. 1. М.: Изд-во МЭИ, 2003. С. 306-308.

4. Процессы тепло- и массопереноса в кипящем слое / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, А.Ф. Рыжков, М.Ф. Филипповский. М.: Металлургия, 1978. 248 с.

5. Горбис З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков / З.Р. Горбис. М.: Энергия, 1970. 424 с.

6. Каширский В.Г. Экспериментальные основы комплексного энерготехнологического использования топлив / В.Г. Каширский. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1981. 144 с.

**Косова Ольга Юрьевна** –  
инженер ОАО «ВНИПИгаздобыча», г. Саратов

*Статья поступила в редакцию 23.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 621. 315. 175

**П.А. Кузнецов, С.В. Аверьянов**

### **АНАЛИЗ ОЖИДАЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРОВОДА (ГРОЗОТРОСЫ) ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Сформулирована научно-техническая задача и представлены результаты расчета и анализа ожидаемых механических нагрузок на провода (грозотросы) воздушных линий (ВЛ) электропередачи при всех возможных условиях эксплуатации линии. Отражены зависимости значений механических нагрузок от величин температуры воздуха, скорости ветра, толщины стенки отложений различных видов и гололедных отложений в сочетании с ветром, а также от динамических нагрузок пляски проводов.*

**P.A. Kuznetsov, S.V. Averyanov**

### **EXPECTED MECHANICAL LOADINGS ANALYSIS ON WIRES (STORM-TOW) OF THE OVERHEAD POWER LINES DURING THEIR OPERATION**

*The scientific and technical problem is formulated and results of calculation and analysis of expected mechanical loadings on wires (storm-tow) on the overhead power lines are presented under all possible conditions of the line operation in the article. Dependences of values mechanical loadings on sizes of air temperature, speed of a wind, thickness of a wall of various kind adjournment and ice adjournment in a combination to a wind, and also from dynamic loadings of galloping wires are reflected here as well.*

В настоящее время при проектировании механической части ВЛ используется, как правило, общепринятая методика расчета механических нагрузок на элементы линий [1, 2, 3,

4]. Цель этих расчетов – спроектировать механически прочную и экономически целесообразную ВЛ. Метеорологические воздействия на ВЛ в этой методике определяются в виде статических величин максимальных механических нагрузок в соответствии с представленными в [1] требованиями, таблицами, картами районирования территории СНГ по толщине стенки гололеда, скоростным напорам ветра и пляске проводов.

При разработке информационно-измерительных систем мониторинга ВЛ (СМВЛ) возникает задача расчета величин ожидаемых механических нагрузок на провода (фазные провода и грозотросы) ВЛ при изменяющихся во времени метеоусловиях. По результатам расчета проводятся анализ и прогнозирование величин механических воздействий на элементы ВЛ с учетом динамики их изменения, а также определение пороговых значений воздействующих метеопараметров, при достижении которых возникает опасность аварии на ВЛ. Пороговые значения закладываются в качестве априорной информации в алгоритм работы СМВЛ, являются ключевыми при принятии системой мониторинга решений о наличии воздействия и его виде, степени опасности и динамике его развития.

Для повышения практической ценности результатов расчета в статье представлены результаты расчета ожидаемых механических нагрузок на провода для наиболее широко распространенных ВЛ напряжением 110 кВ с опорами типа ПБ110-5 и фазными проводами АС-120/19, т.к. эти результаты планируется использовать при внедрении СМВЛ на территории Саратовской области, относящейся к 4-му климатическому району по толщине стенки отложений ( $b_{г.н.} = 20$  мм) и 3-му климатическому району по скоростному напору ветра ( $v = 29$  м/с).

Для достижения поставленной цели авторами проведен расчет механических нагрузок по общепринятой методике до этапа определения стрелы провеса проводов. При этом длина промежуточного пролета рассчитана в соответствии с этой методикой (для проектируемой ВЛ) и названа расчетной:  $l_{расч} = 190$  м. При расчетах для действующих линий длину промежуточного пролета необходимо определять исходя из реальных данных о длинах пролетов, контролируемых СМВЛ.

Далее произведен расчет ожидаемых механических нагрузок в виде горизонтальных, вертикальных и полных тяжений проводов ВЛ при изменяющихся метеоусловиях, включая воздействия на ВЛ динамических нагрузок. В статье представлены зависимости величин тяжений от переменных метеорологических параметров при:

- 1) исходных эксплуатационных механических нагрузках;
- 2) воздействию ветровых нагрузок на провод без отложений;
- 3) воздействию нагрузок от отложений без ветра;
- 4) воздействию гололедно-ветровых нагрузок;
- 5) динамических воздействиях пляски проводов.

#### 1. Анализ исходных эксплуатационных механических нагрузок.

Проведение анализа гололедно-ветровых воздействий на провода ВЛ предполагает определение исходных эксплуатационных механических параметров линии, отражающих ее состояние при отсутствии неблагоприятных метеорологических воздействий на элементы ВЛ. В соответствии с методикой механического расчета ВЛ определены согласно выбранным условиям значения расчетных коэффициентов, определены параметры для выбранных проводов ВЛ-110 кВ, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры выбранных для механического расчета проводов марки АС-120/19

$F$	$d_n$	$M_0$	$K_d$	$E$	$\alpha_{л.р.}$	$R_{раз}$	$\sigma_{пр}$	$\sigma_{доп}$	$T_{доп}$	$\sigma_3$	$T_3$
136,8	15,2	471	0,918	$82,5 \times 10^3$	$19,2 \times 10^{-6}$	40520	296,2	118,5	1621	88,9	1216

В табл. 1:  $F$  – полное поперечное сечение провода, мм<sup>2</sup>;  $d_n$  – внешний диаметр провода, мм;  $M_0$  – погонная масса провода, кг/км;  $k_d$  – коэффициент, учитывающий действительный диаметр провода,  $k_d = \frac{0,83}{\sqrt[4]{0,1 \times d_n}} + 0,17$  [4];  $E$  – модуль упругости провода, Н/мм<sup>2</sup>;  $\alpha_{л.р.}$  – температурный коэффициент линейного расширения, 10<sup>-1</sup> °С;  $R_{раз}$  – разрывное усилие провода, Н;  $\sigma_{пр}$  – предел прочности провода при растяжении, кгс;  $\sigma_{дон}(T_{дон})$  – нормативное допускаемое напряжение (тяжение) провода, кгс,  $T_{дон} = \sigma_{дон} \times F / g$ , где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\sigma \varepsilon(T_3)$  – эксплуатационное напряжение (тяжение) провода, кгс,  $T_3 = \sigma_3 \times F / g$ .

Результаты расчета удельных механических нагрузок  $\gamma_i$ ,  $\frac{Н}{м \times мм^2}$  на провода представлены в табл. 2.

Таблица 2

Удельные механические нагрузки на провода

Провод	$b_e$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_4$	$\gamma_5$	$\gamma_6$	$\gamma_7$
АС-120/19	18,35	0,034	0,125	0,159	0,056	0,192	0,065	0,249

В табл. 2:  $b_e = k_d \times k_h \times b_{e.н.}$  – расчетная толщина стенки гололедных отложений, мм ( $k_h$  – поправочный коэффициент на высоту расположения над землей центра тяжести всех проводов рассматриваемого участка линии);  $\gamma_1$  – удельная нагрузка от веса провода;  $\gamma_2$  – удельная нагрузка от веса отложений на проводе;  $\gamma_3$  – удельная нагрузка от суммарного веса провода и отложений на нем;  $\gamma_4$  – удельная нагрузка от давления ветра на провод без отложений на нем;  $\gamma_5$  – удельная нагрузка от давления ветра на провод с отложениями на нем;  $\gamma_6$  – результирующая удельная нагрузка от веса провода без отложений и давления ветра на него;  $\gamma_7$  – результирующая удельная нагрузка от веса провода с отложениями и давления ветра на него.

Расчет исходных механических нагрузок на провода ВЛ: горизонтальной составляющей тяжения ( $H_\Theta$ ), вертикальной составляющей тяжения ( $V_\Theta$ ), полного тяжения провода ( $T_\Theta$ ) – произведен с определением механического напряжения в проводах  $\sigma_\Theta$  из уравнения состояния провода:

$$\sigma_\Theta - \frac{\gamma_1^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_\Theta)^2} = \sigma_{дон} - \frac{\gamma_7^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_{дон})^2} - \alpha_{л.р.} \times E \times (\Theta - \Theta_3), \quad (1)$$

где  $\Theta$ , °С – переменная температура;  $\Theta_3 = 0^\circ\text{C}$  – эксплуатационная температура.

Стрелы провеса  $f_\Theta$ , м, в соответствии с [2] определены из выражения:

$$f_\Theta = \frac{\gamma_1 \times (l_{расч})^2}{8 \times \sigma_\Theta}. \quad (2)$$

Горизонтальные составляющие полного тяжения  $H_\Theta$ , кгс, согласно [4]:

$$H_\Theta = \frac{M_0 \cdot 10^{-3} \times (l_{расч})^2}{8 \times f_\Theta}. \quad (3)$$

Вертикальные составляющие полного тяжения провода  $V_\Theta$ , кгс, в соответствии с [4]:

$$V_\Theta = M_0 \cdot 10^{-3} \times l_{расч}. \quad (4)$$

Полные тяжения провода  $T_\Theta$ , кгс:

$$T_\Theta = \sqrt{(H_\Theta)^2 + (V_\Theta)^2}. \quad (5)$$

В результате расчета получены зависимости величин тяжений проводов от переменных значений температуры воздуха:  $H_{\Theta}$ ,  $V_{\Theta}$ ,  $T_{\Theta}=F(t^{\circ})$ . Графики этих зависимостей представлены на рис. 1, а.

Из графиков следует, что вертикальная составляющая тяжения провода ( $V_{\Theta}$ ) остается всегда неизменной, равной 70 кгс, и не зависит от изменений температуры, горизонтальная составляющая ( $H_{\Theta}$ ) зависит от изменения температуры, изменяясь в диапазоне 280÷235 кгс, и при любых условиях значительно превышает вертикальную составляющую тяжения провода ( $V_{\Theta}$ ) и составляет основную долю полного тяжения ( $T_{\Theta}$ ), изменяющегося в диапазоне 295÷250 кгс. В рассмотренном диапазоне температур без воздействий отложений и ветра значения тяжений в проводах значительно меньше допустимых предельных значений, поэтому температурные воздействия на провода не являются аварийно-опасными.

## 2. Анализ ожидаемых ветровых нагрузок.

Значения тяжений  $H_v$ ,  $V_v$ ,  $T_v$ , возникающих в проводах без отложений, но с изменяющейся скоростью ветра  $v = 0, 10, 20, 30, 40$  м/с, при фиксированной температуре гололедообразования  $\Theta_2 = -5^{\circ}\text{C}$  определены по нижеприведенным формулам.

Стрелы провеса  $f_v$ , м, рассчитаны по формуле:

$$f_v = \frac{\gamma_6 \times (l_{расч})^2}{8 \times \sigma_v}. \quad (6)$$

Здесь

$$\gamma_6 = \sqrt{(\gamma_1)^2 + \left( \frac{\alpha \times k_l \times C_x \times v^2 \times d_n}{1,6 \times 10^{-3} \times F} \right)^2}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент неравномерности скоростного напора по пролету;  $k_l$  – коэффициент влияния длины пролета;  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления провода скоростному напору ветра.

Уравнение состояния провода:

$$\sigma_v - \frac{\gamma_6^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_v)^2} = \sigma_{дон} - \frac{\gamma_7^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_{дон})^2} - \alpha_{л.р.} \times E \times (\Theta_2 - \Theta_3). \quad (8)$$

Горизонтальные составляющие  $H_v$ , кгс, полного тяжения провода равны:

$$H_v = \frac{\sqrt{(M_0 \cdot 10^{-3})^2 + (P_v)^2} \times (l_{расч})^2}{8 \times f_v}, \quad (9)$$

где давление ветрового потока, кгс:

$$P_v = 6,25 \times 10^{-5} \times \alpha \times k_l \times C_x \times v^2 \times d_n. \quad (10)$$

Вертикальные составляющие  $V_v$ , кгс, полного тяжения провода равны:

$$V_v = \sqrt{(M_0 \cdot 10^{-3} \times l_{расч})^2 + (P_v \times l_{расч})^2}. \quad (11)$$

Полные тяжения провода  $T_v$ , кгс:

$$T_v = \sqrt{(H_v)^2 + (V_v)^2}. \quad (12)$$

График зависимости  $H_v$ ,  $V_v$ ,  $T_v = F(v)$  величин тяжений проводов без отложений при фиксированной температуре  $\Theta_2 = -5^{\circ}\text{C}$  от скорости ветра, построенный по результатам расчетов по выражениям (6)÷(12), представлен на рис. 1, б.

Из графика видно, что независимо от величины ветрового воздействия полное тяжение провода не превышает допустимой ( $T_{дон} = 1653$  кгс) и эксплуатационной величин ( $T_s = 1240$  кгс). Следовательно, ветровое воздействие на провод без отложений при скорости ветра до 40 м/с не является аварийно-опасным для ВЛ.



### 3. Анализ ожидаемых нагрузок от отложений различных видов.

Тяжения  $H_{\Theta_z}$ ,  $V_{\Theta_z}$ ,  $T_{\Theta_z}$ , возникающие в проводах без ветра и при фиксированной температуре гололедообразования  $\Theta_z = -5^\circ\text{C}$  при наличии отложений различных видов: чистого гололеда с плотностью  $g_0=900 \text{ кг/м}^3$ , смеси гололеда со снегом –  $g_0=450 \text{ кг/м}^3$ , изморози –  $g_0=225 \text{ кг/м}^3$ , и с разной толщиной стенки отложений ( $b_{z.n.} = 0, 5, 10, 20, 30, 40 \text{ мм}$ ), – определены по следующим формулам.

Стрелы провеса  $f_{\Theta_z}$ , м, найдены по формуле:

$$f_{\Theta_z} = \frac{\gamma_3 \times (l_{расч})^2}{8 \times \sigma_{\Theta_z}}, \quad (13)$$

где

$$\gamma_3 = \gamma_1 + g \times \frac{g_0 \times \pi \times b_z \times (d_n + b_z)}{F} \times 10^{-6}. \quad (14)$$

Уравнение состояния провода:

$$\sigma_{\Theta_z} - \frac{\gamma_3^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_{\Theta_z})^2} = \sigma_{дон} - \frac{\gamma_7^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_{дон})^2} - \alpha_{л.р.} \times E \times (\Theta_z - \Theta_9). \quad (15)$$

Горизонтальные составляющие  $H_{\Theta_z}$ , кгс, полного тяжения провода:

$$H_{\Theta_z} = \frac{(M_0 \cdot 10^{-3} + g_0 \cdot 10^{-6} \times F_{омл}) \times (l_{расч})^2}{8 \times f_{\Theta_z}}, \quad (16)$$

где  $F_{омл}$  – площадь поперечного сечения стенки отложений,  $\text{мм}^2$ , вычисляется в соответствии с [4] по формуле:

$$F_{омл} = \frac{\pi \times ((d_n + 2 \cdot b_z)^2 - d_n^2)}{4}. \quad (17)$$

Вертикальные составляющие  $V_{\Theta_z}$ , кгс, полного тяжения провода равны:

$$V_{\Theta_z} = (M_0 \cdot 10^{-3} + g_0 \cdot 10^{-6} \times F_{омл}) \times l_{расч}. \quad (18)$$

Полные тяжения провода  $T_{\Theta_z}$ , кгс:

$$T_{\Theta_z} = \sqrt{(H_{\Theta_z})^2 + (V_{\Theta_z})^2}. \quad (19)$$

По результатам расчетов по выражениям (13)–(19) для каждого провода построены графики зависимостей  $H_{\Theta_z}$ ,  $V_{\Theta_z}$ ,  $T_{\Theta_z} = F(b_{z.n.})$  величин тяжений проводов без воздействия ветра и при фиксированной температуре воздуха  $\Theta_z = -5^\circ\text{C}$  от толщины стенки отложений в виде: чистого гололеда с плотностью  $g_0=900 \text{ кг/м}^3$  (рис. 1, в), смеси гололеда со снегом –  $g_0=450 \text{ кг/м}^3$  (рис. 2, а) и изморози –  $g_0=225 \text{ кг/м}^3$  (рис. 2, б).

Из графиков следует:

1) При возникновении отложений в виде изморози независимо от толщины стенки отложений полное тяжение провода не превышает допустимой и эксплуатационной величин ( $T < T_2 < T_{дон}$ ).

2) При возникновении отложений в виде смеси гололеда со снегом полное тяжение провода достигает критических значений эксплуатационного тяжения ( $T = T_2$ ) при  $b_z = 32 \text{ мм}$ , и нормативного допустимого тяжения ( $T = T_{дон}$ ) при  $b_z = 40 \text{ мм}$ .

3) При возникновении отложений в виде чистого гололеда полное тяжение провода достигает критических значений эксплуатационного тяжения ( $T = T_2$ ) при  $b_z = 21 \text{ мм}$  и нормативного допустимого тяжения ( $T = T_{дон}$ ) при  $b_z = 27 \text{ мм}$ .

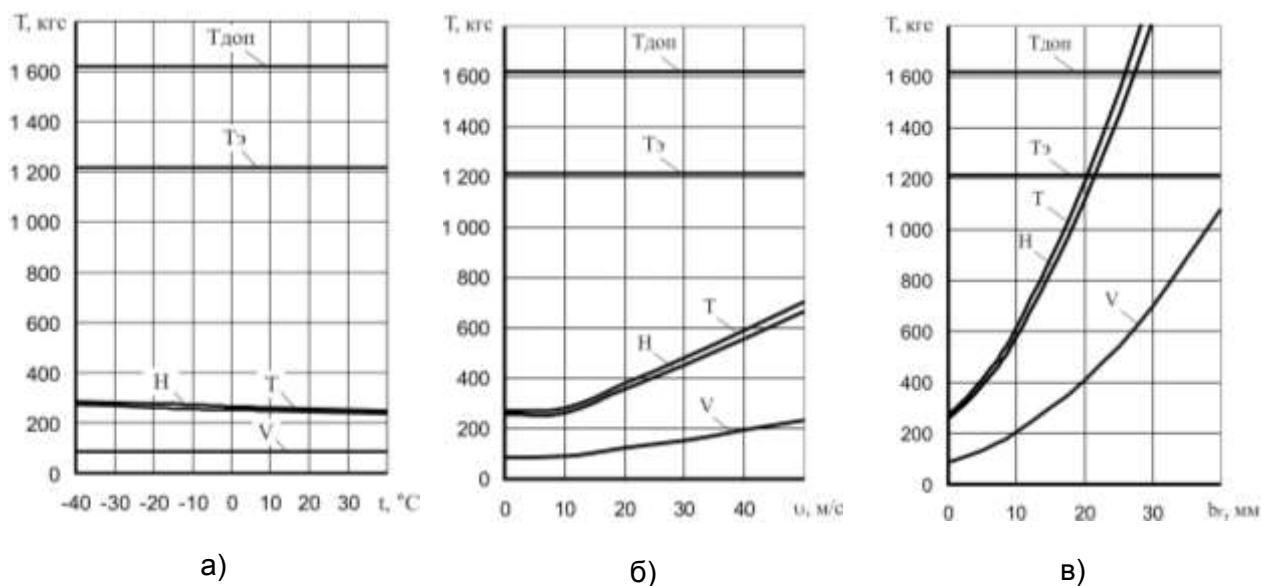


Рис. 1. Графики зависимости величин тяжений проводов:

а – без отложений и ветра от температуры воздуха; б – без отложений от скорости ветра при фиксированной температуре  $\Theta_z = -5^\circ\text{C}$ ; в – без ветра при фиксированной температуре  $\Theta_z = -5^\circ\text{C}$  от толщины стенки отложений в виде чистого гололеда с плотностью  $g_0=900\text{ кг/м}^3$

Заметное влияние значения плотности (вида) отложений на величины  $H$ ,  $V$  и  $T$  указывает на необходимость решения информационно-измерительными системами мониторинга ВЛ задачи распознавания вида отложений.

#### 4. Анализ ожидаемых гололедно-ветровых нагрузок.

Тяжения  $H_{v,\Theta_z}$ ,  $V_{v,\Theta_z}$ ,  $T_{v,\Theta_z}$ , возникающие в проводах с действием на них ветра со скоростью  $v = 20\text{ м/с}$  и отложений толщиной  $b_{z,n} = 0, 5, 10, 20, 30, 40\text{ мм}$  при фиксированной температуре гололедообразования  $\Theta_z = -5^\circ\text{C}$  и плотности отложений  $g_0=900\text{ кг/м}^3$  (чистый гололед) рассчитаны по следующим формулам.

Стрелы провеса  $f_{v,\Theta_z}$ , м, найдены по формуле:

$$f_{v,\Theta_z} = \frac{\gamma_7 \times (l_{расч})^2}{8 \times \sigma_{v,\Theta_z}}. \quad (20)$$

Уравнение состояния провода:

$$\sigma_{v,\Theta_z} - \frac{\gamma_7^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_{v,\Theta_z})^2} = \sigma_{дон} - \frac{\gamma_7^2 \times (l_{расч})^2 \times E}{24 \times (\sigma_{дон})^2} - \alpha_{л.р.} \times E \times (\Theta_z - \Theta_3). \quad (21)$$

Горизонтальные составляющие  $H_{v,\Theta_z}$ , кгс, полного тяжения провода:

$$H_{v,\Theta_z} = \frac{\sqrt{(M_0 \cdot 10^{-3} + g_0 \cdot 10^{-6} \times F_{омл})^2 \times (P_v)^2 \times (l_{расч})^2}}{8 \times f_{\Theta_z}}, \quad (22)$$

где  $F_{омл}$  вычислено из выражения (17), а  $P_v$  – по формуле (10).

Вертикальные составляющие  $V_{v,\Theta_z}$ , кгс, полного тяжения провода рассчитаны:

$$V_{v,\Theta_z} = \sqrt{((M_0 \cdot 10^{-3} + g_0 \cdot 10^{-6} \times F_{омл}) \times l_{расч})^2 + (P_v \times l_{расч})^2}. \quad (23)$$

Полные тяжения провода  $T_{v,\Theta_2}$ , кгс:

$$T_{v,\Theta_2} = \sqrt{(H_{v,\Theta_2})^2 + (V_{v,\Theta_2})^2}. \quad (24)$$

По результатам расчетов по выражениям (20) ÷ (24) построен график зависимостей  $H_{v,\Theta_2}$ ,  $V_{v,\Theta_2}$ ,  $T_{v,\Theta_2} = F(b_{г.н.})$  тяжений провода при температуре  $\Theta_2 = -5^\circ\text{C}$ , скорости ветра  $v=20$  м/с и плотности отложений  $g_0=900$  кг/м<sup>3</sup> (чистый гололед) от толщины стенки отложений (рис. 2, в).

Из графика видно, что при возникновении отложений и ветрового воздействия в соответствии с принятыми в расчете условиями полное тяжение провода достигает критических значений эксплуатационного тяжения ( $T = T_э$ ) при  $b_э = 17$  мм и нормативного допустимого тяжения ( $T = T_{доп}$ ) при  $b_э = 22$  мм. При сочетании гололедных и ветровых воздействий имеет место режим максимальных статических нагрузок на провода ВЛ.

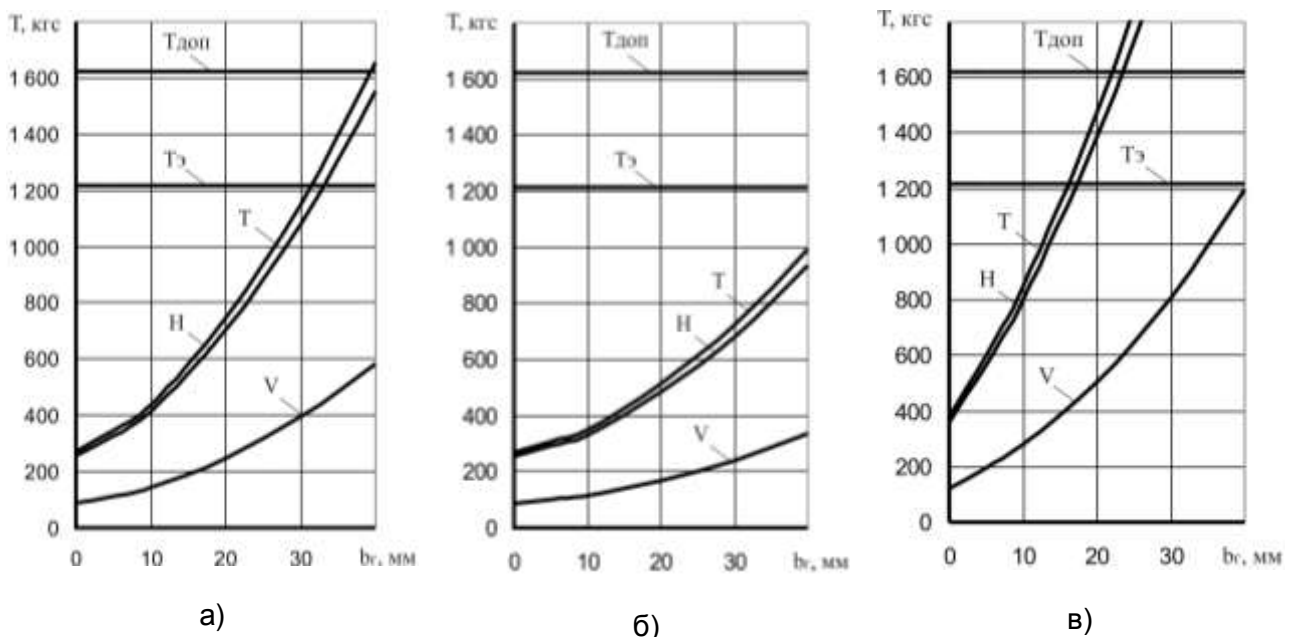


Рис. 2. Графики зависимости тяжений проводов при фиксированной температуре  $\Theta_2 = -5^\circ\text{C}$ :  
 а – без ветра от толщины стенки отложений в виде гололеда со снегом с плотностью  $g_0=450$  кг/м<sup>3</sup>; б – без ветра от толщины стенки отложений в виде изморози с плотностью  $g_0=225$  кг/м<sup>3</sup>; в – скорости ветра  $v=20$  м/с и плотности отложений  $g_0=900$  кг/м<sup>3</sup> (чистый гололед) от толщины стенки отложений

### 5. Анализ ожидаемых динамических нагрузок пляски проводов.

Пляска проводов возникает при сочетании условий, способствующих возникновению и развитию динамических колебаний проводов [5]. Сочетание этих условий наиболее вероятно в режиме по п. 3 гололедно-ветровых нагрузок. Этот режим принят в качестве исходного для режима динамических нагрузок, т.е. скорость ветра  $v = 20$  м/с, толщина стенки отложений  $b_{г.н.} = 0, 5, 10, 20, 30, 40$  мм при фиксированной температуре воздуха  $\Theta_2 = -5^\circ\text{C}$  и плотности отложений  $g_0=900$  кг/м<sup>3</sup> (чистый гололед).

Величина динамических нагрузок пляски проводов в рассматриваемом случае складывается из величины исходной статической нагрузки и величины изменения тяжения ( $\Delta T_{пл}$ ), обусловленной колебаниями проводов:

$$T_{пл} = T + \Delta T_{пл}. \quad (25)$$

Расчет  $\Delta T_{пл}$  осуществлен с использованием методики, предложенной в [6] Р.М. Бекметьевым и К.А. Жолдасовой, по которой тяжение провода  $\Delta T_{пл(анк)}$  при колебаниях провода в анкерном пролете определяется из выражения:

$$\frac{\Delta T_{пл(анк)} \times l_{расч}}{E \times F} = \frac{p^2 \times l_{расч}^3}{24 \times (T + \Delta T_{пл(анк)})^2} - \frac{p^2 \times l_{расч}^3}{24 \times T^2} + \frac{1}{4} \frac{m^2 \times \pi^2}{l_{расч}} \times A^2 \times \cos^2 \omega t, \quad (26)$$

где  $m$  – число полувольт в пролете;  $A$  – амплитуда колебаний пляски проводов, м;  $\omega t$  – фаза колебания провода.

В расчете принято, что для рассматриваемой линии амплитуда колебаний проводов при пляске с двумя ( $m = 2$ ) полуволнами в пролете в среднем составит 2 метра ( $A = 2$  м). Тяжение провода при пляске достигает максимума (амплитудного значения) в моменты, когда провод находится в крайних (верхнем или нижнем) положениях, т.е. при  $\cos \omega t = 1$ .

В отличие от авторов, принявших в расчете в качестве исходного режим эксплуатационных механических нагрузок, в данном расчете для оценки разрушающего воздействия на ВЛ пляски проводов в качестве исходных приняты условия максимальных статических нагрузок на элементы ВЛ, при которых возможно возникновение пляски. В связи с этим вместо значения погонной массы провода ( $p$ ) использована величина массы провода с отложениями на нем, и величина начального статического тяжения ( $T$ ) выбрана не для режима исходных механических нагрузок, а для режима максимальных гололедно-ветровых воздействий.

Изменение тяжения ( $\Delta T_{пл(пром)}$ ) провода в промежуточном пролете с учетом движения подвесных гирлянд изоляторов зависит от режима колебаний в многопролетной системе: при противофазных колебаниях провода (гирлянды изоляторов не отклоняются) расчет производится из выражения (26), при синфазных колебаниях (сдвиге по фазе на четверть периода) отклонение гирлянд будет максимальным, а изменение тяжения минимальным. Во всех остальных случаях величины изменения тяжения будут находиться между этими предельными значениями:  $\Delta T_{пл(пром)}$  и  $\Delta T_{пл(анк)}$ .

Для синфазных колебаний  $\Delta T_{пл(пром)}$  определено из выражения [6]:

$$\frac{\Delta T_{пл(пром)} \times l_{расч}}{E \times F} = \frac{p^2 \times l_{расч}^3}{24 \times (T + \Delta T_{пл(пром)})^2} - \frac{p^2 \times l_{расч}^3}{24 \times T^2} + \frac{1}{8} \frac{m^2 \times \pi^2}{l_{расч}} \times A^2 \times \cos^2 \omega t \quad (27)$$

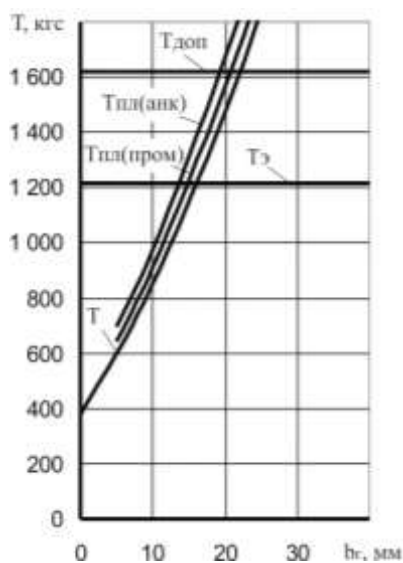


Рис. 3. График зависимости тяжений при пляске проводов от толщины стенки гололедных отложений

По результатам расчета построен график зависимости  $T_{пл(пром)}$ ,  $T_{пл(анк)} = F(b_{2,н})$  тяжений при пляске проводов от толщины стенки гололедных отложений, представленный на рис. 3.

Из графика видно, что в соответствии с принятыми в расчете условиями полное тяжение провода при пляске в анкерном пролете достигает значений эксплуатационного тяжения ( $T_{пл(анк)} = T_э$ ) при  $b_2 = 13$  мм и нормативного допустимого тяжения ( $T_{пл(анк)} = T_{доп}$ ) при  $b_2 = 19$  мм. При колебаниях в промежуточном пролете величина тяжения в зависимости от режима колебаний может быть ниже, чем в анкерном пролете, достигая минимума (срединная кривая на рис.3) при синфазных колебаниях, при которых полное тяжение провода достигает значений эксплуатационного тяжения ( $T_{пл(пром)} = T_э$ ) при  $b_2 = 15$  мм и нормативного допустимого

го тяжения ( $T_{нл(пром)} = T_{дон}$ ) при  $b_2 = 21$  мм.

Несмотря на относительно небольшое возрастание величины тяжения  $\Delta T_{нл(пром)}$  при синфазных колебаниях проводов в многопролетной системе, наряду с отклонениями гирлянд изоляторов на траверсе, тросостойке и теле опоры, приложенный к ним вектор суммарных сил механических воздействий с частотой колебаний меняет свое направление в соответствии с величиной  $\delta$ -горизонтального отклонения гирлянды изоляторов. При этом возникает динамическая горизонтальная составляющая суммарных сил воздействий:  $H_{нл(пром)} = F(T_{нл(пром)}, \delta)$ . Если в режиме статических нагрузок эта составляющая за счет баланса сил равна нулю, то при пляске она действует перпендикулярно траверсам и телу опоры, т.е. приложена на максимально возможные плечи воздействий на них в направлении их наименьшей механической прочности [5]. Такое перераспределение сил является основной причиной возникновения аварий на ВЛ при пляске проводов.

### Выводы

1. По результатам анализа ожидаемых механических нагрузок на провода (грозотросы) ВЛ получены конкретные величины тяжений в проводах при конкретных условиях, отражающих обобщенное воздействие на элементы ВЛ эксплуатационных и метеорологических параметров.

2. Графически сформирована динамика изменения величин тяжений при изменениях основных воздействующих параметров с учетом остальных воздействий, в совокупности отражающих наиболее реальные сочетания воздействий на ВЛ.

3. Полученные значения ожидаемых механических нагрузок могут быть использованы в качестве априорной информации при создании базы данных ожидаемых величин и пороговых значений измеряемых параметров для СМВЛ.

4. Представленная методика анализа и расчета может быть использована при разработке и проектировании СМВЛ для других типов линий любых классов напряжений, находящихся в любых метеорологических условиях.

5. Предложенная методика в отличие от известных наряду со статическими воздействиями учитывает динамические воздействия пляски проводов, что является принципиально новым в механическом расчете ВЛ и позволяет разработать конструкции линий, имеющих более высокую устойчивость к динамическим нагрузкам.

6. Оценка опасности воздействия на элементы ВЛ по величине толщины стенки отложений является ошибочной. Принятие решения о начале проведения плавки отложений на проводах по общепринятому электросетевыми предприятиями порогу в 5 мм является необоснованным и влечет за собой неоправданные затраты электроэнергии, т.к. при этом, по результатам анализа графиков на рис. 1 и 2, запас механической прочности проводов ВЛ значительно превышает величину воздействия и угрозы аварии на линии нет.

7. Зависимость  $T_{нл(пром)} = F(b_{г.н.})$ , представленная на графике рис.3, справедлива только при оценке величины воздействий на провода ВЛ. Возникающая при пляске величина динамической горизонтальной составляющей суммарной силы  $H_{нл(пром)}$ , приложенная к траверсам, тросостойкам и телу опоры в направлении их минимальной механической прочности, по амплитуде может достигать значений, превышающих прочность элементов опор. Возникновение  $H_{нл(пром)}$  является основной причиной аварий на ВЛ при пляске.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2003. 520 с.
2. Бошнякович А.Д. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи / А.Д. Бошнякович. Л.: Энергия, 1971. 367 с.
3. Глазунов А.А. Основы механической части воздушных линий электропередачи. Т. 1. Работа и расчет проводов и тросов / А.А. Глазунов. М.: Госэнергоиздат, 1956. 411 с.

4. Крюков К.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи / К.П. Крюков, Б.П. Новгородцев. Л.: Энергия, 1970. 434 с.

5. Анализ динамических воздействий пляски проводов и грозотросов на конструктивные элементы промежуточных пролетов воздушных линий электропередачи 110, 500 кВ / П.А. Кузнецов, С.В. Аверьянов, Г.Г. Угаров и др. // Электронный журнал «Новое в российской электроэнергетике». 2006. № 2. С. 29-36.

6. Бекметьев Р.М. Оценка изменения тяжения провода при колебаниях / Р.М. Бекметьев, К.А. Жолдасова // Труды института Энергосетьпроект. М., 1981. С. 12-23.

**Кузнецов Павел Анатольевич –**

аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»  
Саратовского государственного технического университета

**Аверьянов Сергей Викторович –**

аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»  
Саратовского государственного технического университета,  
начальник проектно-конструкторской службы ОАО «Волгателеком»

*Статья поступила в редакцию 03.11.06, принята к опубликованию 05.12.06*

---

---

# ЭКОНОМИКА

---

---

УДК 005.93

А.В. Алексеева

## **ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО ПОТОКА ЗАЯВОК И СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА В ЗВЕНЬЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Раскрываются основные проблемы функционирования промышленных предприятий в условиях случайного спроса. Приводится анализ статистических данных и механизм управления производственными ресурсами. Автор выделяет основные пути решения выявленных проблем на основе логистических принципов.*

A.V. Alexeeva

## **AN INDUSTRIAL ENTERPRISE OPERATION IN CONDITION OF THE UNEVEN FLOW OF THE DEMANDS AND WAYS OF THE PROVISION TO UNIFORMITIES PRODUCTION IN AN ENTERPRISE SECTIONS**

*The main problems of the operation of an industrial enterprise are discussed in this article in condition of casual demands. Analysis of statistical data and mechanism of management of industrial resources are given here as well. The author stands out the main ways of the decision of the revealed problems on the base of logistics.*

Успешное функционирование промышленных предприятий в условиях рыночной экономики требует постоянного совершенствования процесса управления производством. В современных условиях все большее признание получает применение таких принципов логистики, как синхронизация, оптимизация и интеграция, как основных методологических ориентиров в повышении организованности и эффективности функционирования производственных систем [2].

Применение логистики позволяет предприятиям выходить на передовые позиции в конкуренции за счет гибкой адаптации к постоянно меняющимся запросам потребителей (спросу).

Организация производства на основе логистики предполагает рациональное распределение и движение материальных, трудовых и сопутствующих потоков между производственными звеньями технологического процесса [3].

Вопрос организации движения трудовых потоков является не менее актуальным, чем организация движения материальных и сопутствующих потоков, так как нерациональное распределение трудовых ресурсов по производственными звеньям технологического процесса ведет к увеличению длительности производственного процесса, как на отдельных операциях, так и на всей протяженности производства от заготовки до стадии упаковки готовой продукции.

В связи с этим представляет интерес постановка задачи разработки механизма оперативного управления и распределения трудовых ресурсов промышленного предприятия, преследующего цель повышения гибкости функционирования предприятия в удовлетворении потребности рынка в условиях варьирующегося спроса на производимую продукцию предприятия.

В основу эмпирической базы для поиска решений по совершенствованию управления трудовыми ресурсами берутся данные производственного предприятия по выпуску стальных дверей. Статистические данные по объему производимой продукции за 2005-2006 гг. показывают, что это предприятие последние два года развивается динамично (рис. 1).

При очевидной положительной динамике производства продукции на предприятии имеют место сложности с организацией равномерного выпуска изделий и, следовательно, равномерной загрузки производства. Это вызвано двумя причинами:

- 1) неравномерностью поступления заказов по количеству изделий;
- 2) ярко выраженной сезонностью спроса на продукцию – интенсивность поступления заказов в феврале, марте и апреле падает.

Переход от количественного анализа потока поступающих заказов к анализу суммарной трудоемкости их исполнения выявил случайный характер колебания суммарной трудоемкости (рис. 2).

Одновременно, общая суточная трудоемкость изготовления одного изделия, рассчитанная в динамике, колеблется от 7 до 10 ч-ч при средней трудоемкости около 8,7 ч-ч на одно изделие (рис. 3).

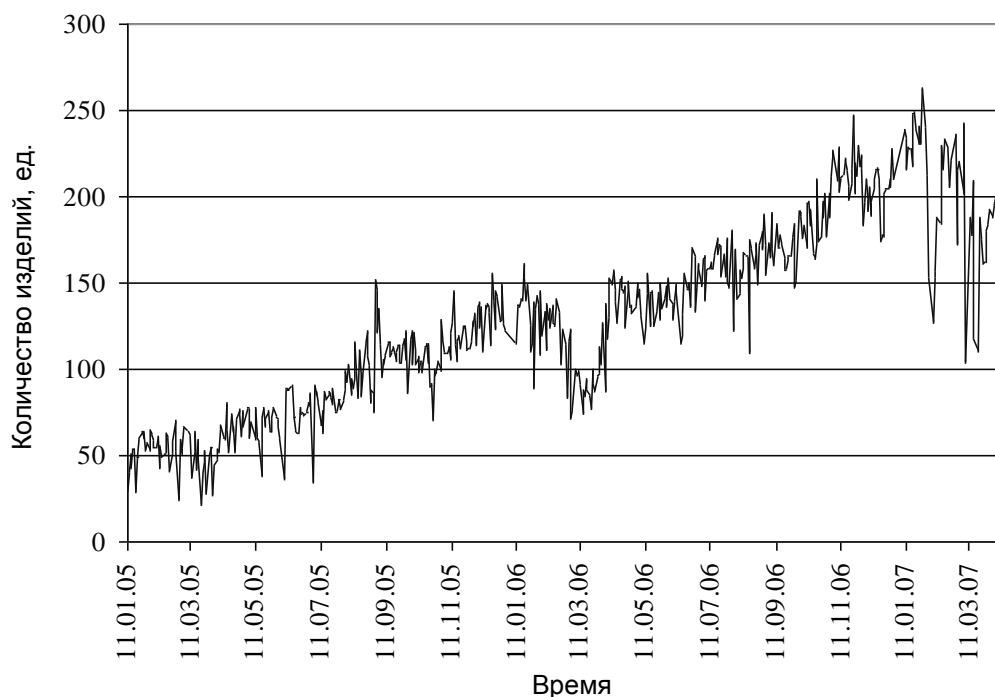


Рис. 1. Динамика суточного количества заказов



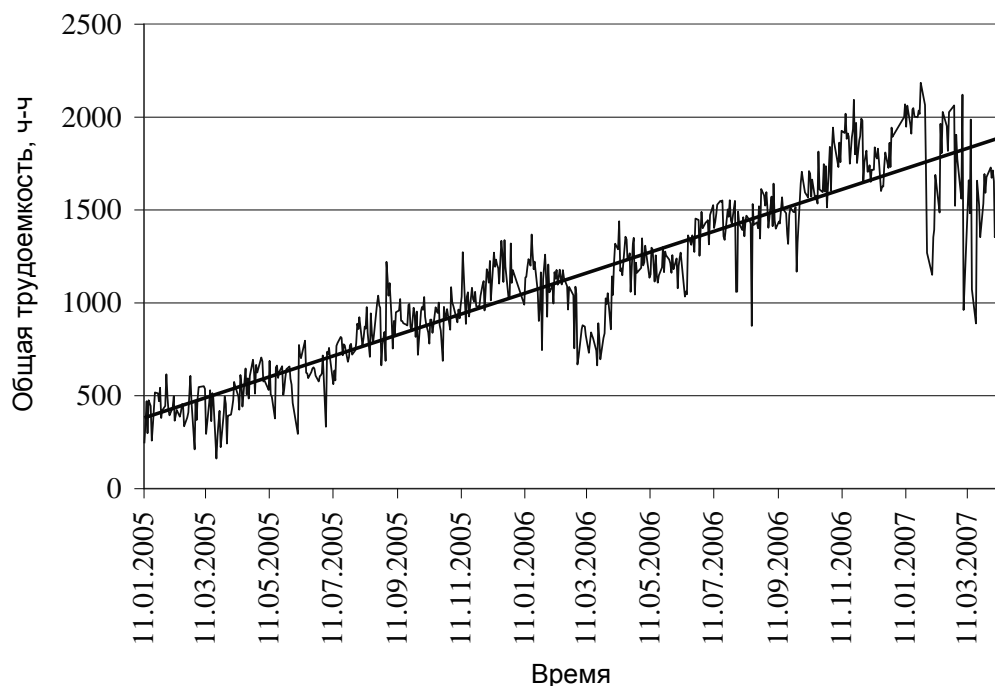


Рис. 2. Динамика общей суточной трудоемкости выполнения заказов

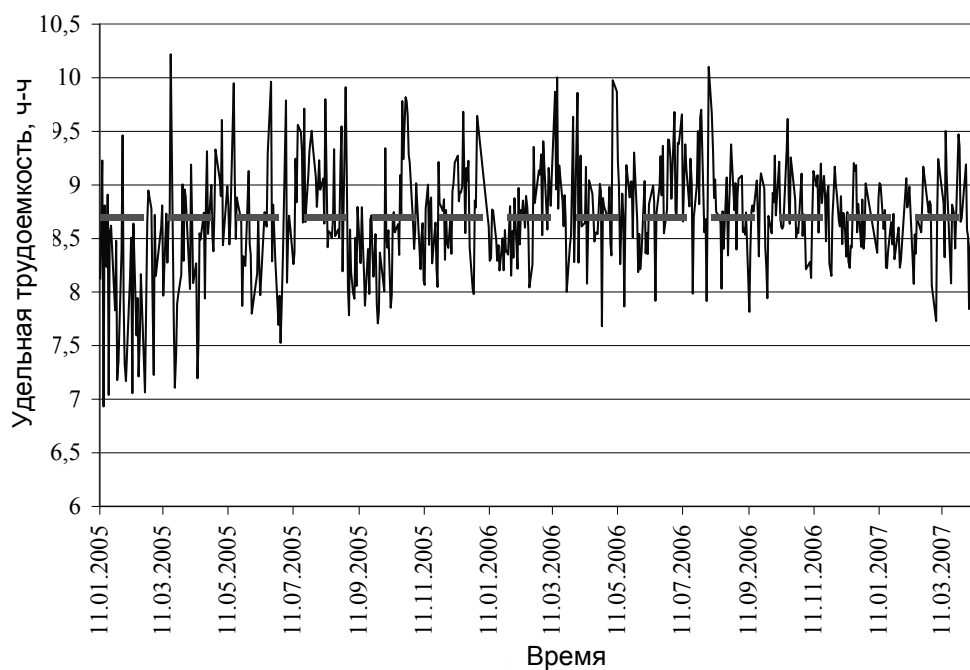


Рис. 3. Динамика удельной трудоемкости на одно изделие

Разные изделия в зависимости от вида отделки, комплектации замками, конструктивных особенностей и т.д. требуют и различной индивидуальной трудоемкости изготовления. Проведенный анализ обозначил и еще одну проблему – неравномерность структуры заказов по моделям изделий, имеющим разную общую индивидуальную трудоемкость их изготовления (рис. 4).

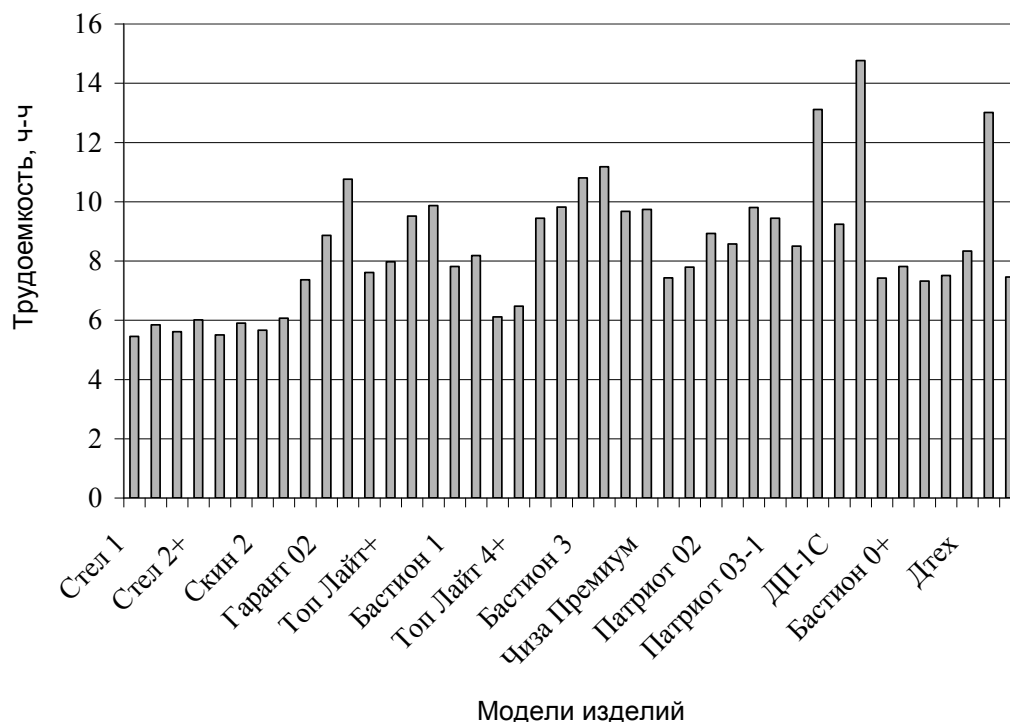


Рис. 4. Общая трудоёмкость изготовления по изделиям

Таким образом, различия в трудоёмкости изготовления продукции разных моделей усугубляют проблему предприятия с точки зрения управления трудовыми ресурсами и еще по одной причине: технологический процесс разделен на ряд этапов (операций), трудоёмкость изготовления разных изделий на каждом этапе также различается (рис. 5).

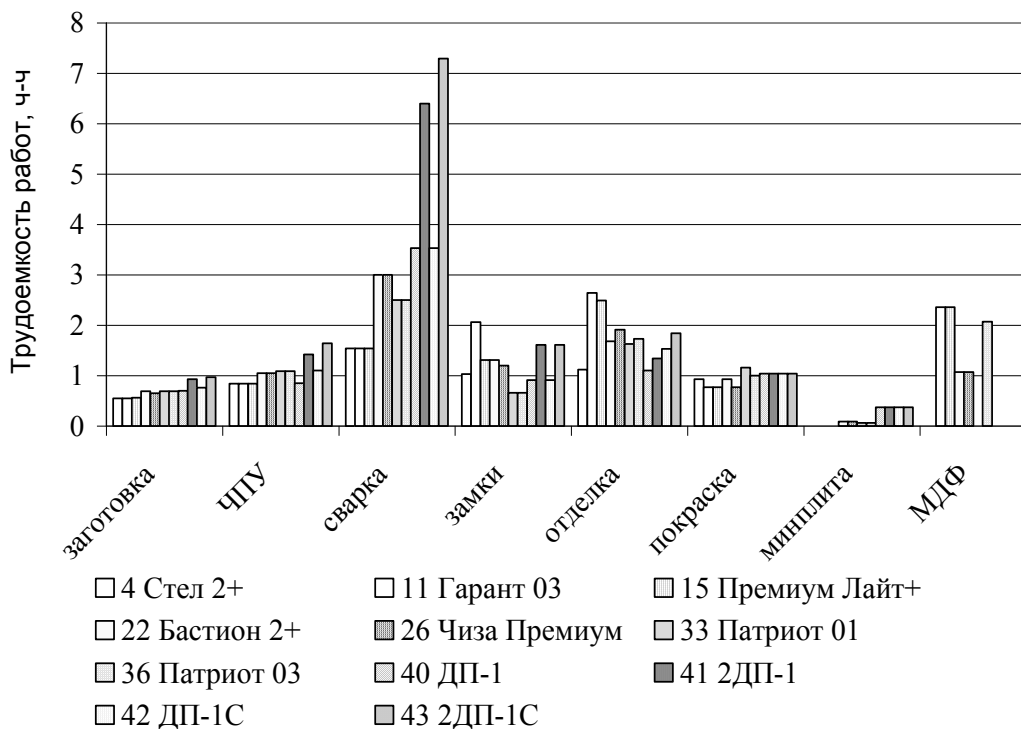


Рис. 5. Распределение трудоёмкости по этапам технологического цикла

Например, самая популярная модель СТЕЛ+ имеет невысокую трудоемкость на всех этапах технологического процесса. Модель ГАРАНТ при невысокой трудоемкости заготовительных и сварочных операций, как и СТЕЛ+, имеет гораздо более высокую трудоемкость замочных и отделочных операций. Двери серии ПАТРИОТ имеют самую малую трудоемкость на замочных операциях при довольно высокой трудоемкости сварки, а противопожарные двери – самые трудоемкие по заготовке и сварке, но наименее трудоемкие на отделке.

Вышесказанное создает дополнительные сложности в управлении трудовыми ресурсами – сложность преодоления неравномерности загрузки звеньев технологического процесса.

Таким образом, основными трудностями с точки зрения управления трудовыми ресурсами на исследуемом предприятии является динамично меняющаяся неравномерность загрузки персонала в звеньях технологической цепочки, которая не только сохраняется, но и усиливается со временем. Это объясняется:

- 1) необходимостью постоянного увеличения объема выполняемых работ;
- 2) наличием сезонных колебаний количества поступающих заказов;
- 3) неравномерностью суточных объемов поступающих заявок по трудоемкости;
- 4) непостоянством структуры заказов по моделям.

В целях совершенствования управления для оценки степени загруженности трудовых ресурсов на предприятии предлагается использовать коэффициент загрузки технологического процесса поступающим потоком требований (заказов) на изготовление дверей.

Оценку можно производить в целом по предприятию и в поэтапной разбивке в цепи технологического производства. Это позволит выявить неравномерность распределения нагрузки по этапам технологического процесса и на этой основе решить следующие задачи логистики организации эффективного производства в условиях неравномерного поступления заказов:

- выявление несбалансированности между потребностями рынка и возможностями предприятия как логистической системы;
- достижение высокой гибкости функционирования производственной логистической системы;
- развитие быстрой реакции на требования потребителей;
- рациональное управление производительной занятости трудовых ресурсов [1].

В целом для предприятия коэффициент загрузки может быть вычислен по следующей формуле:

$$K_3^\tau = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Q_j^\tau \cdot T_{ij}^\tau)}{\sum_{i=1}^I P_i^\tau}, \quad (1)$$

где  $\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Q_j^\tau \cdot T_{ij}^\tau)$  – общая мощность заявленной нормативной трудоемкости потока требований в период  $\tau$ , ч-ч;  $I$  – количество звеньев (операций) технологического процесса;  $\sum_{i=1}^I P_i^\tau$  – производственная мощность предприятия в целом, ч-ч (по нормативно-явочному числу работников).

Коэффициент загрузки этапа в анализируемый период предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$K_{3i}^\tau = \frac{\sum_{j=1}^J (Q_j^\tau \cdot T_{ij}^\tau)}{P_i^\tau}, \quad (2)$$

где  $\sum_{j=1}^J (Q_j^\tau \cdot T_{ij}^\tau)$  – общая потребность в операциях  $i$ -го вида по входящему потоку за анализируемый период  $\tau$ , или потребная мощность  $i$ -го этапа в период  $\tau$ , ч-ч;  $j$  – текущий номер вида требования;  $J$  – количество видов требований;  $\tau$  – номер анализируемого периода;  $i$  – номер звена (операции) технологического процесса;  $Q_j^\tau$  – мощность потока  $j$ -го вида требований в период  $\tau$ , ед.;  $T_{ij}^\tau$  – нормативная трудоемкость операции (в  $i$ -м звене) для удовлетворения  $j$ -го вида требования на  $i$ -м этапе, ч-ч;  $P_i^\tau$  – производственная мощность (производительность)  $i$ -го звена, осуществляющего конкретную операцию технологического процесса в анализируемый период  $\tau$ , ч-ч.

В свою очередь, производственная мощность этапа  $P_i^\tau$  рассчитывается:

$$P_i^\tau = \sum_{k=1}^K V_{k_i}^n, \quad (3)$$

где  $V_{k_i}^n$  – нормативная производительность обслуживающего аппарата определенного вида на  $i$ -м этапе технологического процесса, ч-ч;  $k$  – номер (вид) обслуживающего аппарата;  $K$  – количество обслуживающих аппаратов  $k$ -го вида.

В случае, если в рассматриваемом звене все обслуживающие аппараты имеют одинаковую нормативную производительность, производственная мощность этапа будет рассчитываться следующим образом:

$$P_i^\tau = V_{k_i}^n \cdot K_i.$$

Коэффициент загрузки этапа может принимать следующие значения:

–  $K_{zi}^\tau > 1$  – имеет место преобладание потребной мощности входящего потока требований (заказов) над производственной мощностью предприятия (этапа), а, следовательно, предприятие не сможет удовлетворить весь входящий поток требований в нужное время. Для этапа технологического процесса  $K_{zi}^\tau > 1$  будет означать превышение нагрузки на этом этапе;

–  $K_{zi}^\tau < 1$  – имеет место преобладание производственной мощности предприятия над потребной мощностью входящего потока требований, т.е. предприятие сможет удовлетворить все требования. Для этапа технологического процесса  $K_{zi}^\tau < 1$  означает наличие дефицита нагрузки в анализируемый период на этом этапе;

–  $K_{zi}^\tau = 1$  – означает, что входящий поток требований удовлетворяется полностью, а для этапа технологического процесса  $K_{zi}^\tau = 1$  показывает соответствие поступающей нагрузки производственной мощности этапа.

Наиболее рациональной является ситуация, когда  $K_{zi}$  имеет значение, близкое к 1 в течение каждого периода времени.

При рациональном распределении нагрузки между звеньями (операциями) технологического процесса индивидуальные значения коэффициента загрузки звеньев технологического процесса имеют близкие между собой и единицей значения, т.е.  $K_{z1}^\tau \approx K_{z2}^\tau \approx \dots \approx K_{zJ}^\tau \approx 1$ .

Такое соотношение потока требований и мощностей в условиях случайного характера спроса является маловероятным. Его обеспечение требует управленческого вмешательства и регулирующих воздействий.

Поскольку влияние на объем и структуру потока входящих требований (заказов) со стороны предприятия не может быть достаточно эффективным, основным объектом управления становятся трудовые ресурсы, их объем и распределение по звеньям (операциям) технологического процесса.

В логистике для решения таких проблем принято использовать следующие методы (приемы), основанные на таких логистических принципах организации производства, как пропорциональность, непрерывность, гибкость и адаптивность:

1. Для обеспечения сбалансированности пропускной способности звеньев технологического цикла применяют статистическую модель распределения трудовых ресурсов по этапам технологического цикла. В рамках исследования – оперативное перераспределение производственных мощностей (ресурсов) с этапов с периодически образующимся превышением трудовых ресурсов ( $K_{zi}^t < 1$ ) на этапы с дефицитом ( $K_{zi}^t > 1$ ).

2. Соблюдение принципа непрерывности предполагает организацию производственного процесса по принципу непрерывной загрузки рабочих мест (создание «буферных зон» для временного накопления избыточных заказов с последующим обслуживанием их в периоды недозагрузки).

3. Принцип гибкости и адаптивности предполагает быструю реакцию производства на изменения потребительских требований. Одним из вариантов обеспечения принципа гибкости является создание резервных мощностей на этапах технологического процесса.

Применение указанных методов позволит решить выявленные выше проблемы и обеспечить более гибкое функционирование предприятия и наиболее рациональное использование трудовых ресурсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аникин Б.А. Логистика / Б.А. Аникин. М.: ТК Велби, Проспект, 2007. 408 с.
2. Аникин Б.А. Логистика / Б.А. Аникин. М.: ИНФРА-М, 2006. 368 с.
3. Ардатова М.М. Логистика в вопросах и ответах / М.М. Ардатова. М.: ТК Велби, Проспект, 2004. 272 с.

**Алексеева Анастасия Владимировна** –  
ассистент кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 14.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 378.001.76

**Н.В. Астафьева**

#### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

*Одним из важнейших факторов, определяющих формирование интеллектуального капитала и его рациональное использование, является развитие системы высшего образования. В формирующейся российской инновационной экономике усиливаются тенденции, вызывающие необходимость системного подхода к разработке инновационной политики, направленной на преобразование общества в целом за счет комплексного характера процесса обмена и использования знаний, а также роста интеллектуального капитала, создаваемого в образовательной подсистеме университетских комплексов.*

N.V. Astafieva

## INTELLECTUAL CAPITAL IN THE HIGHER EDUCATION SYSTEM

*One of the major factors determining formation of the intellectual capital and its rational use is the development of higher education system. The tendencies developing in the forming of the Russian innovation economics require the necessity of the system approach to an innovation politics which has been directed on transformation of society as a whole due to exchange process complex character and use of knowledge, and also due to growth of the intellectual capital which created in an educational subsystem of university complexes.*

В современных условиях произошли заметные изменения в структуре факторов, традиционно определяющих конкурентоспособность и позиции стран на мировом рынке. В первую очередь это относится к заметному снижению значения сырьевых факторов и усилению роли образования в инновационной экономике стран и регионов.

Современные приоритеты и перспективы национальной системы высшего профессионального образования как основы развития человеческих ресурсов и созидательного потенциала общества формируются под воздействием сложных, неравномерных и взаимозависимых тенденций развития социально-экономической сферы. Одной из важнейших тенденций является преобладание человеческого и других составных частей интеллектуального капитала в образовании и возрастание спроса на него. Другие тенденции – увеличение открытости высшего и послевузовского образования, дифференциация знаний, развитие новых форм конкуренции и государственно-частного партнерства, осуществление сетевого взаимодействия субъектов различных уровней.

Возрастание роли и значения интеллектуального капитала является основой экономического роста страны, источником формирования и развития национальной инновационной системы, а также фактором обеспечения конкурентоспособности и эффективности деятельности фирм, источником повышения квалификации и профессионализма индивидов и связанного с ними роста их личного дохода. Проблема управления интеллектуальным капиталом все чаще становится предметом экономических дискуссий, в рамках которых активно обсуждается возможность развития и трансформации интеллектуального капитала в процессе создания и использования различного рода благ, активов, технологий, что ставит его на особое место в современной экономической системе.

Одним из важнейших факторов, определяющих формирование интеллектуального капитала и его рациональное использование, является развитие системы высшего образования, а также накопление и использование знаний. Образование и научно-исследовательская деятельность по определению являются одними из самых наукоемких областей. Однако, как это ни парадоксально, именно в этих областях деятельность по управлению знаниями и интеллектуальным капиталом даже в развитых странах до сих пор не получила должного признания [1]. В связи с этим представляется целесообразным проанализировать функционирование университетского комплекса, и в частности его образовательной подсистемы, с точки зрения формирования интеллектуального капитала и управления им.

Формирование нового социального и экономического порядка связано, по мнению японского исследователя Т. Сакайя, с так называемой «knowledge-value revolution» – революцией на основе ценности, воплощенной в знании [2]. Процессы управления знаниями и интеллектуальным капиталом теснейшим образом взаимосвязаны, и некоторые источники определяют их как идентичные. Превращение знания в капитал, позволяющий повысить конкурентоспособность организации и получить реальный социально-экономический эффект, сегодня подчеркивается многими.

Интеллектуальный капитал принадлежит к числу наиболее подвижных и многовариантных категорий, используемых в экономических и социологических исследованиях. Несмотря на то, что эта категория сравнительно недавно была введена в научный оборот, уже сложилось неоднозначное ее понимание. Отметим позиции наиболее известных зарубежных специалистов в области интеллектуального капитала. Так, Т. Стюарт считает интеллектуальный капитал интегрированным образованием и выделяет в нем три составные части – человеческий, структурный и потребительский капитал [3, с.7]. Британская исследовательница интеллектуального капитала Э. Брукинг подходит к его квалификации более детально, выделяя в нем четыре составные части: рыночные активы; интеллектуальную собственность как актив; человеческие активы; инфраструктурные активы [4, с.31]. Следует отметить, что классификации Т. Стюарта и Э. Брукинг широко трактуют интеллектуальный капитал и включают в него помимо человеческого капитала и другие элементы. Известный специалист, один из создателей концепции интеллектуального капитала Л. Эдвинссон представляет интеллектуальный капитал как структуру, состоящую из двух частей: человеческого капитала и структурного капитала [5]. Он рассматривает интеллектуальный капитал как интегрированную категорию только на уровне корпорации и главными проблемами для экономики считает измерение, оценку и учет реального рыночного интеллектуального капитала конкретной компании в системе ее управленческого учета и эффективное управление интеллектуальным капиталом в системе общего менеджмента компании. А. Бутник-Сиверский, украинский исследователь, подразумевает под интеллектуальным капиталом ресурс, который характеризует знания, интеллектуальный потенциал организации и является одним из новых критериев определения конкурентоспособности организации. Он по аналогии с Т. Стюартом отмечает, что на уровне организации интеллектуальный капитал является суммой трех составляющих: человеческого, структурного и потребительского капиталов. По мнению Б.Б. Леонтьева, известного отечественного специалиста по оценке и организации управления интеллектуальной собственностью, под интеллектуальным капиталом понимается стоимость совокупности отчуждаемых и неотчуждаемых интеллектуальных активов, участвующих в хозяйственной деятельности юридического лица, включая интеллектуальную собственность [6]. Главная функция интеллектуального капитала, согласно его точке зрения, – существенно ускорять прирост прибыли за счет формирования и реализации необходимых организации систем знаний, вещей и отношений, которые, в свою очередь, обеспечивают его высокоэффективную хозяйственную деятельность. Еще один российский ученый А.Н. Козырев предлагает собственный термин интеллектуального капитала, определяя его как собирательное понятие для обозначения неосязаемых (нематериальных) ценностей, объективно повышающих рыночную стоимость компании. В этом значении в структуру интеллектуального капитала он включает человеческий, организационный и клиентский капиталы.

Таким образом, мнения различных исследователей-экономистов относительно трактовки понятия «интеллектуальный капитал» существенно отличаются и рассматриваются, в основном, на уровне предприятий, что приводит к необходимости конкретизировать данное понятие с учетом формы и характера деятельности образовательного учреждения. Рассмотрим особенности структуры и управления интеллектуальным капиталом в университетском комплексе, и в частности в его образовательной подсистеме.

Университетский комплекс – это очень сложный, комплексный феномен, интегрирующий образовательную, научно-исследовательскую, инновационную и производственную деятельность и существующий в специфической внешней среде. Этим во многом объясняются особенности подхода к исследованию процессов управления интеллектуальным капиталом в рамках университетского комплекса. Особенности функционирования университетских комплексов влияют на выработку концептуальных и методических подходов к классификации и управлению интеллектуальным капиталом. В современных экономических условиях необходимость глубокого анализа проблемы управления интеллектуальным капиталом

в университетских комплексах усугубляется сложным состоянием системы высшего образования в условиях хронического недофинансирования. При этом следует отметить, что разработка эффективной системы управления интеллектуальным капиталом в российских университетах могла бы способствовать выявлению скрытых резервов и вовлечению их в производительное использование.

Для идентификации интеллектуального капитала университетского комплекса необходимо рассматривать его как открытую систему, обладающую совокупностью внутренних ресурсов и механизмов и активно взаимодействующую с внешней средой в процессе подготовки квалифицированных специалистов. Это одна из самых сложных по характеру отношений систем, включающая взаимосвязи с обществом в целом и отношения с государством, хозяйствующими субъектами – потребителями продукции университетских комплексов, поставщиками и партнерами в процессе создания и реализации этой продукции [7].

Все элементы университетского комплекса могут превратиться в различные виды интеллектуального капитала лишь при условии адекватного управления ими, обеспечивающего получение реального эффекта от их применения в оптимальной комбинации. При этом под управлением интеллектуальным капиталом понимается совокупность воздействий на все элементы интеллектуального капитала и их взаимодействия для повышения эффективности его функционирования в соответствии с целями и стратегией университетского комплекса. Инновационный характер деятельности каждой подсистемы университетского комплекса – образовательной, научно-исследовательской, инновационной, производственной – и их интеграция в единый инновационный университетский комплекс – неперенное условие формирования и эффективного использования интеллектуального капитала. Необходимо отметить, что в каждой из подсистем университетского комплекса используются свои формы, методы, направления управления различными типами интеллектуального капитала [8]. Однако общим для всех подсистем, типов и элементов является обязательное наличие внутренней организационной культуры, порождающей непрерывный инновационный процесс, т.е. создание инновационного климата в университетском комплексе.

В связи с тем, что университетский комплекс является многопрофильным учреждением, осуществляющим различные виды деятельности и выпускающим разные типы инновационной продукции, во всех его подсистемах существует специфическая структура интеллектуального капитала.

Образовательная подсистема – это наиболее сложная подсистема университетского комплекса применительно к циркулирующим в нем потокам. Именно она предопределяет возможности развития всей системы в целом и каждого отдельного ее элемента. Структура интеллектуального капитала образовательной подсистемы университетского комплекса представлена на рисунке.

Одна из основных сложностей управления интеллектуальным капиталом в образовательной подсистеме университетских комплексов заключается в том, что наиболее активно используемыми знаниями и умениями в ней являются педагогические, которые зачастую бывают неявными, глубоко личностными, что порождает большие сложности в их кодификации и трансфере. Частично эту проблему снимают разработка и внедрение новых образовательных технологий, ориентированных в большей степени на самостоятельную работу студентов и предусматривающих максимальную кодификацию, систематизацию и четкое изложение знания при помощи опорных конспектов, презентаций, электронных учебников и др. Обучающий в процессе общения с использованием дидактических средств организует познавательную деятельность обучающегося адекватно целям обучения. Изменение парадигмы образования приводит к тому, что приоритет в системе обучения теперь четко обозначается за деятельностью учения, а повышение квалификации профессорско-преподавательского состава выступает в качестве условия реализации образовательной программы и, соответственно, реализации задаваемых ею возможностей развития студента.



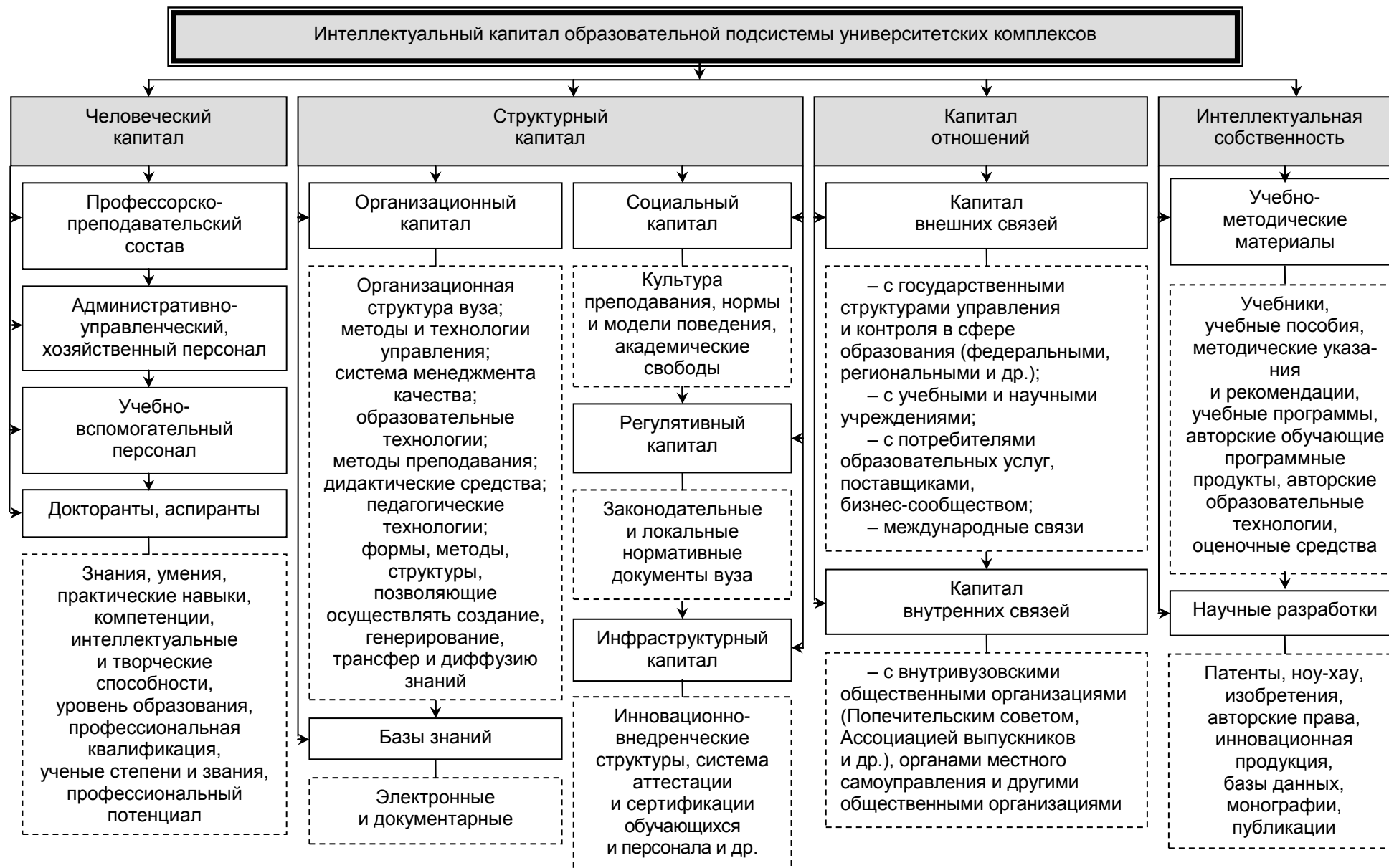


Рис. 1. Структура интеллектуального капитала образовательной подсистемы университетских комплексов

Образовательная деятельность преподавателя в настоящее время состоит в создании пространства реальных возможностей развития креативных способностей студентов. На первый план выдвигаются различные формы поддержки и сопровождения индивидуальных образовательных траекторий студентов. Использование педагогических инноваций в образовательном процессе приводит к созданию новых педагогических методов и приемов, инновационной образовательной среды, нового стиля работы преподавателей, а также осуществлению структурных изменений в образовательной системе.

Все составные части интеллектуального капитала в соответствии со своей внутренней природой, сочетаясь в различных комбинациях, изменяясь в процессе производства знаний и вновь вовлекаясь в следующий этап воспроизводства знаний, участвуют в кругообороте и обороте интеллектуального капитала [8]. В образовательной подсистеме кругооборот интеллектуального капитала имеет свои особенности. Во-первых, это вызвано тем, что объект воздействия здесь активен, а не пассивен, как в других подсистемах университетского комплекса, – это студенты. Результатом деятельности здесь становятся квалифицированные специалисты. Во-вторых, прирост интеллектуального капитала в конце процесса кругооборота в образовательной подсистеме университетского комплекса отличается определенной спецификой, заключающейся в следующем:

- приросте человеческого капитала, понимаемом как прирост объема знаний и компетенций сотрудников, прежде всего, профессорско-преподавательского состава, который происходит за счет выработки новых педагогических знаний и образовательных технологий, а также совершенствования педагогических навыков преподавателей;

- приросте структурного капитала, происходящем за счет создания новых организационных структур (например, новых кафедр, факультетов, центров, институтов в составе университетского комплекса), расширения баз знаний, повышения культуры качества и обучения;

- приросте капитала внешних связей, происходящем за счет взаимодействия с государственными структурами управления и контроля в сфере образования, возникновения тесных связей с учебными заведениями других уровней (школами, лицеями, колледжами, техникумами и т.д.), другими вузами, научными учреждениями, предприятиями и организациями, нуждающимися в специалистах;

- приросте капитала внутренних связей, возникающем за счет создания внутривузовских общественных организаций (Попечительского совета, Ассоциации выпускников и др.) и др. Например, за рубежом зачастую именно факт окончания солидного учебного заведения является решающим для получения престижной должности, что повышает имидж этого заведения в глазах абитуриентов и общества в целом. В итоге внутри университетского комплекса и вокруг него формируются различного рода ассоциации, постоянно растут сети партнеров, выпускников, поставщиков, заказчиков, расширение которых ведет к получению синергетического эффекта и стимулирует развитие самого университетского комплекса;

- приросте интеллектуальной собственности – за счет разработки новых учебно-методических материалов и опубликования новых учебников и учебных пособий. Вместе с этим реализуется интеллектуальная собственность работников и коллектива образовательного учреждения в виде научных разработок – изобретений, патентов, программ исследований, обучения и выполнения практических работ, а также авторских прав, баз данных и т.п.

Нельзя не отметить, что в университетских комплексах инфраструктура поддержки инновационного процесса играет важнейшую роль. Это приводит к необходимости выделения инфраструктурного капитала, включающего инновационно-внедренческие структуры, систему аттестации и сертификации обучающихся и персонала, сетевые связи и др.

Бесспорно, человеческий капитал доминирует в структуре интеллектуального капитала в любой сфере деятельности, но в образовании его роль особенно велика. Поэтому рассмотрим его особенности в образовательной подсистеме университетских комплексов более подробно.

В целом исследования человеческого капитала в российской экономической науке разделились по двум взаимосвязанным направлениям. В первом из них акцент делается на анализе категории человеческого капитала в качестве фактора производства с переходом на проблемы управления им. Во втором – главным объектом анализа является образование, его роль в формировании человеческого капитала и экономика данной отрасли.

Человеческий капитал является самостоятельным экономическим ресурсом, собственно фундаментом роста ВВП в сочетании с научно-техническим прогрессом в современных условиях. Отличие этого ресурса от природных ресурсов, классического труда и обычного капитала состоит в необходимости постоянных повышенных инвестиций в него и существовании значительного временного лага в отдаче от этих инвестиционных вложений. В развитых странах мира в конце 1990-х годов в человеческий капитал вкладывалось около 70% всех средств, а в физический капитал – только около 30%. Причем основную долю инвестиций в человеческий капитал в передовых странах мира осуществляло государство. И именно в этом состоит одна из его важнейших функций в части государственного регулирования экономики.

По мнению американского экономиста Эдварда Денисона, экономический рост определяется не столько количеством затраченных факторов, сколько их качеством и ростом этого качества. На первое место Денисон поставил качество рабочей силы. Из анализа экономического роста США за 1929-1982 гг. Денисон сделал вывод, что определяющим фактором роста выпуска на одного работающего (производительности труда) является образование. Лауреат Нобелевской премии Саймон Кузнец из всех важнейших факторов роста на первое место также поставил человеческий капитал. Именно высокопрофессиональные специалисты являются решающим звеном в новой экономике, в процессах глобализации мировой экономики, определяют преимущества передовых стран мира.

Наибольший интерес вызывают факторы, определяющие качество человеческого капитала, как составной части интеллектуального капитала, и возможности роста эффективности труда. К числу этих факторов принадлежат образование и наука, находящиеся в тесной взаимосвязи. Для носителя рабочей силы высокое качество человеческого капитала находит выражение в более высоких показателях индивидуальных доходов, с теми поправками, которые вносит в процесс распределения доходов рынок труда. На уровне общественного воспроизводства качество человеческого капитала выражается в эффективности производства и темпах экономического роста. Инвестиции в человеческий капитал приносят национальной экономике наибольший доход и ведут к ее росту. Они определяют восприимчивость общества к новым знаниям и технологиям, создают мотивацию развития. Поэтому инвестиции в образование рассматриваются нами как одна из наиболее выгодных форм вложений капитала.

Образование занимает особое место в отношении к человеческому фактору и к общественной эффективности. Однако следует отметить, что высокий образовательный уровень населения еще не гарантирует автоматически высоких темпов экономического роста. Многие зарубежные страны и отдельные регионы при прочих равных условиях отстают в своем развитии от стран и регионов с аналогичными или даже более низкими показателями состояния системы высшего образования. Подобная ситуация объясняется рядом причин:

– неэффективным использованием имеющегося человеческого капитала. Примером этого является занятость людей с высшим образованием, где высокой квалификации не требуется;

– нерациональным осуществлением инвестиций в образование и развитие человеческого капитала. Например, можно увеличивать число мест в университетах, продолжать расширять подготовку специалистов по устаревшим программам и учебникам без учета изменяющихся потребностей рынка труда. Эффективность использования нового оборудования в модернизированной лаборатории будет приближаться к нулю, если преподаватели и исследователи не прошли соответствующей переподготовки;

– низким качеством образования, т.е. знания и навыки, полученные во время обучения, могут не соответствовать современным требованиям рынка;

– неверно выбранной стратегией развития страны, что также может привести к снижению темпов экономического роста при сравнительно высоком уровне образования населения.

Политика активного развития интеллектуального капитала в системе высшего образования показывает свою эффективность, в первую очередь, на региональном уровне, что выдвигает университетские комплексы в центр региональной инновационной системы. Инвестиции в высшие учебные заведения в регионах обеспечат не только рост их конкурентоспособности, но в целом будут способствовать росту интеллектуального капитала страны за счет сбалансированного развития местного потенциала и поддержки тенденций ускорения роста в регионах. В свою очередь, эта стратегия должна обеспечить в перспективе прорыв в инновационном развитии регионов, на основе подготовки соответствующих кадров, развития науки и технологий, создания центров трансфера технологий. Переход к экономике, основанной на знаниях, сопряжен с ростом суммарных инвестиций в соответствующий образовательный сектор. Следует отметить, что эффективность инвестиционных вложений в одну из важнейших составляющих интеллектуального капитала – в образование – зависит от следующих факторов.

1. *Соотношение стоимости обучения и рыночной оценки интеллектуального труда выпускников образовательного учреждения.* В соответствии с базовыми моделями теории человеческого капитала, инвестиции в образование целесообразны, если поток будущих доходов не меньше совокупных затрат на образование (или норма доходности инвестиций в образование не менее рыночной ставки процента). Не менее выгодными являются частные инвестиции в высшее образование, осуществляемые физическими лицами. Эти инвестиции, как правило, полностью окупаются и приносят ощутимые выгоды.

2. *Уровень внешней и внутренней эффективности.* Внутренняя эффективность показывает соотношение между затратами на образование и его качеством. Для повышения внутренней эффективности необходимо вкладывать средства в обеспечение обучающихся учебной литературой, наглядными пособиями, повышать уровень подготовки преподавателей, совершенствовать учебные программы и формы организации и проведения занятий. Деньги, вложенные в образование, не станут капиталом, приносящим доход, если человек окажется невостребованным на рынке труда. Таким образом, для оценки востребованности специалистов на рынке труда используется такой критерий, как уровень внешней эффективности. При этом низкий уровень внешней эффективности образования способен девальвировать самые высокие показатели внутренней эффективности, поскольку высокие показатели качества знаний могут социально обесцениться низкой реальной востребованностью этих знаний в конкретном обществе и на конкретном рынке труда.

3. *Степень узости специализации образовательного проекта.* По опыту Мирового банка в сфере образовательных инвестиций, узость специализации образовательного проекта обратно пропорциональна его эффективности [9].

4. *Сумма превышения дохода (зарботной платы) более высокообразованного работника над доходом менее образованного работника.* В настоящее время в практике экономически развитых стран преобладает тенденция более высокой оплаты труда высокообразованной категории населения. Этот тезис основывается на том, что различия в заработной плате отражают различия в производительности труда этих работников. Считается, что производительность труда более образованных работников выше, чем производительность труда менее образованного персонала. «Денежный доход от образования» выявляется как разность в пожизненных заработках тех, кто имеет неодинаковое образование [10]. В издержки образования, помимо непосредственных расходов на обучение, включают и так называемый упущенный доход. Это тот потенциальный заработок, который человек мог бы получить, если бы работал, а не учился.

Новая роль образовательных систем в обеспечении процесса создания и управления интеллектуальным капиталом выдвигает ряд новых требований к образовательным програм-

мам, а также требование повышения уровня знаний работников предприятий относительно принципов эффективного управления экономическими системами. Непрерывное образование, сопряжение интересов государства, бизнес-сообщества и образовательных структур, увеличение объема инвестиций в систему высшего образования открывают новые возможности для образовательного процесса и достижения его соответствия требованиям, выдвигаемым обществом в условиях перехода к инновационной экономике, основанной на знаниях. Для современных организаций и университетских комплексов это открывает перспективные пути наращивания интеллектуального капитала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Knowledge Management in the Learning Society. Paris, 2000. 254 p.
2. Сакайя Т. Стоимость, созданная знанием или История будущего / Т. Сакайя // Новая постиндустриальная волна на Западе: антология / под ред. В.А. Иноземцева. М.: Academia, 1999. С. 340-371.
3. Stewart T. Intellectual Capital. The New Wealth of Organizations / Т. Stewart. New York: Doubleday / Currency, 1997. 457 p.
4. Брукинг Э. Интеллектуальный капитал / Э. Брукинг. СПб.: Питер, 2001. 288 с.
5. Эдвинссон Л. Корпоративная долгота. Навигация в экономике, основанной на знаниях / Л. Эдвинссон. М.: ИНФРА-М, 2005. 248 с.
6. Леонтьев Б.Б. Цена интеллекта. Интеллектуальный капитал в российском бизнесе / Б.Б. Леонтьев. М.: Издат. центр «Акционер», 2002. 198 с.
7. Тюрина В.Ю. Университетские комплексы и интеллектуальная собственность / В.Ю. Тюрина. Самара: Самар. гос. экон. акад., 2004. 132 с.
8. Казакова Н.В. Университеты и экономика, основанная на знаниях / Н.В. Казакова. Саратов: СГТУ, 2002. 272 с.
9. Глинчикова А.Г. Природные ресурсы и человеческий капитал / А.Г. Глинчикова // Свободная мысль. 1999. № 3. С. 36-37.
10. Щетинин В.П. Человеческий капитал и неоднозначность его трактовки / В.П. Щетинин // Мировая экономика и международные отношения. 2001. № 12. С. 43-44.

**Астафьева Наталия Валерьевна –**

кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 20.06.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 001.895:378

**Н.В. Астафьева, А.В. Пахомова, И.В. Рыбаков**

#### **УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ В ОБЛАСТИ ЛОГИСТИКИ КАК ИННОВАЦИОННОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Исследованы инновационные подходы к управлению знаниями в области логистики, направленные на повышение эффективности экономических*

*систем. Рассмотрены практические аспекты подготовки специалистов по логистике и управлению цепями поставок.*

**N.V. Astafieva, A.V. Pahomova, I.V. Rybakov**

## **KNOWLEDGE MANAGEMENT IN LOGISTICS AS ECONOMIC SYSTEMS' INNOVATIVE DIRECTION EFFECTIVENESS INCREASE**

*Innovative approaches in knowledge management in the sphere of logistics directed to increase the economic systems effectiveness is studied in this article. Practical aspects of training of specialists in the sphere of logistics and supply chains management are considered here as well.*

В условиях интенсивных изменений в приоритетах общественного развития, как в общемировом, так и национальном масштабах, существенно возрастает роль знаний как фактора инновационного развития экономики и общества, основанного на знаниях. Это обуславливает необходимость формирования более эффективной и мобильной социально-экономической системы российского общества.

Модернизация общества предполагает переход от индустриального общества к обществу информационному, в котором процессы порождения и распространения знаний становятся ключевыми. При этом возрастающее признание приобретают концепции «экономики, основанной на знаниях», «управления знаниями», «сетей знаний», «систем обучения, инноваций и формирования компетенций» (LICS), поскольку все они напрямую затрагивают процессы производства и распространения знаний. Данные концепции указывают новые пути и методы исследования механизмов саморазвития экономических систем и базируются на следующих методологических принципах: знание играет особую роль в экономическом развитии; конкуренция между предпринимателями, в основе которой лежат инновации, является главным фактором экономической динамики; институциональный контекст инновационной деятельности прямо влияет на ее содержание и структуру [1].

Экономическая активность и динамика обусловлены различными видами инновационной деятельности, в которых основную роль играют процессы образования, способствующие созданию и использованию новых технологий. Эта идея аргументируется тем, что образовательный процесс носит коллективный, всеобщий характер и находится под влиянием как формальных институтов (таких, как университеты, корпорации, регулятивная система и т.д.), так и общественных норм и ценностей. Образование в этом контексте понимается в широком смысле слова, как накопление знаний, их осмысление и использование в дальнейшей деятельности. Подобный процесс создания и распространения знаний становится основной предпосылкой осуществления экономической деятельности.

Таким образом, основной особенностью современного этапа развития общества являются возрастание роли знаний в достижении устойчивых конкурентных преимуществ, преобладание человеческого и иных форм интеллектуального капитала в активе организации и возрастание спроса на него. Отмеченные тенденции обуславливают необходимость появления инновационного для России направления образования, связанного с управлением знаниями и нововведениями, а также с пониманием необходимости постоянной работы по созданию благоприятных условий для таких изменений, усилению адаптационных способностей экономических систем к изменениям внешней окружающей среды и совершенствованию их систем управления.

Знания участвуют в процессе производства следующим образом: с одной стороны, знание выступает как элемент рабочей силы, с другой стороны, оно воплощается в средствах

производства. Именно живое знание, заключенное в интеллекте человека, с одной стороны, и воплощенное знание, с другой, – составляют интеллектуальный капитал.

Существует несколько моделей управления знаниями, среди которых наиболее распространенной, с точки зрения практики, считают сеть лиц или групп (команд), обменивающихся знаниями. Основными аспектами деятельности, взаимодействие которых обеспечивается этой моделью, являются финансовая деятельность, разработка и внедрение инноваций, организация внутренних бизнес-процессов, обучение и развитие.

Каждой области принятия решений соответствуют ключевые виды знаний, используемые в управлении цепями поставок. Например, для принятия решений в области производственной технологии требуются следующие ключевые виды знаний: производственные характеристики технологии, интеграция оборудования, потенциал развития технологий. Планирование и контроль запасов сопряжены с такими ключевыми видами знаний как уровни износа/старения, требования к хранению, риск отсутствия на складе.

Концепции управления знаниями и работниками – носителями знаний основываются на том, что в настоящее время для любой экономической системы важнейшим фактором повышения результативности и эффективности работы является управление набором способностей или компетентностей работников как важнейшим интеллектуальным ресурсом [2].

Подходы западных исследователей к оценке и учету влияния новых знаний, разработке инноваций и их внедрению в реальное производство фактически отражают принятый в западном обществе взгляд на цели этих процессов, заключающиеся в развитии ресурсов и способностей компаний и роли имеющегося у них интеллектуального капитала [3]. Иной подход к изучению, организации и управлению инновационным процессом принят в Японии, где данная проблема представляет, в первую очередь, практический интерес [4]. В последние десятилетия многие восточные компании добились существенных конкурентных преимуществ по сравнению с западными фирмами именно благодаря существенному опережению их в интенсивности и скорости инновационного процесса. Согласно выводам известного японского исследователя И. Нонака, особенностью принятого в японских корпорациях подхода к обеспечению процесса создания и реализации новых знаний и получаемых на их основе нововведений является концентрация внимания на организации и стимулировании процесса получения и использования новых знаний, способных наилучшим образом обеспечить упрочение фирмой своих конкурентных преимуществ. Этот подход коренным образом отличается от подхода, принятого в западных компаниях и основанного на управлении нематериальными и человеческими активами как важным ресурсом их экономического развития.

Таким образом, эффективный процесс производства новых знаний, причем оцениваемый не только с позиций научно-технических и теоретических результатов, но и с точки зрения соответствия реальным потребностям экономической системы, укрепления ее положения на рынке и потенциальной конкурентоспособности, должен концентрироваться на способности эффективно использовать нематериальные активы на предприятии при обеспечении управляемого процесса создания и использования новых знаний, способствующих усилению конкурентных преимуществ экономической системы.

В современных условиях развития экономики становится необходимым применение новых средств и методов управления материальными, финансовыми, информационными и сервисными потоками в различных сферах бизнеса для повышения конкурентоспособности предприятий и увеличения долгосрочной рентабельности их бизнеса. В связи с этим усиливается роль знаний в управлении логистическими процессами на предприятиях различных организационно-правовых форм. Это обусловлено тем, что в настоящее время логистика позиционируется в науке и практике как инновационный подход к формированию потоков материальных ресурсов, кадров, информации и финансов, циркулирующих как в макро-, так и в микросреде. Логистика и ее специфические методы управления в условиях становления эко-

номики, основанной на знаниях, рассматриваются как важнейший ресурс, как интеллектуальный капитал организации.

Знания в области управления логистическим процессом необходимы для решения следующих основных задач: достижения логистической координации со смежными службами, обеспечивающими продвижение товара; организации товародвижения; управления складскими системами; определения основных направлений повышения эффективности использования средств механизации и технологического оборудования. Функционирование всех составляющих логистического процесса взаимосвязано, поэтому его необходимо рассматривать комплексно, во взаимозависимости частей. Логистизация предполагает реализацию основных логистических принципов, таких как: системный подход; учет логистических издержек на протяжении всей логистической цепи; глобальная оптимизация; логистическая координация и интеграция; обеспечение надежности функционирования и высокого качества работы каждого элемента логистической системы; способность логистической системы к устойчивости и адаптации; оптимальный уровень технической оснащенности. Такой подход позволяет не только четко координировать деятельность различных служб, но и обеспечивать планирование и контроль за продвижением материальных потоков с минимальными затратами.

Возможность предоставления широкого ассортимента товаров потребителям в сочетании с высокой скоростью и точностью обработки заказов клиентов во многом обусловлена технологическими прорывами в IT-индустрии, вообще, и в сфере логистики, в частности. Россия, где предприятия стали элементами общемировых SCM-цепочек, в последнее время на фоне роста макроэкономических показателей переживает в этом смысле настоящий логистический бум. Знания в этой области, являющиеся основой модели управления цепями поставок с интегрированной системой информационного обеспечения, способной решать задачи координации, планирования и управления процессами снабжения, складирования и транспортировки, становятся залогом успешного функционирования экономической системы.

Сегодня десятки тысяч компаний по всему миру применяют концепцию управления цепями поставок в своей повседневной деятельности. На многих предприятиях, функционирующих в России и за рубежом, наряду с отделами по логистике, создаются специализированные службы управления цепями поставок. Задача менеджера в этой сфере деятельности состоит именно в том, чтобы реализовывать на практике одно из наиболее распространенных определений управления цепями поставок: цепь поставок – это объединение трех и более экономических единиц (юридических или физических лиц), напрямую участвующих во внешних и внутренних потоках продукции, услуг, финансов и информации от источника до потребителя.

Профессиональная деятельность специалистов по логистике и управлению цепями поставок ориентирована на работу в сфере материального производства, товарного обращения и сферы услуг и направлена на обеспечение эффективного функционирования предприятий всех организационно-правовых форм и рациональной организации логистической деятельности с учетом отраслевой, региональной и ассортиментной специфики предприятия. Сегодня логисты различного уровня иерархии управления предприятием (топ-менеджеры, координаторы логистического процесса в закупках, дистрибуции и производстве, аналитики и функциональные менеджеры) занимаются проблемами, связанными с выбором и обоснованием корпоративной стратегии логистики, применением современных логистических концепций и технологий, принятием оптимальных управленческих решений в функциональных областях логистики предприятия, выбором информационных систем и программных продуктов, поддерживающих логистические цепи поставок, моделированием логистических бизнес-процессов и другими важными вопросами создания интегрированной логистической системы предприятия.



Актуальность цепи поставок и логистической концепции организации процесса движения материальных и сопутствующих им потоков подчеркивает особое значение инновационного подхода к подготовке специалистов-менеджеров по логистике и управлению цепями поставок, востребованных практикой в настоящее время.

Усложнение осуществляемых операций по физическому перемещению и распределению товаров, сокращение размеров логистических цепочек, формирование в России инновационной экономики, рост инвестиционной привлекательности рынка логистических услуг, усиление роли информационных технологий и многие другие факторы в современных условиях ставят задачи совершенствования подготовки специалистов сравнительно нового направления – менеджеров по логистике и управлению цепями поставок. Специалисты этой области должны уметь применять системный подход к процессу доставки товаров в соответствии с правилами логистики: нужный товар, в нужное время, в нужное место, с высоким уровнем качества, по приемлемой цене. Реализация этого требования вызывает необходимость разработки инновационного подхода к процессу формирования системного мышления у менеджера, который должен уметь решать новые, более сложные задачи по сравнению с задачами, решаемыми экономистом или инженером отдела материально-технического обеспечения и сбыта. Сегодня он должен обладать знаниями, умениями и навыками формирования таких цепей поставок, которые на основе интегрированной системы информационного обеспечения будут способствовать успешному решению задач по координации, планированию, управлению процессами снабжения, складирования и транспортировки.

Однако сложность подготовки специалистов по логистике и управлению цепями поставок определяется тем, что экономическая среда не всегда содержит эффективные механизмы выбора поставщиков и потребителей в связи с возникающими трудностями при оценке развития экономической ситуации в районах перевозок, перевалок грузов, а также при оценке влияния окружающей среды на эффективность функционирования каждого участника цепи поставок. В связи с этим в России зачастую затруднен поиск поставщиков и потребителей, эффективно интегрирующихся в логистическую цепь, а менеджер не всегда может «проиграть» возможные ситуации в изменяющейся внешней среде. Отсюда возникают затруднения сквозного управления бизнес-процессами, принятия обоснованных решений по интеграции различных предприятий в логистическую цепь поставок.

Профессиональные знания менеджера в области логистики позволяют при принятии управленческих решений учитывать особенности логистического процесса и координировать закупки в ходе операций по снабжению и управлению запасами, осуществлять контроль за ведением поставок. Основная задача снабжения состоит в обеспечении предприятия товарами в соответствии с возможностями их переработки на данный период при полном удовлетворении заказов потребителей. Учет и контроль поступления запасов и отправок заказов позволяет обеспечить ритмичность переработки грузопотоков, максимальное использование имеющегося объема склада и необходимые условия хранения, сократить сроки хранения запасов и тем самым увеличить оборот склада. При осуществлении операций разгрузки и приемки грузов подготавливаются места разгрузки под указанное транспортное средство (вагон, трейлер, фура, контейнер) и необходимое погрузочно-разгрузочное оборудование. Специальное оснащение мест разгрузки и правильный выбор погрузочно-разгрузочного оборудования позволяют эффективно проводить разгрузку (в кратчайшие сроки и с минимальными потерями груза), в связи с чем сокращаются простои транспорта, а, следовательно, и снижаются издержки обращения.

Таким образом, менеджер по логистике должен обладать знаниями не только в области непосредственно транспортировки, погрузки-разгрузки, складирования и т.д. Реализация перечисленных и других знаний в области организации, управления, экономики требует соответствующей среды обучения, хорошей производственной базы, например, для производственной практики студентов. Именно при приобретении знаний и навыков в области логи-

стики менеджер может активно интегрироваться в инновационную среду предприятия и стать конкурентоспособным на рынке труда.

Интеграция процессов в цепи создания добавленной стоимости позволяет объединять информационные ресурсы, содержащие структурированные данные обо всех видах деятельности внутри цепи процессов, начиная с прогнозирования потребностей клиентов, формирования портфеля заказов и заканчивая складированием, распределением и транспортировкой. Это обусловлено тем, что организация логистических процессов в сфере управления цепями поставок представляет собой высокоинтегрированную информационную среду, объединяющую иногда десятки или сотни предприятий. Соответственно менеджер по логистике и управлению цепями поставок должен знать, что объединение предприятий и логистических посредников вокруг общих целей, политики, программ развития для интегрированной цепи поставок приводит к росту эффективности вследствие ликвидации дублирования логистических операций, непродуктивных затрат времени и ресурсов. Основное преимущество объединения – использование совместного экономического и информационного потенциалов при реализации механизма кооперации участников. Именно кооперация труда с использованием коммуникационных средств позволяет выстроить систему управления и хозяйственных связей, которые наиболее адекватны условиям современной конкуренции и взаимодействия участников цепи поставок.

В настоящее время обеспечить устойчивое функционирование отечественных предприятий на рынке при усилении потока импорта продукции крупнейших мировых производителей возможно на основе рационализации процессов по всей логистической цепи поставок, обязательным звеном в которой является склад, поддерживающий наличие материалов, готовой продукции на различных стадиях процесса производства и реализации. Процесс проектирования с точки зрения логистики должен определять место складского звена в цепи поставок, а также формулировать требования к складам в соответствии с целями функционирования всей логистической системы. При этом логистизация складских процессов на предприятии представляет собой логистическую координацию и операционное управление грузопереработкой, обеспечивающие достижение оптимального функционирования склада в рамках единой организационно-управленческой системы (производственного предприятия).

Интегрированный подход в логистике предполагает сквозное управление потоками, проходящими через все звенья логистической цепи поставок, в том числе и через склады. Склады как составная часть интегрированной логистической системы одновременно являются материально-технической базой основных участников этой системы и предназначены, в основном, для выравнивания временной разницы между выпуском продукции и ее потреблением, что позволяет осуществлять непрерывное производство и снабжение. Рассмотрение отдельных процессов в контексте всей логистической цепочки материальных потоков в большинстве случаев дает оптимальное решение и для тех ее звеньев, где постоянно или на некоторое время происходит накопление сырья, полуфабрикатов, готовых изделий. Менеджеры по логистике и управлению цепями поставок должны уметь применять целостный, интегрированный подход к складированию, позволяющий определять, что необходимо делать с грузом в месте его накопления и когда в нужный момент доставить его потребителю.

Функционирование логистических систем – процесс многогранный, включающий в себя технико-экономические, технологические, организационные, информационные, финансовые и другие аспекты. Специалисты в области логистики и управления цепями поставок должны оценивать эффективность логистического процесса в соответствии с ключевыми факторами логистики: удовлетворением потребителей; минимизацией логистических издержек; повышением качества логистических услуг; определением рационального объема инве-

стиций; определением оптимальной продолжительности логистических циклов, способствующих росту конкурентоспособности экономических систем.

Одной из проблем, сдерживающих создание эффективных цепей поставок, является функциональная ориентация систем управления большинства предприятий различных организационно-правовых форм. Такая ориентация препятствует системному управлению цепью как единым целым, затрудняет использование совместного экономического потенциала при осуществлении интегрированного процесса доставки грузов или пассажиров. Поэтому в процессе подготовки менеджеров по логистике и управлению цепями поставки следует акцентировать на этом особое внимание путем применения на практических занятиях деловых ситуаций, в процессе рассмотрения которых студенты должны уметь выбрать оптимальный вариант формирования цепи поставок по критерию минимума затрат на осуществление логистических функций и операций. Кроме того, студенты должны уметь анализировать экономическую ситуацию в том регионе, применительно к которому строится цепь поставок.

Интегральный характер деятельности менеджеров по логистике и управлению цепями поставок, умение принимать оптимизационные решения с целью экономии материальных и финансовых ресурсов предприятий, умение координировать работу как внутри компании, так и с ее контрагентами в бизнесе позволят им успешно осуществлять деятельность по повышению конкурентоспособности и эффективности деятельности предприятий на региональном уровне. Специалисты в области логистики и управления цепями поставок должны быть способны на основе профессиональных знаний обеспечить эффективную логистическую деятельность и тем самым способствовать решению важной социально-экономической задачи удовлетворения потребностей региональных потребителей.

Таким образом, для успешного решения логистических проблем необходим инновационный подход к подготовке специалистов в области логистики и управления цепями поставок, реализуемый в процессе обучения при проведении практических и семинарских занятий, прохождении практики, выполнении научно-производственной работы, написании и защите дипломного проекта. Необходимо также помнить, что управление логистической цепью поставок связано с переходом от иерархически организованной структуры управления к целевой ориентации на процессы. Для этого нужны квалифицированные кадры, заинтересованные в конечных результатах не только отдельно взятого предприятия, но и всей цепочки предприятий и предпринимателей, участвующих в цепи поставок, что соответствует задачам логистики как науки управления материальными и сопутствующими потоками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шумпетер Й. Теория экономического развития / Й. Шумпетер. М.: Прогресс, 1982. 524 с.
2. Голубкин В.Н. Бизнес-образование в процессе управления знаниями / В.Н. Голубкин, С.О. Календжян, Л.П. Клеева // Бизнес-образование. 2006. № 1(20). С. 23-31.
3. Knowledge Management in the Learning Society. Paris, 2000. 254 p.
4. Сакайя Т. Стоимость, создаваемая знанием, или История будущего / Т. Сакайя // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / под ред. В.Л. Иноземцева. М.: Academia, 1999. С. 340-371.

**Астафьева Наталия Валерьевна** –

кандидат экономических наук,

доцент кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»

Саратовского государственного технического университета

**Пахомова Алла Викторовна** –

кандидат экономических наук,

профессор кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного технического университета

**Рыбаков Илья Владимирович** –

аспирант кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 20.06.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 334:336

**В.Р. Купреева**

### **РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСТОЧНИКОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

*Подробно описываются основные источники финансирования некоммерческих организаций: привлеченные, государственные и собственные, их структура, значимость и роль в деятельности организаций некоммерческого сектора. Рассматриваются возможности некоммерческой организации по эффективному использованию данных источников.*

**V.R. Kupreeva**

### **THE ENLARGEMENT OPPORTUNITIES OF THE NON-PROFIT ORGANIZATIONS FINANCIALS SOURCES**

*The article describes the main sources of financing of non-profit organizations: state, private (national or foreign investments), loan and so on, the structure, value and role in activity of the organizations of non-profit sector. Opportunities of non-profit organizations and effectivity of usage of the financials sources are considered here.*

Состояние социально-экономической сферы регионов и страны в целом требует постоянного мониторинга. Значимость и важность развития социально-экономической сферы переоценить невозможно, а недооценка ее влечёт за собой серьёзные, а часто и трагические последствия. Анализируя социально-экономическую сферу, нельзя не рассмотреть такой фактор, как наличие в стране и регионе некоммерческих, общественных организаций, деятельность которых во всём мире направлена на решение важных, прежде всего, социально значимых вопросов.

Некоммерческие организации являются неотъемлемым элементом рыночного хозяйства, который играет существенную роль в социально-экономическом развитии ведущих рыночно ориентированных стран. Степень развития некоммерческих организаций тесно связана с уровнем социальной зрелости современного рыночного хозяйства и в России.

Некоммерческий сектор призван реализовывать социальные, культурные, благотворительные цели. Функционирование некоммерческих организаций способствует активному

созданию дополнительных рабочих мест в рамках национальной экономики. В процессе эволюции рыночной системы усиливается роль некоммерческого сектора как фактора социализации экономических отношений. Это обусловлено изменениями в мотивациях, возрастанием роли таких мотивов деятельности людей как комфортность среды обитания и возможность формировать ее по своему усмотрению, духовные и нравственные ценности. Некоммерческие организации вносят свой вклад в обеспечение этих условий, заполняя неэффективные для бизнеса экономические ниши. Деятельность некоммерческих организаций способствует социальной стабильности, достижению нового качества экономического роста, развитию инновационных технологий, сохранению и приумножению образовательного, научного, духовного потенциала общества, защите прав потребителей, экологической безопасности.

Некоммерческие организации являются активными покупателями товаров и услуг, что усиливает предпринимательскую деятельность в целом, способствует развитию конкуренции между разными секторами экономики.

Организации некоммерческого сектора отличаются высокой диверсификацией источников финансирования. Некоммерческие цели хозяйствования требуют от них не только разработки собственных доходных направлений деятельности, но и привлечения внешних источников финансирования со стороны государства, населения и частного предпринимательского сектора.

Источники финансирования некоммерческих организаций делятся на три группы [5, с.53]:

- 1) привлеченные;
- 2) государственные;
- 3) собственные средства.

К привлеченному финансированию относятся благотворительные, спонсорские средства, гранты фондов, членские взносы, фандрайзинг и тому подобное.

Сущность благотворительности достаточно полно раскрывается в статье 1 Закона Российской Федерации «О благотворительной деятельности и благотворительных организациях» как «добровольная деятельность граждан и юридических лиц по бескорыстной (безвозмездной или на льготных условиях) передаче гражданам или юридическим лицам имущества, в том числе денежных средств, бескорыстному выполнению работ, предоставлению услуг, оказанию иной поддержки» [1]. Понятие спонсорства определено статьей 19 Закона Российской Федерации «О рекламе» как «осуществление юридическим или физическим лицом (спонсором) вклада (в виде предоставления имущества, результатов интеллектуальной деятельности, оказания услуг, проведения работ) в деятельность другого юридического или физического лица (спонсируемого) на условиях распространения спонсируемой рекламы о спонсоре, его товарах» [2]. Однако спонсор может требовать в качестве ответной услуги не только рекламу, но и другие прямые и косвенные выгоды, например организацию выставок, пресс-конференций с его участием, что и ведет к формированию в обществе имиджа организации.

Некоммерческие организации могут предложить бизнесу довольно широкий спектр услуг, выступая не в роли просителя, а в роли полноценного партнера. По мнению В. Вайнера, существует ряд направлений, где некоммерческие организации могут выступать как основные поставщики услуг – это: семинары для бизнеса; формирование объединенных (государство, бизнес, некоммерческие организации) попечительских, общественных, экспертных советов; организация конкурсов качества, производителей товаров и услуг; разработка и организация кампаний по продвижению законопроектов в интересах поддержки и развития предпринимательства; создание объединений и ассоциаций бизнесменов, поддержка и совместная разработка проектов с уже действующими объединениями; создание общественных объединений граждан по поддержке определенного вида товара или услуги; фандрайзинговые услуги по совместному использованию и привлечению ресурсов к социальным

проектам и услугам бизнес-организаций и некоммерческих организаций и другие [7]. Это дает возможность организациям некоммерческого сектора расширить поле деятельности по привлечению денежных средств. Однако, здесь же возникает возможность использования статуса некоммерческих организаций для проведения недобросовестных кампаний по продвижению каких-либо идей.

Следует вывод, что спонсорство – вид экономической сделки, в процессе которой происходит обмен денежных средств, товаров, услуг, работ на возможные размещения рекламы, проведения PR-мероприятий, стимулирования сбыта и другие. Спонсорство характеризуется только коммерческими интересами.

Благотворительность – добровольная бескорыстная (безвозмездная или на льготных условиях) поддержка в различных формах физических и юридических лиц в общепользовательных целях.

Пожертвованием, согласно статье 582 ч.2 Гражданского кодекса Российской Федерации, признается дарение вещи или права в общепользовательных целях. Пожертвования выделяются ограниченным кругом благополучателей, в отличие от благотворительных средств. Кроме того, лица, делающие пожертвования, не вправе определять цели и порядок их использования, в отличие от благотворителей.

Патронаж в российском законодательстве определен в отношении только дееспособных граждан. Под ним, согласно статье 41 Гражданского кодекса Российской Федерации, понимается регулярное (постоянное) оказание помощи в осуществлении прав, их защите и исполнении обязанностей совершеннолетнему дееспособному гражданину, нуждающемуся в такой помощи по состоянию здоровья. Однако патронаж может быть трактован намного шире, в отношении как физических, так и юридических лиц. Особую актуальность патронаж приобретает для некоммерческих видов деятельности.

Патронаж – это оказание долгосрочной материальной и организационной поддержки некоммерческой деятельности в ответ на получение определенных прав на участие в управлении. Патрон может быть наделен правом участия в разработке стратегии развития и текущем планировании некоммерческой деятельности [5, с.55].

При этом важно патронаж отличать от меценатства. Меценатство – организация и поддержка общественно значимых мероприятий в просветительских целях (преимущественно в сфере культуры и искусства).

Другим важным источником финансирования могут стать членские взносы, представляющие собой регулярное отчисление средств в некоммерческую организацию с целью получения определенного пакета товаров и услуг.

Членские взносы не имеют однозначной трактовки в российском законодательстве. Закон Российской Федерации «О некоммерческих организациях», рассматривая права и обязанности членов некоммерческих организаций, не дает общего определения отношений членства. Закон Российской Федерации «Об общественных объединениях» в ст.6 в качестве членов рассматривает физических и юридических лиц, «чья заинтересованность в совместном решении задач объединения в соответствии с нормами его устава оформляется соответствующими индивидуальными заявлениями или документами, позволяющими учитывать количество членов общественного объединения в целях обеспечения их равноправия». Однако в законе не нашел отражения взаимовыгодный и дифференцированный характер членства, связанный с регулярной уплатой различных членских взносов для получения товаров и услуг организации.

Особого внимания заслуживает такой источник поступления, как грант. В настоящее время в российском законодательстве понятие «грант» трактуется неоднозначно в зависимости от его вида: Президента Российской Федерации, государственный, благотворительный [6, с.106].

Существенной представляется роль связей с общественностью в поддержке работы некоммерческих организаций. Некоммерческим организациям следует разработать свои связи с общественностью для достижения следующих задач:

- 1) достичь осведомленности публики о целях и деятельности организации;
- 2) побудить отдельных лиц пользоваться услугами данной организации;
- 3) разработать просветительские материалы;
- 4) набирать и обучать работников-волонтеров.
- 5) получать средства на работу организации [4, с.417].

Автор считает, что работа по привлечению всех вышеперечисленных источников финансирования организаций некоммерческого сектора должна вестись системно, постоянно и планомерно. В этих целях эффективно применение фандрайзинга. Фандрайзинг представляет собой методику поиска источников финансирования, то есть объединяет деятельность по привлечению и аккумулярованию внешних источников финансирования. Это целый комплекс управленческих мероприятий, ежегодно осуществляемых некоммерческими организациями, что позволяет выделить его в отдельную область менеджмента.

Государственные источники финансирования некоммерческих организаций объединяют различные виды финансирования. Все способы государственной поддержки можно объединить в две группы: прямые и косвенные. К прямым относятся регулярные субсидии государства на содержание и развитие некоммерческих организаций, а также разовое финансирование, связанное с реализацией отдельных проектов, программ.

Существует несколько способов поступления средств из государственного бюджета в некоммерческие организации. К ним относят:

- 1) государственный или муниципальный контракт;
- 2) предоставление субвенций и субсидий, в том числе на выделение грантов и материальной поддержки.

Получение средств из государственного бюджета посредством государственного или муниципального контракта предусматривает участие некоммерческих организаций в выполнении программ, удовлетворяющих государственные и муниципальные потребности. Получение некоммерческими организациями государственного и муниципального контракта возможно только на конкурсной основе. В России это требование отражено в ст.72 Бюджетного кодекса Российской Федерации (от 31 июля 1998 г. № 145-ФЗ).

Некоммерческие организации также имеют возможность получить из государственного бюджета субсидии и субвенции, в том числе государственные гранты. Субсидии предоставляются некоммерческой организации на условиях долевого финансирования целевых расходов. Как правило, субсидии, получаемые некоммерческой организацией, направляются на частичное покрытие определенных видов расходов, связанных с осуществлением основной деятельности.

Средства из государственного бюджета в виде субвенций могут быть предоставлены некоммерческой организации на осуществление определенных целевых расходов. Эти средства поступают в некоммерческую организацию на безвозмездной и безвозвратной основе.

Однако государство предпочитает прямым способам поддержки некоммерческих организаций косвенную поддержку, выражающуюся в льготном налогообложении. Следует учитывать, что налоговые льготы зависят от целого ряда факторов: в какой форме поступили средства, какую организационно-правовую форму имеет некоммерческая организация, занимается ли она благотворительной деятельностью [3, с.36].

К собственным источникам финансирования некоммерческих организаций могут быть отнесены как основные, так и дополнительные направления работы таких организаций.

Это, прежде всего, выручка от реализации товаров, работ, услуг некоммерческой организации, которая представляет собой выручку от двух видов деятельности некоммерческой организации: это доход, который они получают в результате выполнения своей основной деятельности и доход от самостоятельной предпринимательской деятельности. Исследования показывают, что некоммерческие организации уделяют существенное внимание первому источнику доходов и все более широко используют второй.

Ведение предпринимательской деятельности некоммерческими организациями часто в экономической литературе именуется «некоммерческим предпринимательством» [6, с.100].

Включенность некоммерческих организаций в общую систему рыночного хозяйства не может не отразиться на характере их поведения. Осуществляя предпринимательскую деятельность, некоммерческие организации руководствуются теми же принципами, что и коммерческие организации.

Экономическое поведение некоммерческих организаций на рынке в процессе реализации товаров, работ, услуг на платной основе существенно не отличается от экономического поведения коммерческих структур. Большое количество примеров функционирования организаций некоммерческого сектора (университетов, колледжей, научных и информационных центров, клиник) подтверждает их эффективность, высокую конкурентоспособность. Это объясняется не только усиливающимся спросом на продукцию некоммерческих организаций, но и тем, что в данном секторе экономики удается достаточно полно сочетать принципы современного предпринимательства с инициативой, творчеством, высоким уровнем профессионализма занятых здесь работников.

Однако следует учесть, что некоммерческие организации создаются и функционируют не для ведения предпринимательской деятельности, а ради выполнения ими основной социальной миссии. Поэтому осуществление некоммерческого предпринимательства может привести к конфликту интересов, связанных с реализацией основной миссии организации и ориентацией на максимизацию прибыли.

Хотя некоммерческие организации и могут заниматься предпринимательством, оно по сравнению с деятельностью коммерческих организаций носит несколько ограниченный характер. Некоммерческое предпринимательство не является бизнесом в чистом виде.

Некоммерческая организация может осуществлять предпринимательскую деятельность лишь постольку, поскольку это служит достижению целей, ради которых она создана. Главная задача заключается в том, чтобы некоммерческая организация, занимаясь предпринимательской деятельностью, не отклонялась от выполнения основной деятельности, направляла возможную прибыль на реализацию уставных целей.

Некоммерческие организации получают доход по имеющимся у них акциям, облигациям и другим ценным бумагам и вкладам. В России развитие этого источника формирования дохода некоммерческих организаций сдерживается ограниченностью финансовых ресурсов последних, кризисным состоянием отечественного фондового рынка.

К доходам, получаемым от собственности некоммерческой организации, можно отнести доходы от сдачи в аренду имущества (помещений, оборудования, земельных участков), продажи названия организации. Для многих некоммерческих организаций возможно получение дохода от объектов интеллектуальной собственности (патенты, авторские права, компьютерные программы, символика).

Это позволяет заключить, что в современных условиях для привлечения наиболее эффективных источников финансирования некоммерческих организаций следует использовать ряд возможностей:

- 1) построение эффективной системы фандрайзинга в некоммерческой организации;
- 2) организация PR-деятельности с целью привлечения спонсорских, благотворительных источников финансирования;
- 3) расширение возможностей использования фондового рынка в целях увеличения доходов некоммерческих организаций по имеющимся у них акциям, облигациям, вкладам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «О благотворительной деятельности и благотворительных организациях». М.: ИНФРА-М, 2006. 36 с.
2. Федеральный закон «О рекламе». М.: ИНФРА-М, 2005. 44 с.



3. Баханькова Е.Р. Некоммерческие организации в России: финансовое управление / Е.Р. Баханькова, М.Л. Макальская. М.: Дело и сервис, 2004. 234 с.
4. Самое главное в PR / У. Аги, Г. Кэмерон, Ф. Олт, Д. Уилкоккс. СПб.: Питер, 2004. 560 с.
5. Шекова Е.Л. Экономика и менеджмент некоммерческих организаций / Е.Л. Шекова. СПб.: Лань, 2004. 192 с.
6. Юрьева Т.В. Экономика некоммерческих организаций / Т.В. Юрьева. М.: Юристъ, 2002. 320 с.
7. [www.db.ngo.ru](http://www.db.ngo.ru)

**Купреева Василина Рудольфовна** –  
преподаватель кафедры «Антикризисное управление»  
Поволжской академии государственной службы им. П.А. Столыпина

*Статья поступила в редакцию 23.05.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 355:336.6

**С.С. Лудищев, С.Л. Кашеев**

### **ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ**

*Рассматривается математическая модель оптимальной финансово-закупочной стратегии на примере формирования запасов мяса свежего для продовольственного обеспечения личного состава силовых структур РФ. Математическая модель позволяет оптимизировать количество единовременно закупаемого мяса при содержании неистраченной части выделенных денежных средств на расчетном счете в банке под определенный процент. Модель не зависит от цены за единицу товара и может быть использована при формировании запасов любых видов товара в условиях рыночной экономики.*

**S.S. Ludishew, S.L. Kascheew**

### **OPTIMUM CONDITIONS ESTIMATION OF FOOD RESERVE MANAGEMENT**

*The article describes a mathematical model of optimum finance-purchase strategy forming fresh meat reserve for the Russian Federation Armed Forces personnel. The model enables to optimize the amount of meat being bought on one occasion only, unspent allotted means being kept on the bank account at certain interest. The model does not depend on the price of a goods unit and may be used in market economy conditions in forming goods reserves of any kind.*

Денежные средства, выделяемые для решения задач продовольственного обеспечения силовых структур РФ, направляются на реализацию текущего продовольственного обеспечения личного состава, на обновление неприкосновенных запасов продовольствия, а также на поддержание условий надлежащего хранения, транспортирования и переработки продовольствия.

Руководящие документы, регламентирующие методологию формирования запасов продовольствия, были разработаны в условиях существования СССР и присущих ему принципов формирования силовых структур. Эти документы не учитывают влияния современных рыночных отношений на сам принцип формирования запасов продовольствия.

Как показано в работах [1, 2], деньги, выделенные для закупки продовольствия, можно истратить частично или полностью, покупая товар, при содержании неистраченной части денежных средств на расчетном счете в банке.

Если в качестве товара рассматривать мясо свежее, то при полном однократном расходе денежных средств на закупку мяса свежего в полном объеме на весь период питания возникают проблемы, связанные с организацией хранения закупленного мяса. В этом случае может получиться, что затраты на обеспечение сохранности закупленного мяса будут примерно того же порядка, что и стоимость закупки. Поиск оптимизированного варианта единовременных закупок мяса должен, по-видимому, привести к отказу от закупок большими партиями, чтобы сократить расходы на обеспечение сохранности мяса.

В этом случае неиспользованные денежные средства можно содержать на расчетном счете в банке под определенный «накопительный процент», периодически закупая на них мясо для освежения текущих запасов, сформированных ранее. При этом накопленные (избыточные, относительно начальной суммы) денежные средства могут быть использованы для организации продовольственного обеспечения в критических ситуациях.

Если всю сумму  $\Omega$  денежных средств, выделенных на закупку мяса для организации текущего питания личного состава в течение календарного (или бюджетного) года, направить на единовременную закупку мяса свежего на весь период питания, то при стоимости одной суточной порции (1 порция = 0,2 кг [3]) мяса свежего, равной  $S$ , можно единовременно приобрести максимальное количество порций мяса  $n_{\max} = \Omega : S$ , где  $n_{\max} > 0$  и  $S \neq 0$ .

Одна порция мяса, стоимостью  $S$ , используется одним военнослужащим за период времени  $t = 1$  сутки [3]. Тогда, если не закупать мясо и все выделенные денежные средства  $\Omega$  направить на расчетный счет в банк, то при соответствующей конфигурации начислений по банковским вкладам за период времени  $t$  на расчетном счете в банке может образоваться доход в сумме  $\Omega \cdot t \cdot R$ , где  $R$  – установленная процентная ставка банковского вклада. Банк устанавливает расчетный период, соответствующий одному из следующих периодов времени: 10, 30, 90, 180, 365 суток. В связи с этим выражение  $\Omega \cdot t \cdot R$  требует приведения в соответствие размерности  $R$  и временного интервала  $t$ .

Если единовременно закупать  $n$  порций мяса ( $n \leq n_{\max}$  и  $n \geq 1$ ), то затраты на такую закупку можно вычислить с использованием выражения  $S \cdot n$ , а измененный за период времени  $t$  доход от содержания оставшейся части денег на счете в банке можно вычислить с использованием выражения  $(\Omega - S \cdot n) \cdot t \cdot R$ .

Если единовременно закупать  $n+1$  порций мяса ( $n+1 \leq n_{\max}$ ), то затраты на такую закупку можно вычислить с использованием выражения  $S \cdot (n+1)$ , а измененный за время  $t$  доход от содержания оставшейся части денег на счете в банке можно вычислить с использованием выражения  $[\Omega - S \cdot (n+1)] \cdot t \cdot R$ . Для сравнения этих показателей необходимо единовременные расходы на закупку мяса, вычисляемые как  $S \cdot n$  и  $S \cdot (n+1)$ , нормировать относительно времени  $t$ .

Операции, связанные с вычислением отношений затрат и доходов к единице времени  $t$ , следует отнести к вычислению скорости изменения доходных и расходных функций  $\psi$  и  $\phi$ , соответственно, т.е. к вычислению  $\psi'$  и  $\phi'$ .

$$\psi' \approx \frac{\Delta \psi}{\Delta t} = (\Omega - S \cdot n) \cdot t \cdot R - [\Omega - S \cdot (n+1)] \cdot t \cdot R = S \cdot t \cdot R, \quad (1)$$

$$\varphi' \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{S \cdot n}{(n-1)} - \frac{S(n+1)}{n} = \frac{S}{n(n-1)}. \quad (2)$$

В случае, когда  $\psi' = \varphi'$ , имеем

$$S \cdot t \cdot R = \frac{S}{n(n-1)}. \quad (3)$$

В результате преобразований (3) и при  $R \neq 0$ ,  $t \neq 0$ ,  $n \geq 1$  получаем:

$$n = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{Rt}}}{2}. \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет вычислить оптимальное количество порций мяса, которое следует закупать единовременно. Если оставшиеся от суммы  $\Omega$  денежные средства содержать на расчетном счете в банке, то они будут приносить такой доход, который приведет систему «доход – расход» к балансу.

Поскольку аргументы  $t$  и  $R$  связаны между собой функционально, то, прежде чем применить уравнение (4) для производства конкретных расчетов, необходимо привести в соответствие размерности этих двух величин.

В общем случае, если размерности  $[R]=(\text{год})^{-1}$  и  $[t]=\text{сутки}$ , то для приведения в соответствие размерностей этих аргументов введем коэффициент  $W$ , значение которого равно 365. С учетом коэффициента  $W$ , приводящего в соответствие размерности аргументов  $t$  и  $R$ , уравнение (4) будет представлено в следующем виде:

$$n = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4W}{Rt}}}{2} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 365}{Rt}}}{2}. \quad (5)$$

Это уравнение представляет собой математическую модель оптимальной логистической стратегии формирования запасов мяса свежего для одного военнослужащего. При вычислениях запасов мяса для подразделения следует  $n$  умножить на количество питающихся.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коноплева Н. Вкладывайте деньги в чулки / Н. Коноплева // Изобретатель и рационализатор. 1990. № 3. С. 48.
2. Кашеев Л.А. Обобщенный портрет оптимальной инвестиционной стратегии при планировании оптовых закупок товара / Л.А. Кашеев, С.Л. Кашеев. Деп. рукоп., справка № 11710, инв. В 4743 от 02.07.01. Сб. реф. деп. рук., серия Б, вып. № 56. М.: ЦВНИ МО РФ. 2001. 32 с.
3. Приказ МВД РФ № 65 от 17 февраля 1993 года «Об утверждении Положения о продовольственном обеспечении воинских частей внутренних войск МВД России на мирное время».

**Лудищев Сергей Сергеевич** –

адъюнкт кафедры «Экономика менеджмента продовольственного обеспечения»  
Вольского высшего военного училища тыла (Военного института)

**Кашеев Сергей Леонидович** –

кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и право»  
Вольского высшего военного училища тыла (Военного института)

*Статья поступила в редакцию 15.05.07, принята к опубликованию 03.07.07*

**А.И. Кордюченко**

**ДЕТАЛЬНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ДИВЕРСИФИКАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК<sup>1</sup>  
(НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ «АСТРАХАНЬГАЗПРОМ»)**

*Рассмотрены вопросы комплексной оценки и выбора наиболее эффективных диверсификационных проектов на предприятиях топливно-энергетического комплекса. Предложены инструмент и методика анализа проектов для практического применения в управлении на предприятиях ТЭК.*

**A.I. Kordjuchenko**

**DETAILED EXPERTISE OF DIVERSIFICATION PROJECTS  
ON FUEL AND ENERGY COMPLEXES  
(ON THE EXAMPLE OF ASTRAKHAN-GASPROM COMPANY)**

*Questions of complex estimation and choice of the most efficient diversification projects on the enterprises of fuel and energy complexes are studied in this article.*

Диверсификация является сложным процессом, направленным на достижение долгосрочных целей предприятия или его краткосрочной адаптации к условиям внешней среды и рыночной конъюнктуре. Сделанный выбор имеет финансовые и экономические последствия, которые необходимо прогнозировать. Рекомендуемые классические инструменты и методы анализа инвестиционных проектов дают поверхностную информацию, не отражающую особенности диверсификации. Поэтому для оценки наиболее эффективных направлений проведем последовательный анализ диверсификационных проектов следующими методами: структурной диагностикой и комплексной оценкой экономической эффективности проектов, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика диверсификационных проектов

№ проекта	Описание проекта	Реализуемые цели
1	Выпуск высокооктановых марок автомобильных бензинов, дизельного топлива с улучшенной экологической характеристикой, прирост продукции: котельного топлива и сжиженного газа	Стратегическая ориентация предприятия на захват рынка, повышение имиджа предприятия. Увеличение глубины переработки сырья, объема товарной продукции. Переход в будущем на новую технологию и новое оборудование. Максимизация прибыли, снижение условно-постоянных затрат предприятия.
2	Строительство комплекса	Стратегическая ориентация предприятия на захват

<sup>1</sup> ТЭК – топливно-энергетический комплекс

	производство полиэтилена на базе Астраханского газоперерабатывающего завода	рынка и получение репутации «поставщика исчерпывающего ассортимента». Более полное использование природного газа, содержащего необходимые компоненты (этан) в получении этилена, который является основным сырьем полиэтилена. Минимизация затрат в связи с использованием ряда объектов инфраструктуры (ремонтной службы, частично складского хозяйства). Снижение риска деятельности. Получение прибыли.
3	Строительство йодного опытно-промышленного завода	Стратегическая ориентация предприятия на захват рынка и получение репутации «поставщика исчерпывающего ассортимента». Снижение риска деятельности. Получение прибыли.

Структурная диагностика предусматривает построение нормативного динамического ряда экономических показателей в условиях топливно-энергетического комплекса. С этой целью использованы классические соотношения темпов роста отдельных экономических показателей, свидетельствующих об уровне экономической эффективности. Нормативный динамический ряд имеет следующий вид:

$$K_{zn} \langle K_{мз} \langle K_{сз} \langle K_{mn} \langle K_n,$$

где  $K_n$  – темпы роста прибыли;  $K_{mn}$  – темпы роста стоимости товарной продукции;  $K_{мз}$  – темпы роста прямых материальных затрат;  $K_{сз}$  – темпы роста себестоимости товарной продукции;  $K_{zn}$  – темпы роста трудовых затрат.

Распределение рангов соответствует степени важности величин экономических показателей.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена рассчитывается по формуле:

$$K = 1 - \frac{6 * S(d)^2}{n^3 - n},$$

где  $S(d)^2$  – сумма квадратов разностей рангов показателей в ряду;  $n$  – количество рангов в ряду.

Содержание и последовательность метода структурного исследования следующая: по каждому проекту вынесены экономические показатели: товарная продукция, себестоимость, материальные затраты, заработная плата и прибыль<sup>1</sup> (табл. 2).

На основании динамики изменения этих показателей построены динамические ряды ранговой корреляции (табл. 3), рассчитаны коэффициент Спирмена и его среднее значение (табл. 4).

Таблица 2

Проектные экономические показатели проекта №1

Тыс. руб.

Годы	Товарная продукция	Фонд заработной платы	Себестоимость продукции	Материальные затраты	Прибыль
2008	5302,8	62,7	4835,6	4102,2	467,2
2009	5301,38	62,71	4836,08	4102,61	465,3
2010	5301,96	62,72	4836,6	4103,02	465,4
2011	9328,3	71,5	6177,9	5013,07	3150,4

<sup>1</sup> Анализ проведен на примере проекта № 1. Экономические показатели проектов № 2 и № 3 исследованы аналогично. Проектные данные по экономическим показателям взяты из «Генеральной схемы развития «Астраханьгазпром» на период до 2020 г.» выполненной ОАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ»

2012	9329,05	71,51	6179,75	5013,6	3149,3
2013	9333,2	71,52	6181,6	5014,6	3151,6
2014	9337,36	71,53	6183,46	5015,6	3153,9
2015	9341,52	71,54	6185,32	5016,6	3156,2
2016	9345,5	71,55	6186,0	5017,6	3159,5
2017	9349,0	71,56	6187,0	5018,6	3162,0
2018	9353,15	71,57	6188,85	5019,6	3164,3
2019	9356,7	71,58	6190,1	5020,6	3166,6
2020	9360,75	71,59	6191,95	5021,6	3168,8
2021	9364,91	71,60	6193,81	5022,6	3171,1
2022	9369,68	71,61	6196,28	5023,6	3173,4
2023	9373,84	71,62	6198,14	5024,6	3175,7
2024	9378,0	71,63	6200,00	5025,6	3178,0
2025	9382,3	71,64	6202,0	5026,6	3180,3
2026	9625,82	71,65	6203,72	5027,6	3422,1

Таблица 3

## Динамика изменения экономических показателей предприятия проекта № 1

Годы	Товарная продукция ТП	Фонд заработной платы ФЗП	Себестоимость продукции СС	Материальные затраты МЗ	Прибыль П
Динамика изменения экономических показателей					
2009	99,97	100,01	100,01	100,01	99,59
2010	100,01	100,01	100,01	100,01	100,02
2011	175,94	114,0	127,76	122,18	676,92
2012	99,98	100,01	100,03	100,01	99,96
2013	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2014	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2015	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2016	100,04	100,01	100,01	100,02	100,10
2017	100,04	100,01	100,01	100,02	100,08
2018	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2019	100,04	100,01	100,02	100,02	100,07
2020	100,05	100,01	100,03	100,02	100,07
2021	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2022	100,05	100,01	100,04	100,02	100,07
2023	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2024	100,05	100,01	100,03	100,02	100,07
2025	100,04	100,01	100,03	100,02	100,07
2026	102,59	100,01	100,03	100,02	107,6

$$K_i = ((N + 1) / N) * 100,$$

где  $K_i$  – коэффициент темпов роста технико-экономических показателей;  $N+1$  – технико-экономический показатель последующего года;  $N$  – технико-экономический показатель предыдущего года.

Например,  $K_{ТП(2009)} = (5301,38 / 5302,8) * 100 = 99,97$ .

$$K_{ТП(2010)} = (5301,96 / 5301,38) * 100 = 100,01.$$

Таблица 4

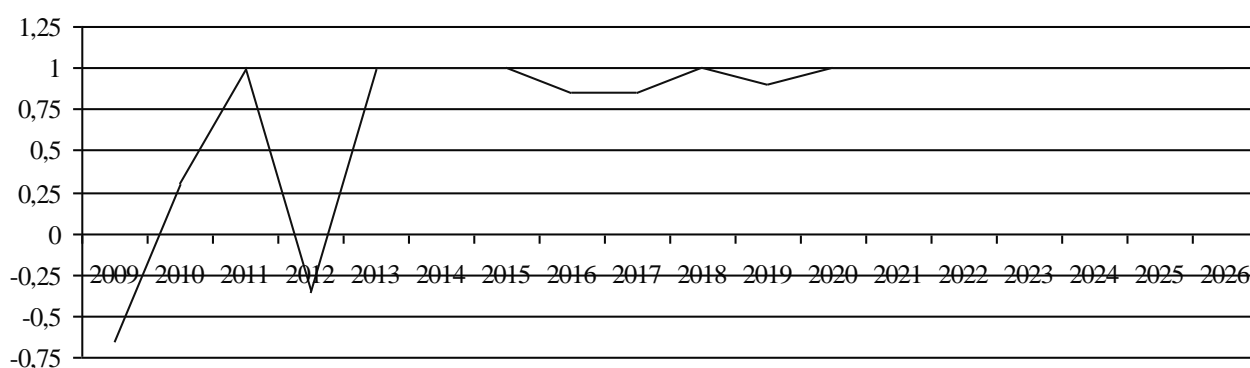
## Динамические ряды проекта диверсификации № 1

Период, лет	Динамические корреляционные ряды					Коэффициент корреляции Спирмена
	ТП	ФЗП	СС	МЗ	П	
2009	2	1	1	1	3	-0,65
2010	2	2	2	2	1	0,3
2011	2	5	3	4	1	1,0
2012	3	2	1	2	4	-0,35
2013	2	5	3	4	1	1,0
2014	2	5	3	4	1	1,0
2015	2	5	3	4	1	1,0
2016	2	4	4	3	1	0,85
2017	2	4	4	3	1	0,85
2018	2	5	3	4	1	1,0
2019	2	4	3	3	1	0,9
2020	2	5	3	4	1	1,0
2021	2	5	3	4	1	1,0
2022	2	5	3	4	1	1,0

Окончание табл. 4

Период, лет	Динамические корреляционные ряды					Коэффициент корреляции Спирмена
	ТП	ФЗП	СС	МЗ	П	
2023	2	5	3	4	1	1,0
2024	2	5	3	4	1	1,0
2025	2	5	3	4	1	1,0
2026	2	5	3	4	1	1,0
Среднее значение коэффициента Спирмена:						0,77

Используя значения коэффициента корреляции Спирмена, построим график (см. рисунок), отражающий динамику изменения данного показателя.



Динамика изменения коэффициента корреляции Спирмена проекта № 1

Наблюдаемое нами графическое изменение коэффициента корреляции можно интерпретировать следующим образом. Зигзагообразный вид кривой представляет резкое изменение коэффициента Спирмена за период с 2-го по 5-й годы реализации проекта и запланирован в результате осуществления мероприятий по реконструкции и расширению производства выпуска новых марок автомобильного бензина, дизельного и котельного топлив. Резкий ска-

чок значения коэффициента с  $-0,65$  до  $+0,3$  в 2010 году и падение до уровня  $-0,35$  в 2012 году показывает чувствительность данного показателя к незначительному снижению прибыли в 2009 году на  $0,4\%$  по сравнению с 2008 годом и на  $0,1\%$  в 2012 году по сравнению с 2011 годом. Это связано с недостаточно отлаженным выпуском новых нефтепродуктов. Ежегодный рост показателей с 2013 года основан на стабильном выпуске высокооктановых сортов бензина, увеличении в 2,3 раза производства очищенного дизельного и в 2,09 раз котельного топлив, увеличении в 1,5 раза выпуска сжиженного газа. Дальнейшее колебание коэффициента незначительно, так как проектный выпуск продукции налажен и ведет к увеличению показателей прибыли на  $8,58\%$  и объема товарной продукции на  $3,13\%$  в 2027 году по сравнению с 2013 годом.

Исследование экономических показателей проекта № 2 и № 3 проводилось таким же способом.

В итоге, анализ средних значений коэффициента Спирмена по трем проектам показал незначительное отклонение от нормативного корреляционного ряда проектов № 1 и № 3, соответственно на 23 и 16%, и весомое отклонение проекта № 2 на 77%.

Классификация проектов по величине среднего значения коэффициента корреляции, показанная в табл. 5, выявила высокое соответствие проектов № 1 и № 3 нормативному динамическому ряду и среднее соответствие проекта № 2.

Таким образом, данный анализ показал, что из трех проектов наиболее приоритетными являются № 1 и 3 и менее – проект № 2.

Таблица 5

Классификация проектов по величине среднего значения коэффициента корреляции Спирмена<sup>1</sup>

Степень соответствия нормативному динамическому ряду	Значение коэффициента Спирмена	Проект
Низкая	от -1 до 0,2	-
Средняя	от 0,2 до 0,4	2
Высокая	от 0,4 до 1,0	1,3

Для повышения достоверности данных результатов проведена комплексная оценка экономической эффективности, включающая помимо анализа инвестиционных показателей, специфические критерии, отражающие особенности диверсификации: синергию проекта, соответствие стратегии развития компании, срок окупаемости и долю заемного капитала. Данные критерии ранжируются по 100-балльной шкале (табл. 6).

Таблица 6

Критерии оценки эффективности диверсификационных проектов

Критерии	Оценка в баллах
<b>Дисконтированный срок окупаемости</b>	
Менее 1 года	40
Менее 3 лет	30
Менее 7 лет	15
Менее 10 лет	10
Более 10 лет	5
	$\Sigma=100$
<b>Доля заемного капитала</b>	
До 10%	50

<sup>1</sup> Разработано автором.



До 20%	20
До 30%	15
До 40%	10
До 50% и выше	5
	$\Sigma=100$
<b>Синергетический эффект от реализации проекта</b>	
Сильный	55
Значимый	35
Слабый	10
Отсутствует	0
	$\Sigma=100$
<b>Степень соответствия стратегическим задачам</b>	
Полностью	75
Значимо	20
Слабо	5
Не соответствует	0
	$\Sigma=100$

Итоговые показатели, отображенные в табл. 7, позволили принять окончательное управленческое решение в выборе из трех проектов наиболее эффективного.

Таким образом, комплексная оценка проектов по трем направлениям выявила явного лидера (проект № 1), обладающего самой высокой внутренней нормой доходности – 71% и максимальной суммой баллов по следующим критериям: сроку окупаемости, синергетическому эффекту от реализации проекта, степени соответствия стратегическим задачам предприятия.

Таблица 7

## Экономическая эффективность проектов

Наименование показателя	Данные/баллы
<b>Экономическая эффективность проекта № 1</b>	
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	12288,9
Внутренняя норма рентабельности, %	71,4
Срок окупаемости проекта, лет	3,5 /(15баллов )
Доля заемного капитала	50 баллов
Синергетический эффект от реализации проекта	55 баллов
Степень соответствия стратегическим задачам предприятия	75 баллов
Итого баллов:	195 баллов
<b>Экономическая эффективность проекта № 2</b>	
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	1146,0
Внутренняя норма рентабельности, %	13
Срок окупаемости проекта, лет	3,94 /(15 баллов)
Доля заемного капитала	10 баллов
Синергетический эффект от реализации проекта	35 баллов
Степень соответствия стратегическим задачам предприятия	75 баллов
Итого баллов:	135 баллов
<b>Экономическая эффективность проекта № 3</b>	
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	24715,08
Внутренняя норма рентабельности, %	29
Срок окупаемости проекта, лет	5,9 /(15 баллов)
Доля заемного капитала	20 баллов
Синергетический эффект от реализации проекта	0 баллов

Степень соответствия стратегическим задачам предприятия	20 баллов
Итого баллов:	55 баллов

Проект № 3 с высоким ЧДД, соответственно высокими капитальными вложениями, долгим сроком окупаемости, средней внутренней нормой рентабельности, но низким количеством баллов оказался менее перспективен, с точки зрения оценки критериев диверсификации производства.

Проект № 2, имея низкий ЧДД, внутреннюю норму рентабельности, но менее долгий срок окупаемости и значительное количество баллов, подчеркивающее значимый синергетический эффект, высокую степень соответствия стратегическим задачам предприятия, оказался наиболее перспективен, по сравнению с проектом № 3.

Таким образом, детальная экспертиза проектов позволила не только оценить их абсолютные показатели, но и исследовать качественные критерии, характерные только для диверсификационных проектов.

Проведенное научное исследование и его расчеты формируют комплексный подход к оценке и отбору диверсификационных проектов, который может иметь непосредственное практическое применение в управлении предприятиях ТЭК.

**Кордюченко Ангелина Ивановна –**

аспирант кафедры «Производственный менеджмент и организация предпринимательства»  
Астраханского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 06.06.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 331.104

**Т.В. Минеева**

### **РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Анализируется состояние малого предпринимательства, намечены шаги по развитию системы поддержки и инфраструктуры малого предпринимательства, показаны основные мероприятия и формы государственной поддержки. Имеются ссылки на соответствующие нормативно-правовые документы. Автором показаны перспективы развития инфраструктуры малого предпринимательства на территории Астраханской области, раскрыты роль и значение создания бизнес-инкубаторов и технопарков в регионе.*

**T.V. Minejeva**

### **STATE SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT OF SMALL BUSINESS SECTOR IN THE ASTRAKHAN REGION**

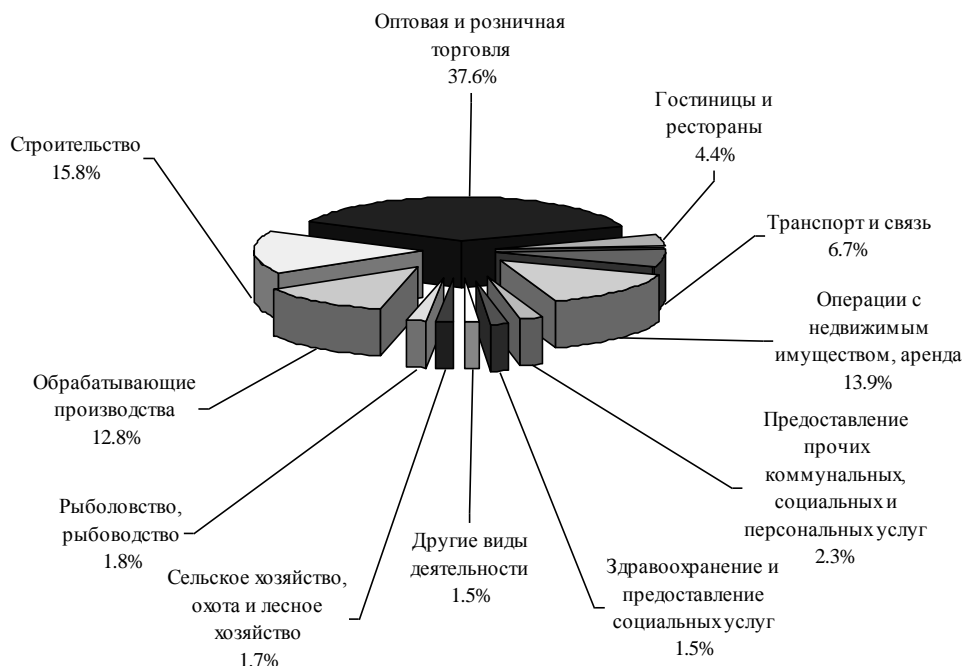
*The condition of the small business sector is analyzed in this article. The article demonstrates which steps should be done in the way of support of this sector what infrastructure should be developed. The article also focuses on the major action to be done by the state in the way of support of this sector. The authors show the perspectives of the development of the infrastructure of the small business within the territory of the Astrakhan Region. The importance of the business incubators and techno parks are shown here as well.*

Масштабы Российской Федерации и исторически сложившийся индустриальный тип развития страны позволяют предположить, что малый бизнес может выступать связующим звеном, обеспечивающим обслуживание крупных промышленных предприятий, высокую занятость населения и его материальное благополучие. Поэтому одним из решающих условий углубления проводимых экономических реформ, способных добиться эффективного функционирования производства и сферы услуг, является развитие малого предпринимательства. Этот сектор экономики стимулирует конкуренцию, способен быстро реагировать на любые изменения рыночной конъюнктуры, заполнять образующиеся ниши в потребительской сфере и расширять социальную базу проводимых реформ.

Малые предприятия Астраханской области, составляющие около 60% от общего количества предприятий области, успешно работают в 22 отраслях экономики области (рис. 1). В 2006 году на территории области действовало 4959 малых предприятий, количество за истекший год увеличилось на 1023 единицы (26,0%). Значительный прирост числа малых предприятий наблюдался в оптовой и розничной торговле; ремонте автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования – на 607 (48,2%), операциях с недвижимым имуществом, аренде и предоставлении услуг – на 150 (27,9%), гостиницах и ресторанах – на 132 (в 2,6 раза), строительстве – на 43 (5,8%), обрабатывающих производствах – на 30 (4,9%). Уменьшилось количество малых предприятий лишь в сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве на 2,3%.

Наиболее привлекательной для малого бизнеса по-прежнему является сфера оптовой и розничной торговли; ремонта автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (1866 предприятий или 37,6% от общего количества малых предприятий области). Значительное развитие малые предприятия получили в строительстве (784 или 15,8%), операциях с недвижимым имуществом, аренде и предоставлении услуг (688 или 13,9%), транспорте и связи (332 или 6,7%). В промышленных видах деятельности наибольшее количество малых предприятий приходится на обрабатывающие производства (12,8% от общего числа малых предприятий области и 94,5% от общего количества малых предприятий промышленных производств)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Официальный сайт министерства экономического развития Астраханской области, [www.economy.astrobl.ru](http://www.economy.astrobl.ru).



Распределение числа субъектов малого предпринимательства по видам экономической деятельности в 2006 году

Существенный акцент в работе правительства Астраханской области сделан на формирование государственной инфраструктуры поддержки и развития малого предпринимательства, направленной на устранение административных барьеров, организацию консультативной и образовательной работы с субъектами малого предпринимательства.

В целях устранения административных барьеров при прохождении согласовательных процедур документации заявителей и сокращения сроков принятия решений по их обращениям внедрена система «одного окна», результатом деятельности которой стало существенное сокращение сроков прохождения документов, с 3-6 месяцев до 2-3 недель.

Для обеспечения ускоренного социально-экономического развития Астраханской области и реализации экономической программы «возрождения» создан совет по предпринимательству при губернаторе Астраханской области [1], в состав которого вошли представители отраслевых групп-кластеров (туризм, общественное питание, торговля, агропромышленный сектор, издательская деятельность и т.д.), совокупность решений которого оказывает существенное содействие реализации программы экономического развития региона.

В регионе действует отраслевая целевая программа «Государственная поддержка малого предпринимательства в Астраханской области на 2006-2008 годы» [2], которая предусматривает адресную имущественную и финансовую поддержку предпринимателей и малых предприятий и включает в себя:

- долевое финансирование целевых расходов, связанных с реализацией инвестиционных проектов субъектов малого предпринимательства;
- долевое финансирование целевых расходов, связанных с государственной поддержкой субъектов малого предпринимательства, производящих товары, услуги, предназначенные для экспорта;
- создание бизнес-инкубаторов, технопарков и бизнес-центров.

С 2007 года введен в действие упрощенный порядок получения государственной поддержки [3] в виде субсидирования:

- процентной ставки по банковским кредитам, привлеченным в кредитных организациях субъектами малого предпринимательства для реализации инвестиционных проектов;
- части лизинговых платежей по договорам финансовой аренды (лизинга), заключенным субъектами малого предпринимательства для реализации инвестиционных проектов.

В целях реализации механизма субсидирования части затрат субъектов малого предпринимательства, связанных с выплатой вознаграждения по гарантиям и поручительствам при недостаточном залоговом обеспечении прорабатывается вопрос создания Гарантийного фонда за счет средств федерального, областного бюджетов, а также внебюджетных источников.

Объем привлеченных инвестиций в экономику региона субъектов малого предпринимательства, которым оказана государственная поддержка в 2006 году, составил 142,3 млн. рублей, создано 115 новых рабочих мест. На один рубль оказанной поддержки привлечено инвестиций в экономику региона 6 рублей, а бюджетная эффективность достигла 194%.

В ходе участия Астраханской области в федеральном конкурсе одним из победителей стал проект «Развитие экспортно-ориентированного бизнеса». Всего по данному мероприятию за истекший год поддержано 20 субъектов малого предпринимательства.

По результатам конкурса Минэкономразвития РФ по отбору субъектов РФ для предоставления в 2005-2006 гг. субсидий бюджетам субъектов РФ Астраханская область получила субсидию на софинансирование из федерального бюджета проектов создания бизнес-инкубаторов в г. Камызяке и г. Астрахани, планируется создание бизнес-инкубаторов в г. Харабали и г. Ахтубинске.

Открытие в регионе бизнес-инкубаторов позволит субъектам малого предпринимательства:

- получить помещение для организации своего бизнеса на доступных условиях и, используя предоставляемые консультации, применять научные подходы к ведению бизнеса, сформировать более эффективный и прибыльный бизнес;
- реализовать социально значимые для региона программы с минимальными затратами и на высоком профессиональном уровне;
- реализовать проекты, которые откладывались из-за нехватки специалистов по ключевым направлениям, в т.ч. путем аккумулирования квалифицированных специалистов в одной команде на базе бизнес-инкубаторов.

Реализация проекта по созданию бизнес-инкубаторов будет способствовать конструктивному диалогу представителей бизнеса и власти, созданию новых субъектов малого предпринимательства и, как следствие, созданию новых рабочих мест, расширению налогооблагаемой базы.

Правительством Астраханской области формируется основа развития инновационной экономики. Предпосылками успешности создания такой системы является высокий научно-интеллектуальный потенциал области, который представлен высшими учебными заведениями и научно-исследовательскими институтами региона.

Для организации промышленного внедрения научно-инновационных разработок в области действуют технопарк Астраханского государственного университета по нанотехнологиям, технопарк в Астраханском государственном техническом университете по аквакультуре. На базе государственного предприятия «Октябрь» создается инновационный технопарк общей площадью 30 тыс. квадратных метров для размещения лабораторий, экспериментальных мастерских и офисов [4]. Избранная стратегия инновационного развития региона отвечает требованиям глобализации мировой экономики.

Так, в послании Президента РФ Федеральному собранию (от 26.04.2007) сформулирована «задача формирования научно-технологического потенциала, адекватного современным вызовам мирового технологического развития», подчеркнута «необходимость создания эффективной системы исследований и разработок в области нанотехнологий,

основанных на атомном и молекулярном конструировании. Нанотехнологии уже становятся ключевым направлением развития современной промышленности и науки. На их основе в долгосрочной перспективе мы в состоянии обеспечить повышение качества жизни наших людей, национальную безопасность и поддержание высоких темпов экономического роста. Оценки ученых говорят о том, что изделия с применением нанотехнологий войдут в жизнь каждого, без преувеличения, человека, позволят сэкономить невозобновляемые природные ресурсы» [5].

Создание бизнес-инкубаторов и технопарков имеет не только большое экономическое, но и социальное значение. Они являются недостающим звеном в цепочке «идея – создание продукта – внедрение», которое позволит в короткие сроки развить высокотехнологичные идеи, воплощая их в реализованный продукт и доводя его до потребителей. Технопарки позволят сформировать инновационную среду, благоприятную для ускоренной коммерциализации результатов научных исследований, превращения последних в товары и услуги, воспринимаемые рынком, что в конечном итоге обеспечит более высокие и устойчивые темпы экономического роста Астраханской области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление губернатора Астраханской области от 13.03.2006 № 98 «О создании совета по предпринимательству при губернаторе Астраханской области».
2. Постановление правительства Астраханской области от 14.10.2005 № 378-П «Об отраслевой целевой программе «Государственная поддержка малого предпринимательства в Астраханской области на 2006-2008 годы».
3. Постановление губернатора Астраханской области от 20.03.2007 № 87-П «Об утверждении положения об оказании государственной поддержки субъектам малого предпринимательства в форме бюджетной субсидии».
4. Распоряжение правительства Астраханской области от 25.10.2006 № 477-Пр «О мерах по созданию регионального технопарка».
5. Официальный сайт Президента России. [www.kremlin.ru](http://www.kremlin.ru)

**Минеева Татьяна Вадимовна –**

заведующая сектором проектного сопровождения  
отдела развития предпринимательской деятельности  
министерства экономического развития Астраханской области

*Статья поступила в редакцию 06.06.07, принята к опубликованию 03.07.07*

УДК 658.27

**Е.В. Олейникова**

#### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ СФЕРЫ РЕМОНТА НА ОСНОВЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АУТСОРСИНГА**

*Развитие сферы услуг становится заметным явлением в экономической жизни общества. В статье рассматриваются подходы к созданию и развитию сферы ремонта оборудования на промышленных предприятиях на основе современной его формы – аутсорсинга, организуемого в рамках предприятий-изготовителей оборудования.*

---

E.V. Oleynikova

## CONCEPTUAL APPROACH IN THE SPHERE OF REPAIR BY OUTSOURCING POSSIBILITY

*The development of the sphere of the services of the market is becoming rather important in the life of modern society. The article studies the approaches in creation and development of the sphere of equipment service at industrial enterprises on the base of its modern forms – outsourcing, which can be organized by the producers of equipments.*

Развитие процессов обслуживания и потребностей в обслуживании в историческом аспекте есть результат эволюции материально-вещественного производства. Это вытекает из единства естественно-материального мира, закономерного характера перемен в производственной жизни и развития личности. По мере усложнения производственных процессов и стандартов функционирования крупного машинного производства, диктующих «общий стандарт» в производственной сфере, неизбежно проявляется значимость обслуживания, формирование более благоприятных условий для её развития. Усложнение средств труда, высокая автоматизация и механизация производства, требования организованного и бесперебойного снабжения рабочих мест всем необходимым привели к изменению соотношения между отдельными группами рабочих разных профессий и содержания их труда, усилению значимости производственного обслуживания и способствовали тому, что с середины 70-х годов во всем мире идет пятый этап развития производства, ориентированный на развитие сервисизации общества и сферы производства услуг [6, 4]. Одновременно обострение конкуренции вынуждает производителей искать новые формы совершенствования организации и управления предприятием с целью уменьшения издержек производства, сокращения избыточных внутрифирменных работ, роста производительности труда работников путем улучшения их профессиональной подготовки, в том числе и за счет совершенствования процессов обслуживания. Предприятия, работающие без должной адаптации своей инфраструктуры и системы организации производства к требованиям рынка, не выдерживают условий конкуренции и прекращают деятельность. Это в первую очередь касается ремонтного обслуживания, т.к. ремонтная деятельность напрямую связана с основным производством и нацелена на достижение экономических целей предприятия. Этой функции производственной инфраструктуры нужны новые подходы и формы организации, направленные, с одной стороны, на поддержание требуемых эксплуатационных характеристик производственного оборудования, имеющего существенный физический и моральный износ и, с другой стороны, способные ликвидировать традиционное отставание технического оснащения ремонтных служб предприятия от уровня основного производства.

Основываясь на определении, что «реинжиниринг предприятия определяется как процесс радикальной перестройки, перепроектирования и внедрения организационно-технологических и структурных изменений производственных и обслуживающих их систем с целью значительного улучшения главных показателей деятельности предприятия» [3], практические действия по реинжинирингу ремонтной деятельности следует рассматривать как комплекс действий, учитывающих развитие сферы услуг, учет достижений и опыта развития ремонтных процессов, возможности средств технического диагностирования и информационных технологий. Содержание реинжиниринга в системе ремонтного обслуживания вытекает из необходимости обеспечения долгосрочного устойчивого адаптивного развития предприятия, основанного на системных преобразованиях всего предприятия, учитывающего приоритеты развития предприятия и обеспечивающего стратегию его развития и стратегию развития элементов производственной инфраструктуры (см. рис. 1). При этом цели деятельности ремонтной службы определяются сущностью ремонтного процесса и формируются на основе закономерностей и принципов развития техники. Одновременно реинжиниринг должен учитывать наличие различных форм собствен-

ности и видов деятельности, изменение состава инфраструктурных функций. Соответственно признаками, лежащими в основе новой системы организации ремонтного обслуживания, должны стать системность, комплексность развития ремонтной деятельности, адаптация к рынку, рациональность организации, качество обслуживания и инновационность обслуживающих процессов (см. таблицу). С учетом этих признаков, подходы к развитию ремонтного обслуживания должны объединять в своем составе методы и формы построения системы производственного обслуживания, основанные на функциях современного оборудования, технологиях маркетинга, коммерциализации услуг. Это позволяет предложить концепцию построения модели ремонтной деятельности на предприятии, отвечающей признакам ее развития, основанной на механизмах аутсорсинга и возможности покупки ремонтных услуг на стороне.

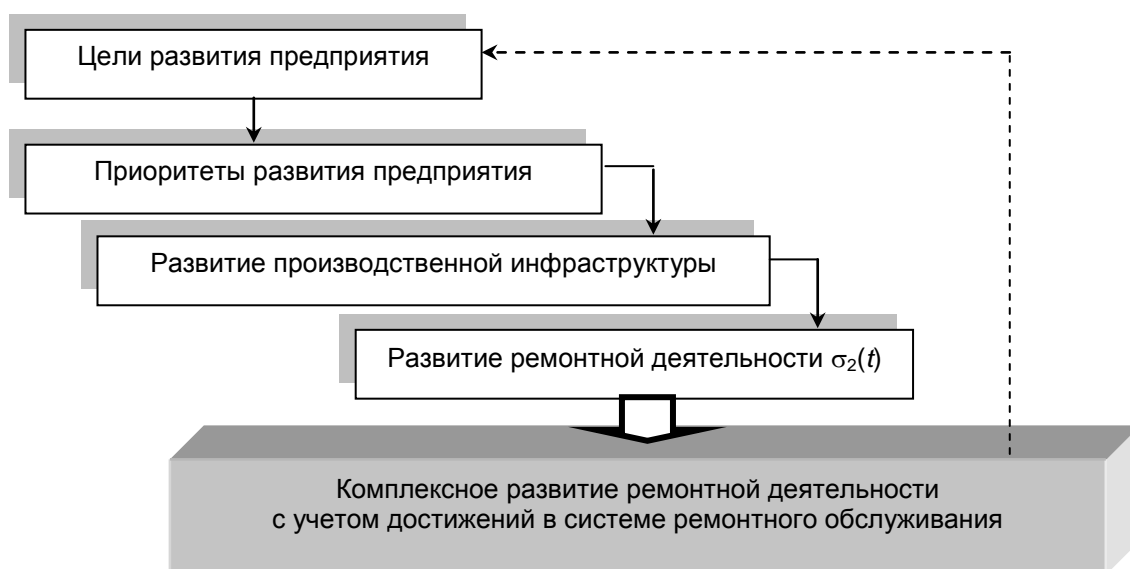


Рис. 1. Место ремонтной деятельности в общей системе целей предприятия

Поскольку на отечественных предприятиях отсутствует практика создания и использования аутсорсинга, целесообразно рассмотреть его особенности, а также основные подходы и условия его использования. Экономическая сущность аутсорсинга состоит в системе отношений, возникающих при передаче предприятием-клиентом некоторых видов своей деятельности специализированным фирмам на основе долгосрочных договоров комплексного абонементного обслуживания. Аутсорсинг стал заметным явлением в сфере управления производством с 1989 года, когда фирма Kodak наняла на значительный объем работ сторонние организации для приобретения, запуска и поддержания систем обработки информации [2, 5].

Системные признаки развития ремонтной деятельности на предприятии

Признак	Содержание признака
Системность	Использование основных положений теории систем и системного подхода
Комплексность развития	Формирование стратегии развития предприятия и стратегии развития элементов производственной инфраструктуры
Адаптация к рынку	Учет уровня и характера взаимодействия всех элементов производственных систем и взаимоотношений с внешней средой
Рациональность организации	Делегирование полномочий разработчикам оборудования для совершенствования методов контроля и средств диа-



	гностирования фактического состояния оборудования
Качество обслуживания	Точность, своевременность и аккуратность выполнения требуемых функций в условиях меняющихся задач и условий производства
Восприимчивость к инновациям (реинжиниринговый подход)	Возможность восприятия новых условий функционирования без потери своих функций и свойств и способность к развитию

Для большинства российских предприятий, когда происходит, с одной стороны, дифференциация производства, т.е. дробление производственных процессов и разделение труда на отдельные все более специализированные производства, а с другой – их объединение в единый процесс, аутсорсинг в виде функций и аутсорсинг бизнес-процессов можно рассматривать как переход от традиционного менеджмента к децентрализованной его форме, опирающейся на автономные системы коммуникаций бизнес-единиц, основанные на широком использовании среднего и малого бизнеса. Обращение к аутсорсингу напрямую связано с ростом значимости специализации, развитием предпринимательской деятельности в сфере услуг, расширением их видов и повышением требований к качеству услуг. Использование механизма аутсорсинга помогает решить многие застаревшие проблемы предприятий, определить текущие и стратегические цели и сосредоточить внимание на решении ключевых направлений деятельности. Любое предприятие представляет собой целенаправленную производственную систему, имеющую два вида целей – экономические и неэкономические, которые тесно между собой связаны и в определенной степени взаимообусловлены. Под экономическими целями понимается стремление предприятия увеличить прибыль и оборот капитала. Неэкономические цели проявляются только внешне. Они косвенно влияют на экономические цели и полностью зависят от результатов прошлого труда, определяют престиж фирм, возможности увеличения творческого потенциала сотрудников, влияют на рыночные цены и конъюнктуру спроса. Выживание в условиях конкуренции требует эволюции в организации производства и реорганизации производственных структур, в связи с чем необходим переход от иерархичных негибких предприятий к небольшим и гибким, мобильным в определенных функциях. Это вытекает из условий того, что производственная инфраструктура, обеспечивающая организацию производства и координацию имеющихся ресурсов для достижения поставленных целей, может изменять свой состав, так как значительную часть элементов инфраструктуры предприятия можно и нужно заменить покупкой услуг у сторонних специализированных предприятий.

Реинжиниринг в области ремонтного обслуживания заключается в осознании несоответствия существующей организации ремонта изменившимся условиям и требованиям производства, в понимании того, что важнейшее направление стратегического развития ремонтной деятельности основывается на переориентации принципов хозяйственной деятельности с учетом тенденций развития рынка услуг и возможностей аутсорсинга. Проведение ремонтного обслуживания предлагается осуществлять через механизм аутсорсинга.

Базовая концепция исходит из взаимообусловленности внутренних и внешних интересов организации и интересов и потребностей всех участников хозяйственной деятельности. Активная замена собственного производственно-инфраструктурного хозяйства предприятий покупкой услуг со стороны должна осуществляться там, где это экономически целесообразно. При этом поиск наиболее рационального соотношения между собственными и сторонними услугами должен стать неперенным правилом внутрифирменной организации производственной инфраструктуры. Подобный подход вполне уместен для сегодняшнего состояния промышленных предприятий, т.к. дает возможность выявить степень соответствия отдельных элементов производственной инфраструктуры потребностям хозяйствующих субъектов, уточнить направления их развития, выявить требуемый размер финансирования, в конечном итоге вывести производственную инфраструктуру из запаздывающего типа её развития, характерного для большинства промышленных предприятий. Любой аутсорсинг позво-

ляет переложить на внешнего исполнителя выполнение нужных и важных, но не профильных для данного предприятия работ по поддержанию характеристик оборудования на требуемом уровне, сосредоточив основное внимание на решении ключевых процессов и стратегических задач своего производства (см. рис. 2).

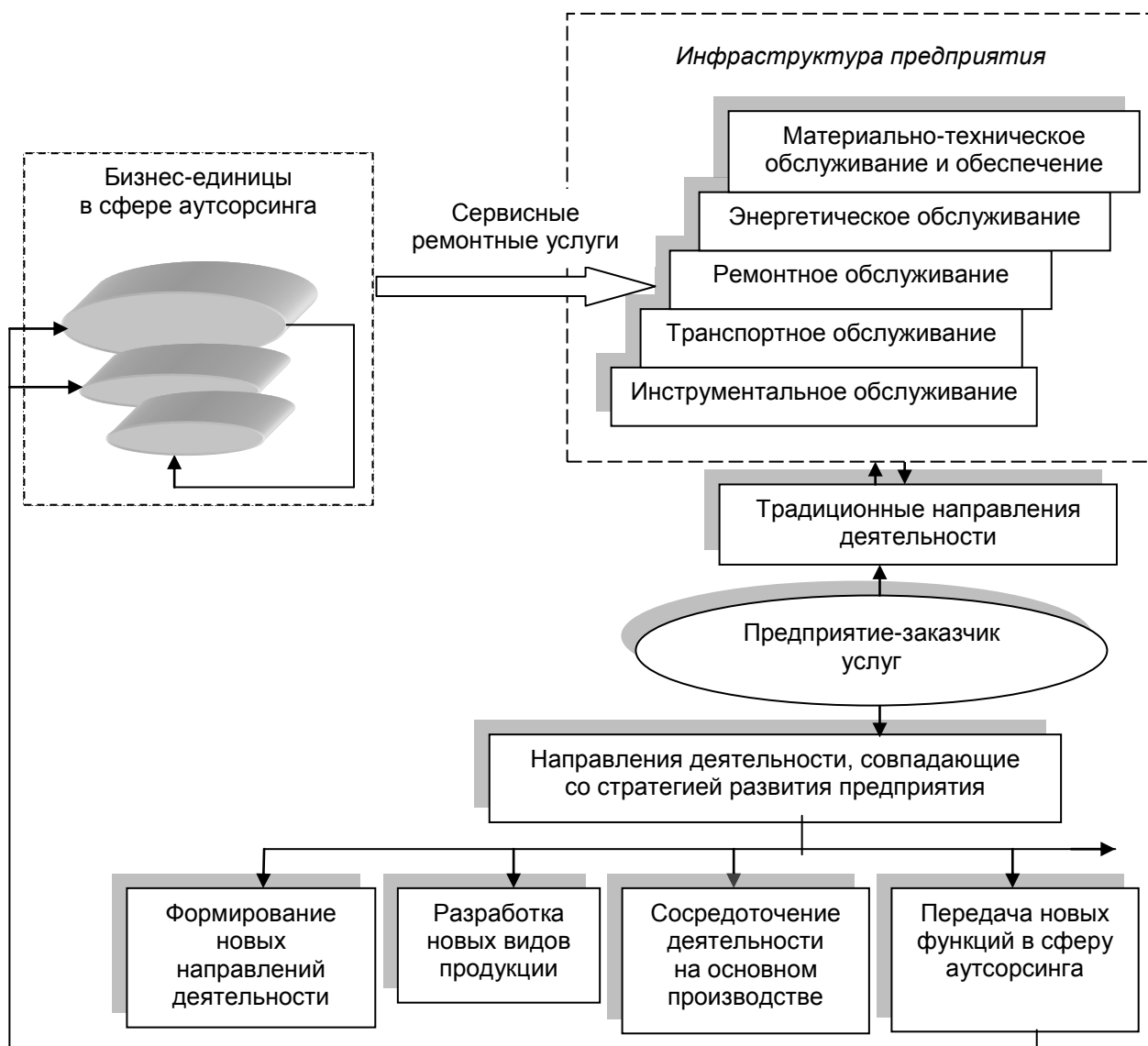


Рис. 2. Общая схема встраивания аутсорсинга в деятельность предприятия-клиента

этому желательно, чтобы он выполнялся высококвалифицированными специалистами, хорошо знакомыми с конструктивно-технологическими особенностями обслуживаемого ими оборудования.

Если учесть, что одними из основных причин, по которым отечественные станки с ЧПУ теряют свою конкурентоспособность, являются их недостаточная надежность и отсутствие качественного программного обеспечения в эксплуатации этого оборудования [1], а содержание собственных подразделений, специализирующихся на системной интеграции информации о техническом состоянии оборудования, является ёмкой функцией, можно аутсорсинг рассматривать как форму передоверения функций обеспечения эксплуатационной надежности и разработки программного обеспечения специалистам в этих сферах деятельности. В этом случае аутсорсинг может помочь действующим предприятиям в разработке программных продуктов для средств диагностирования, встроенных в станочные модули, и на

их основе организовать процедуру контроля качества эксплуатационных характеристик, разработать систему ремонтного обслуживания с учетом особенностей каждой единицы оборудования и многое другое с учетом пожеланий заказчика, условий производства и возможностей оборудования. Такое развитие аутсорсинга на основе создания самостоятельных сервисных центров на базе предприятий-изготовителей можно рассматривать как диверсификацию производства в виде современного направления развития фирменного ремонта, основной целью которого является удовлетворение потребностей клиентов в ремонтных услугах.

Одновременно его следует рассматривать как способ постоянных связей с потребителями своей продукции, позволяющий совершенствовать виды послепродажного обслуживания и регулировать свою маркетинговую политику.

Было бы ошибкой считать, что любое предприятие может создать полноценную систему сервиса и с успехом её эксплуатировать. Организация аутсорсинга без соблюдения определенных условий может не только не увенчаться успехом, но и негативно сказаться на функционировании головного предприятия, т.к. потребует определенных затрат времени и средств и привлечения квалифицированных кадров. В связи с этим важно определить необходимые и достаточные условия, определяющие рациональность построения такой системы для предприятий, занятых выпуском продукции станкостроения (см. рис. 3). Одновременно при создании службы аутсорсинга производители оборудования должны четко сформулировать характерные свойства таких центров, подлежащие учету при их создании, требования к процессу деятельности таких центров и требования к результату деятельности. При соблюдении данных условий руководство предприятия может принять решение о создании системы сервиса, соответствующей его возможностям. В этом случае возникает задача из двух частей. Первая – определение настоящих и будущих возможностей предприятия, в том числе детерминируемых динамикой внешней среды и его потенциала, которые можно использовать для формирования и дальнейшего развития сервисной деятельности через механизм аутсорсинга. Вторая – определение показателей оценки уровня эффективности функционирования сервисного центра. Первая часть задачи заключается в определении текущего и возможного в будущем уровня ресурсного потенциала предприятия. При этом важными моментами являются учет и интенсификация факторов, формируемых за счет аутсорсинга. К ним относятся такие показатели, как расширение клиентской базы за счет развития видов послепродажного и послепродажного обслуживания и повышения качества обслуживания. Вторая часть задачи на основании первой состоит в выявлении максимально возможной эффективности, получаемой изготовителем оборудования при создании сервисных центров при условии полной реализации функций аутсорсинга и задач, поставленных предприятием при создании таких бизнес-единиц. Здесь условием получения эффективности могут являться подходы и технологии ремонтного обслуживания, разработанные специалистами сервисного обслуживания индивидуально для отдельных единиц оборудования на основе анализа статистической информации, получаемой при помощи средств технического диагностирования, имеющихся или специально разработанных.

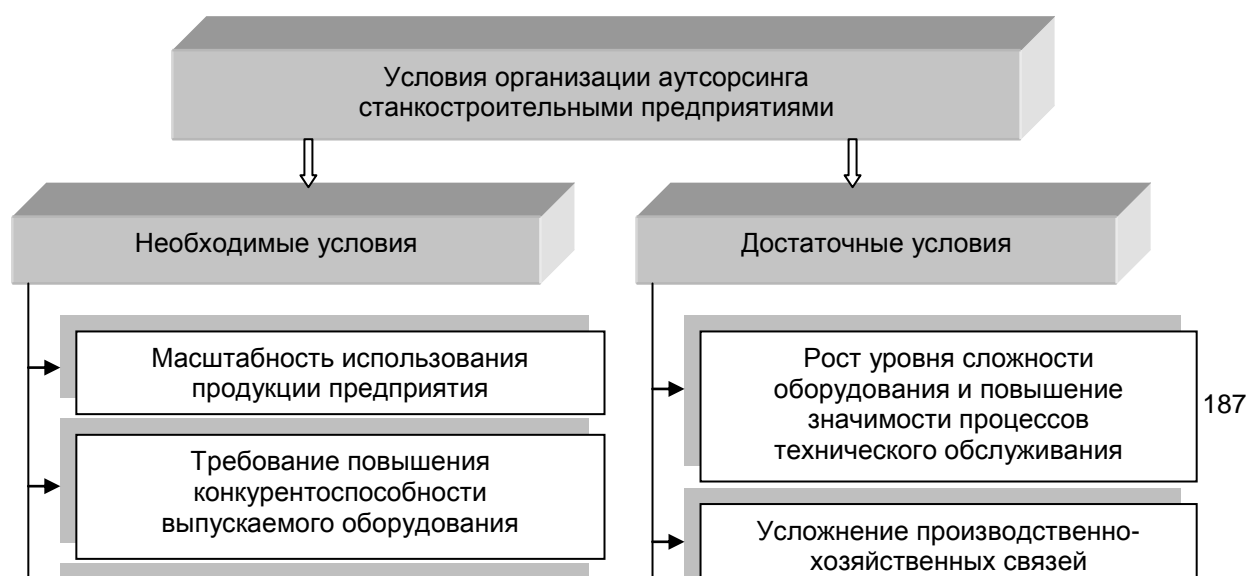


Рис. 3. Мотивация создания бизнес-единиц аутсорсинга в сфере ремонта

Правильная организация работы по систематическому сбору и учету такой информации об отказах и неполадках в работе оборудования через каналы сервисных центров может служить базой для выявления и устранения причин отказов и разработки новых моделей под условия производства конкретного клиента-заказчика. В любом случае, независимо от того, какие цели ставит перед собой предприятие, организующее систему аутсорсинга, обязательно уделить внимание вопросам, лежащим на поверхности: этапность создания аутсорсинга, сбалансированность ресурсов, координация и планирование работ. Качество и глубина рассмотрения этих вопросов неразрывно связаны с перспективностью развития аутсорсинга, позволяющего рассматривать его целесообразность с учетом имеющегося научно-технического потенциала у разработчиков оборудования на сравнительно больших промежутках времени, не меньших, чем длительность цикла «исследование – производство – внедрение». При этом приоритет должен отдаваться вопросам, относящимся к результату деятельности, т.к. в них в значительной степени заложены все остальные. Именно результаты ремонтного обслуживания через форму аутсорсинга должны определять вид и структуру таких центров, определять механизм финансирования, функции и формировать их задачи на будущее.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бржозовский Б.М. Обеспечение устойчивого функционирования прецизионных станочных модулей / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатьев, В.В. Мартынов; под ред. Б.М. Бржозовского. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1990. 120 с.
2. Каледжян С.О. Аутсорсинг и делегирование полномочий в деятельности компаний / С.О. Каледжян. М.: Дело, 2003. 272 с.
3. Оголёва Л.Н. Реинжиниринг производства: учеб. пособие / Л.Н. Оголёва, Е.В. Чернецова, В.М. Радиковский; под ред. Л.Н. Оголёвой. М.: КНОРУС, 2005. 304 с.
4. Селезнев А.З. Нематериальное производство и экономический рост / А.З. Селезнев. М.: Наука, 2001. 294 с.
5. Спарроу Э. Успешный IT-аутсорсинг / Э. Спарроу; пер. с англ. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. 288 с.
6. Челенков А.П. Маркетинг услуг / А.П. Челенков // Маркетинг. М.: Центр маркетинговых исследований и менеджмента, 2001. Спец. выпуск № 10. 128 с.

**Олейникова Елена Васильевна** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 09.04.07, принята к опубликованию 19.06.07*

## СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

---

УДК 316. 89:61

**Г.Р. Алабердеева**

### ЭВТАНАЗИЯ КАК МЕДИКО-СОЦИАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА

*Эвтаназия рассматривается как медико-социальная проблема. Поднимается вопрос: этично ли для врача согласие на осуществление эвтаназии? Автор убеждён, что запрещение эвтаназии (т.е. убийства) является попыткой защитить врача от зла и имеет не только практическое, но и символическое значение – для сохранения социального статуса медицины. По мнению автора, легализация эвтаназии может нанести вред медицинской профессии в частности и обществу в целом, и потому не может быть оправдана.*

**G.P. Alaberdejeva**

### EUTHANASIA AS A MEDICO-SOCIAL PROBLEM

*Euthanasia is taken up as a medical and social problem in this article. It raises a question if it is ethic for doctors to admit euthanasia. The author is convinced that the prohibition of euthanasia (or murder) is an attempt to protect a doctor from a crime and it has not only a practical but also a symbolic significance for maintaining a social status of medicine. According to the article legalizing of euthanasia can damage a profession of physician and a society in whole. That's why it can not be justified.*

В конце XX века человечество столкнулось с принципиально новыми проблемами, порождёнными бурным развитием науки и общества и неготовностью людей к их морально-этическому решению. В 70-х годах прошлого века в Соединённых Штатах Америки сформировалась новая философия, пытающаяся найти и обосновать моральные стандарты по отношению ко всему феномену жизни на планете. Речь идёт о «праве на смерть» и эвтаназии, критериях жизни и «лёгкой смерти».

Во всём цивилизованном мире развернулись острые дискуссии о праве человека на смерть, о допустимости легализации умерщвления больных.

Вопросы эвтаназии становятся частью культуры современного человека. Перечислим некоторые из них. Необходимо ли бороться за жизнь? Эвтаназия – это милосердие или грех?

Может ли убийство быть моральным? Кто должен осуществлять эвтаназию? Есть ли альтернатива эвтаназии?

Проблема эвтаназии обсуждается и является предметом спора и в социологии, и в психологии, и в юриспруденции, и в философии, и, наконец, в медицине.

Со времен Гиппократа и до наших дней традиционная врачебная этика включает в себя запрет: «Я никому, даже просящему об этом, не дам вызывающее смерть лекарство, и также не посоветую это». С недавнего времени, однако, у врачей всё чаще и чаще появляется готовность прибегнуть к этой практике, по крайней мере, тогда, когда пациент сам просит о смерти. Как обществу следует относиться к этой тенденции? Как к освобождению от устаревших запретов или как к некоей вседозволенности, которая одновременно неверна с моральной точки зрения и опасна для нашего общества на практике?

В медицинском плане утолить боль можно всегда. Развитие анальгетической фармакологии, лучшее понимание эффектов анальгезии и оптимальных условий её использования способствуют тому, что врач в наши дни более оснащён препаратами и владеет широким спектром методов работы в этой области. Часто боль, «стойкая к обезболиванию», возникает вследствие изначально неправильного болеутоления и недостаточной дозировки. Утолить боль фармакологическим методом возможно, но одного этого недостаточно.

Драма большинства пациентов, находящихся в терминальном состоянии, носит, в основном, социально-психологический характер: они чувствуют себя покинутыми не только врачом, а часто и родственниками. И как раз в такой момент приходит мысль об эвтаназии, просьба о которой, по своей сути, есть крик о помощи.

Но сегодня находятся такие врачи, которые используют анальгетики в огромных дозах для того, чтобы под прикрытием обезбоживания произвести настоящую эвтаназию. Более того, известны случаи (надо признать, что они пока редки), когда врачи формируют у больного в терминальном состоянии мнение об эвтаназии как о единственно верном решении. Они оказывают психологическое давление, пользуясь своим авторитетом и тем, что, зачастую, врач – единственный, кому в данный момент вообще можно доверять. Как правило, такой «уговор» – это тайна двоих: пациента и врача. Когда же пациента не станет, врач продолжает свою практику, и наказания не последует, так как единственный свидетель, являясь ещё и самоубийцей, уже никогда ничего никому не скажет.

Общественное мнение об отношении к эвтаназии и в России, и в странах ближнего зарубежья за последние 10-15 лет претерпело значительные изменения. Убежденных сторонников эвтаназии среди врачей, к сожалению, становится всё больше. Об этом свидетельствуют последние социологические исследования. Например, в столице Казахстана Астане было проведено социологическое исследование, целью которого было изучение мнений врачей об эвтаназии. Среди опрошенных – практикующие врачи, преподаватели Медицинской академии, сотрудники Министерства здравоохранения, фельдшеры и медицинские сёстры. Возрастной состав респондентов следующий: медицинские работники до 29 лет составили 52,6%, в возрасте 30-39 лет – 21,7%, 40-49 лет – 15,5%, 50 лет и старше – 10,2%. Анализ анкет показал, что 42,5% врачей поддерживают эвтаназию, отвергают 37,6%, затрудняются с ответом – 19,9%. На вопрос «Смогли бы вы собственноручно прекратить жизнь безнадежно больного?» 18,5% врачей ответили «да», 54,1% – нет и 27,4% – затруднились с ответом [1]. Таким образом, становится ясно, что большинством врачей эвтаназия одобряется, но исполнять её, по их мнению, должен кто-то другой. Может быть, палач?

Известнейший отечественный юрист А. Кони, практиковавший до революции и обращавшийся к исследованию разных проблем, имевших социальное и правовое значение, считал возможным допустить эвтаназию в медицинскую практику, правда при наличии и строгом соблюдении следующих условий:

- сознательные и устойчивые просьбы больного;
- невозможность облегчить страдания больного известными средствами;

– точная доказанность невозможности спасти жизнь больного и единогласное коллегиальное решение врачей об этом;

– предварительное уведомление органов прокуратуры [2].

А. Кони в одном из своих выступлений называл типы самоубийств, «понятных с нравственной точки зрения». Он пишет: «Сюда же можно отнести редкие самоубийства, совершаемые в состоянии тяжкой неизлечимой болезни, мучительной для окружающих, лежащей на них тяжким бременем, истощающим их трудовые и душевные силы. Тут руководящим мотивом является сознательный альтруизм» [3]. Однако, в своей статье «Самоубийство в законе и жизни», А. Кони противоречит себе: «Осуществление желания «уйти» идёт вразрез с естественным чувством самосохранения...» [4].

Если противники эвтаназии проиграют борьбу сторонникам эвтаназии, то в России могут наступить времена, когда, как в современной Бельгии, в аптеках будут продаваться наборы для эвтаназии – одноразовый шприц с ядом. В апреле 2005 года в этой стране в продаже появились эти наборы. Стоимость такого набора в пластиковом контейнере составляет 60 евро. Продажа «наборов искусственной смерти» должна облегчить подготовку к процедуре эвтаназии семейным врачам, которые, согласно официальной статистике, в 40% случаев проводят эвтаназию на дому у пациента. С каждым годом жертв эвтаназии всё больше и больше... Увеличивается и количество судебных разбирательств, связанных с эвтаназией, так как становятся известны случаи откровенных убийств под прикрытием данной процедуры [5].

В России сдерживающим фактором является юридическая поддержка. В статье 45 Уголовного кодекса под недвусмысленным названием «Запрещение эвтаназии» было записано, что удовлетворение просьбы больного об ускорении его смерти «какими-либо действиями или средствами, в том числе прекращением искусственных мер по поддержанию жизни» [6] медперсоналу запрещается. Лицо, осуществляющее эвтаназию или побуждающее больного к эвтаназии, несет уголовную ответственность. Этический кодекс российского врача в статье 14 предусматривает: «Эвтаназия, как акт преднамеренного лишения жизни пациента по его просьбе или по просьбе его близких, недопустима, в том числе и в форме пассивной эвтаназии».

В современном общественном мнении проблема эвтаназии становится ключевой. Её осмысливают и обсуждают на всех уровнях государственной и общественной жизни. В биомедицинской этике эвтаназия рассматривается как первая проблема научного изучения человека и условий его жизнедеятельности, ибо она «пропускает через себя» все остальные проблемы вмешательства людей, прежде всего медиков, в естественные процессы жизни человека. Цивилизованному обществу не должна быть безразлична человеческая жизнь. Необходимо развить такое самосознание в обществе, которое позволило бы ему понять, что врач-специалист исторически давно помогает человеку родиться, что врач-специалист помогает человеку всю его жизнь оставаться здоровым и он, врач-специалист, никак не может помогать в самоубийстве больных.

Задача социологии и сверхзадача медицины – сохранение жизни и процветание общества – совпадают в биоэтике. Биоэтика – современная форма профессиональной биомедицинской этики, в которой морально-этические проблемы медицины рассматриваются в контексте прав человека, члена общества. Основным моральным принципом биоэтики является принцип уважения прав человека, т.е. принцип уважения автономии пациента, его достоинства и социальной целостности. В биоэтике остро ставится вопрос об участии пациента в принятии врачебного решения. В медицине проблема личности и его окружения стоит так же остро, как в социологии. Носителем человеческого достоинства является каждый, независимо от его социального статуса и финансовых возможностей. Биоэтика выступает как основной способ разрешения конфликтов и нравственных дилемм на стыке медицины и социологии.

Биоэтику нужно понимать не только как область знаний, но и как формирующийся социальный институт, который предполагает наличие этических комитетов при больницах, научно-исследовательских институтах. Специализированные биоэтические организации должны вклю-



чать в себя наряду с медиками и юристов, и психологов, и социологов. Основная задача – выработка рекомендаций по решению конфликтных ситуаций на стыке медицины и социологии, медицины и юриспруденции. В рамках биоэтики происходит формирование системы гуманистических принципов поведения учёных и медиков на основе общечеловеческих ценностей.

Уважение к человеческому достоинству всегда связано с признанием свободы личности делать выбор в соответствии с её духовными ценностями. Биоэтика, как социальный институт, признаёт не только субъективно-личностное, но и объективно-социальное измерение возникающих проблем. Речь идёт о социальных последствиях политики, которая будет допускать врачебные действия, заведомо приводящие к смерти больного. Остаётся открытым вопрос, этично ли для врача согласие на осуществление эвтаназии. Разрешение эвтаназии несовместимо с издавна существующим запретом для врачей убивать своих больных. Доверие общества к врачам базируется на том, что медицина призвана исцелять и её возможности не должны использоваться для приближения смерти. Запрещение убийства является попыткой защитить врача от зла и имеет не только практическое, но и символическое значение – для сохранения социального статуса медицины. В определённых случаях «поддерживаемое врачом самоубийство или проведение эвтаназии может выглядеть с его субъективно-личностных позиций милосердным, однако с объективно-социальных позиций эта деятельность может нанести вред медицинской профессии в частности и обществу в целом, а поэтому не может быть оправдана» [7].

Биоэтика требует выработки определённого отношения человека к смерти. Медикализация современной культуры приводит к проблеме допустимости или недопустимости эвтаназии, как тихой «блаженной» смерти или как умышленного умерщвления безнадежных больных. По определению видно, что эвтаназия – одна из острейших и противоречивых проблем биоэтики.

Традиционно понятие врача связано с исцелением людей от болезней и травм, с устранением страданий и сохранением жизни. Вовлечение врача в медицинские вмешательства, приводящие к смерти больного, станут разрушительными для самой медицины.

Убежденных сторонников эвтаназии среди врачей, к сожалению, становится всё больше. Об этом свидетельствуют последние социологические исследования. Задача социальной медицины состоит в том, чтобы не допустить легализации эвтаназии в России. И первым шагом должна стать борьба за голоса и сердца людей, в первую очередь, врачей. Именно врачи ставят диагноз, прописывают лечение, информируют пациента о его состоянии и имеют большой кредит доверия у больных и их родственников. Задача социологии и сверхзадача медицины – сохранение жизни и процветание общества совпадают в биоэтике. Биоэтика – современная форма профессиональной биомедицинской этики, в которой морально-этические проблемы медицины рассматриваются в контексте прав человека, члена общества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карп Л.Л. Проблема эвтаназии: «за» и «против» / Л.Л. Карп, Т.Б. Потапчук // Социс. 2004. № 2. С. 135-138.
2. Кашапов Ф.А. Философские основания биоэтики: дис. ... доктора филос. наук / Ф.А. Кашапов. Челябинск, 2006. 380 с.
3. Конституция Российской Федерации. М.: Тандем, 2000. 40 с.
4. В Бельгии ширится практика искусственной смерти, а в аптеках продаётся набор для эвтаназии – одноразовый шприц с ядом. 08.02.2006. Версия для печати. <http://www.amitass.ru/article/4785.html>
5. Иванюшкин А.Я. Профессиональная этика в медицине / А.Я. Иванюшкин. М.: Медицина, 1990. 130 с.
6. Кони А.Ф. Собрание сочинений: в 8 т. / А.Ф. Кони. М.: Юридическая литература, 1966. Т. 4. Самоубийство в законе и жизни. 480 с.

**Алабердеева Гельфия Рамильевна** –  
аспирант Астраханской государственной медицинской академии

*Статья поступила в редакцию 17.05.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 338.001.76

**М.А. Варламова**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА В СФЕРЕ ДЕЛОВЫХ УСЛУГ**

*Показано, что повышение эффективности труда работников интеллектуальной сферы является необходимым условием роста эффективности общественного производства в целом и эффективности деятельности каждой отдельной компании.*

**M.A. Varlamova**

### **INTELLECTUAL WORK EFFICIENCY IN THE SPHERE OF BUSINESS SERVICES**

*The present article is executed on a vital topic as increase of efficiency of work of intellectual sphere workers is a necessary condition of growth of efficiency of a social production as a whole and efficiency of activity of each separate company.*

Очевидно, что при совершении научно-технической революции механические средства должны получить широкое распространение, а затем и занять господствующее положение в какой-то новой отрасли общественного производства, в которой до научно-технической революции господствующее положение принадлежало простым техническим средствам. Этой отраслью является научное производство. При совершении каждой из происшедших революций в развитии производительных сил возникает, получает широкое применение и распространение, а затем и занимает господствующее положение среди техники новая форма технических (механических) средств. Так, при совершении охотничье-технической революции получают широкое распространение, а затем и занимают господствующее положение среди технических средств ручные механизмы; при совершении аграрно-технической революции получают широкое применение, а затем занимают господствующее положение тягловые механизмы; а при совершении индустриально-технической революции получают широкое применение и затем занимают господствующее положение в технике машины.

Очевидно, и при совершении современной, научно-технической революции должна получить широкое применение и распространение, а затем занять господствующее положение среди технических средств новая форма техники. Этими новыми механическими средствами являются автоматы. Далее, при совершении каждой из происшедших революций в развитии производительных сил происходит превращение одной из второстепенных до этого отраслей

производственной сферы в ведущую отрасль общественного производства и одновременное перемещение отрасли, бывшей до этого ведущей, на положение второстепенной отрасли.

Промышленность должна переместиться на положение второстепенной (второй по значению) отрасли, а место ведущей отрасли общественного производства должна занять другая отрасль, которая до этого занимала место подсобной отрасли. Анализ начавшейся научно-технической революции приводит нас к выводу, что этой отраслью общественного производства является научное производство.

Однако, несмотря на всю значимость этой сферы, хозяйствованию, изучению проблем эффективности труда в данной сфере уделяется явно недостаточно внимания. Одна из причин невнимания к проблеме в том, что эффективность – это особая технология, применяемая работником умственного труда в рамках организации. До недавнего времени в мире существовало немного таких организаций [1, с.23].

От физического труда требуется результативность, производительность. Иными словами, работник физического труда должен быть способен правильно выполнять поставленные перед ним задачи, но его не касается сама их адекватность. Деятельность работника физического труда всегда можно оценить по количеству и качеству легко поддающейся определению и учету продукции, как, например, обуви. За последнее столетие человечество научилось определять результативность и качество физического труда. Это помогло увеличить производительность труда отдельного работника во много раз.

Раньше работник физического труда, будь то производственный рабочий или солдат, превалировал во всех организациях. Потребность в эффективных работниках была невелика: весь процесс управления был сосредоточен в руках немногих администраторов, «начальников», раздающих приказы своим подчиненным. Эти руководители составляли такую ничтожную долю трудоспособного населения, что их эффективность не ставилась под сомнение. Они были теми немногими людьми, природные качества которых позволяли им видеть то, что остальные постигали с большим трудом.

Такое положение вещей было характерно не только для производства и армии. Сегодня нам кажется невероятным, что американское «правительство» во времена Гражданской войны более ста лет назад состояло всего лишь из горстки функционеров. При президенте Линкольне под началом военного министра было менее пятидесяти человек, большинство из которых были не «управляющие» и не политики, а служащие телеграфа. В начале нынешнего века весь правительственный аппарат президента Теодора Рузвельта мог вполне разместиться в одном из современных зданий на центральной улице в Вашингтоне [1, с.78].

В медицинских учреждениях начала века не было «профессионалов здравоохранения» – рентгенологов, лаборантов, диетологов, терапевтов, специалистов по социальной адаптации и прочих специалистов, без которых невозможно себе представить современные больницы. Более того, на каждую сотню пациентов в настоящее время приходится до 250 медицинских работников разного профиля. Обслуживающий персонал больниц состоял из нескольких медсестер, поваров, горничных и уборщиц. Работником интеллектуального труда был только лечащий врач, которому помогала медсестра.

Другими словами, сравнительно недавно основной проблемой в любой организации была результативность работника физического труда, выполнявшего порученные ему задания. Работники интеллектуального труда были в явном меньшинстве.

Работники умственного труда составляли лишь небольшую часть всех занятых в той или иной организации. Главным образом они работали на должностях, требовавших специальных навыков, в лучшем случае с клерками. Их эффективность или отсутствие таковой затрагивали только их самих.

В настоящее время учреждения, в основе деятельности которых лежит интеллектуальный труд, занимают ведущее место в жизни общества. Современное общество – это общество крупных организованных учреждений. В каждом из них, включая армию, главен-

ствующую роль играет человек умственного труда, полагающийся на свою голову, а не на мускулы и ловкость рук. Растет удельный вес работников, которые специально учились использовать свои теоретические знания, а не физическую силу. Их эффективность измеряется их вкладом в те организации, где они работают.

Теперь эффективность не может больше восприниматься как некая данность, и ею нельзя более пренебрегать.

Система измерений и оценок – от организации производства и учета до контроля качества, – используемая в отношении физического труда, не применима к труду интеллектуальному. Можно ли представить себе что-то менее привлекательное и продуктивное, чем конструкторское бюро, создающее остроумные технические разработки никому не нужной продукции? Именно поэтому работа над нужным продуктом является мерилем эффективности интеллектуального труда. К интеллектуальной, творческой деятельности не подходят никакие мерки, применяемые по отношению к физическому труду.

Творческому работнику чужда мелочная опека. Ему можно только помогать. Вместе с тем он должен направлять самого себя на выполнение поставленных задач, то есть на эффективность.

Сравнительно недавно в журнале «Нью-Йоркер» появилась карикатура, изображавшая дверь какого-то учреждения, на которой висела табличка: «Смит, коммерческий директор, компания «Аяко». Продажа мыла». Стены учреждения были абсолютно голыми, за исключением бросающейся в глаза надписи «Думаю». В кабинете, положив ноги на стол, сидел человек и курил сигару. Чуть поодаль стояли два пожилых господина, один из которых спрашивал другого: «Как можно удостовериться в том, что мистер Смит думает именно о мыле?..» [2, с.57].

Действительно, никогда не угадаешь, о чем думает работник интеллектуального труда. Вместе с тем мышление – это его область деятельности, его труд.

Мотивация работника, занимающегося интеллектуальной деятельностью, зависит от его эффективности, от его способности достигать поставленные цели. Если его труд лишен эффективности, то очень скоро его желание работать и приносить конкретную пользу исчезает и он превращается в чиновника, отбывающего на работе свое время с 9 до 17.

Работник, обладающий теоретическими знаниями, не производит ничего такого, что могло бы быть эффективным само по себе. Он не изготавливает физически измеримую продукцию, как, например, обувь, детали машин и т. п. Он производит знания, идеи и информацию. Сама по себе эта «продукция» бесполезна. Ее практическая реализация происходит на следующем этапе, когда кто-то воспользуется ею, с тем чтобы добиться конкретных результатов. Самая блестящая идея, если ее не применить на практике, останется бессмысленной. Таким образом, работник, занимающийся интеллектуальной, творческой деятельностью, должен делать что-то такое, чего работнику физического труда делать не нужно. Он обязан придавать работе эффективность. В отличие от изготовителя ботинок, его не должна волновать потребительская полезность результатов его деятельности.

Думающий, творческий работник является тем самым «фактором производства», который позволяет высокоразвитым зонам мира – Соединенным Штатам Америки, Западной Европе, Японии и во все большей степени России – становиться и оставаться конкурентоспособными.

Наиболее характерный пример в этом отношении представляют собой Соединенные Штаты. Образование является именно той областью, в которой Америка наиболее конкурентоспособна. В американской системе образования можно найти много недостатков, тем не менее она мощнее и масштабнее, чем те системы, которые могут себе позволить менее богатые страны. Образование можно считать наиболее дорогим капиталовложением из всех нам известных. Общественные затраты, связанные с подготовкой доктора естественных наук, оцениваются в сумму от 100 до 200 тысяч долларов. Даже молодой человек, окончивший

колледж и не имеющий никаких специальных профессиональных навыков, оценивается в 50 и более тысяч долларов. Только очень богатое общество может себе это позволить [2, с.67].

Именно поэтому образование – как раз та самая область, в которой богатейшая страна мира имеет неоспоримое преимущество при условии высокой отдачи интеллектуального труда. Отдача или производительность представителя этого труда выражается в его способности решать актуальные задачи. Это и называется эффективностью.

Единственным способом увеличения достижений является повышение эффективности труда. Можно на многих рабочих местах и должностях использовать людей с повышенными способностями; можно задействовать людей с самыми обширными знаниями. Но, как представляется, эти два пути, взятые сами по себе, не обладают большим эффектом. Двигаясь в этом направлении, мы можем достичь точки, после которой все наши усилия окажутся бесплодными. Вместе с тем мы не собираемся выводить новую расу «сверхчеловеков». Нам суждено, чтобы во главе наших организаций стояли обычные люди.

В большинстве книг по проблемам управления дается портрет «руководителя завтрашнего дня», который выступает чуть ли не «человеком на все времена». Нам говорят, что работник управления высшего звена должен иметь исключительные способности для проведения анализа и принятия решений. Он должен хорошо ладить с людьми, разбираться в структурных механизмах организации, иметь математические способности, художественное чутье и творческое воображение. Иными словами, нужен универсальный гений, каковых в реальной действительности практически не существует [3, с.121].

Весь опыт существования человечества показывает, что в мире царит универсальная некомпетентность. Именно поэтому мы вынуждены комплектовать свои организации людьми, которые в лучшем случае обладают одним из перечисленных качеств, и, как правило, каждый из реально функционирующих работников лишь в самой малой степени наделен всеми остальными.

Лет пятнадцать назад, когда только еще возникло понятие «операционные исследования», несколько способных молодых врачей опубликовали свои рекомендации для исследователей завтрашнего дня. От этих работников требовались энциклопедические знания и способности решать сложные инновационные задачи практически во всех областях человеческой деятельности. Согласно этим рекомендациям, операционные исследователи должны обладать передовыми знаниями в шестидесяти естественных и гуманитарных дисциплинах. Если бы такой человек отыскался в наше время, вероятнее всего, он был бы поглощен изучением движения товарных запасов или программированием графиков производственного процесса.

Менее амбициозные схемы повышения качества управленческого труда предусматривают наличие адекватных знаний в таких областях, как бухгалтерский учет, кадровая политика, маркетинг, ценообразование, экономический анализ, психология, а также в естественных науках – от физики и биологии до геологии. И, конечно же, нам необходимы люди, разбирающиеся в динамике современной технологии, тонкостях современной мировой экономики и лабиринтах административного руководства [4, с.34].

Но вследствие своей обширности и сложности каждая из этих областей неподвластна полностью даже для людей, специализирующихся в них. Настоящие ученые обычно ограничиваются какими-то отдельными разделами, не претендуя на глубокие знания области в целом.

Одно из слабых мест современных образованных молодых людей, занятых на производстве, в медицине или руководстве, в том, что они ограничиваются знаниями в каком-то одном узком разделе и с пренебрежением относятся ко всем другим. Действительно, бухгалтеру нет необходимости разбираться в тонкостях отношений между хозяином и наемным рабочим, а для инженера вполне простительно иметь лишь базовые знания о продвижении нового продукта. Однако каждому из них следует иметь представление о смысле и задачах тех дисциплин, которые не имеют к ним прямого отношения. Чтобы быть хорошим врачом-

урологом, нет нужды разбираться в психиатрии. Чтобы получить хорошую работу в Министерстве сельского хозяйства, абсолютно не обязательно быть юристом-международником. Вместе с тем умение разбираться в международной политике отнюдь не повредит карьере сельскохозяйственного специалиста.

Совершенно по-иному обстоит дело в отношении универсального специалиста, создание которого столь же маловероятно, сколь и появление универсального гения. В действительности мы должны уметь использовать сильные стороны каждого отдельного работника. Это и может повысить эффективность. Ведь если невозможно увеличить поступление ресурсов, то необходимо увеличить их отдачу. Эффективность как раз и является тем инструментом, с помощью которого можно повысить результативность таких ресурсов, как знания и способности [5, с.12].

Вот поэтому повышение эффективности должно стать одним из наиболее приоритетных направлений деятельности организаций. Еще большую важность приобретает эффективность как инструмент управляющего, позволяющий достичь более высоких результатов работы.

Если бы эффективность была таким же природным даром, как способность к музыке или живописи, ситуация вряд ли была бы намного лучше, чем сегодня. Все прекрасно знают, что рождается лишь незначительное число людей, высокоодаренных в какой-то определенной области. Конечно, всегда следует заниматься поиском людей с высоким потенциалом эффективности и последующим развитием их способностей любыми доступными средствами. Однако на практике, действуя подобным образом, вряд ли можно найти достаточно людей на руководящие посты.

Согласно профессору Йельского университета Крису Арджирису, «успешный» работник «умственного труда» обладает десятью качествами, среди которых «умение переносить трудности», «умение разбираться в законах конкурентной борьбы» и «способность отождествлять себя с группами».

К сожалению, совсем немногим людям они свойственны от рождения. И, что еще хуже, практически никто не знает, как их в себе воспитать. К счастью, существует множество высокоэффективных и удачных управляющих, которые зачастую не обладают ни одним из предписанных Арджирисом качеств.

Очень часто эффективные управляющие разительно отличаются друг от друга способностями и темпераментом, тем, что и как они делают, личностными качествами, знаниями и интересами. Иными словами, они отличаются друг от друга во всем, что определяет личность человека. Объединяет же их одно важное свойство – они добиваются выполнения важных и актуальных задач.

Другими словами, эффективность – это что-то вроде привычки, набора практических методов, которым всегда можно научиться. Эти методы обманчиво просты.

Существуют пять основных условий для повышения эффективности труда работника управления.

1. Эффективные управляющие должны знать, на что они расходуют свое время. Умение контролировать свое время является важнейшим элементом производительной работы.

2. Эффективные управляющие должны концентрироваться на достижениях, выходящие за рамки своих организаций. Им следует быть нацеленными не на выполнение работы как таковой, а на конечный результат. Хороший работник «умственного труда», прежде чем приступить к выполнению того или иного задания, задает себе вопрос: «Каких результатов я должен достичь?» Сам процесс работы и ее методы отходят для него на второй план.

3. Эффективные управляющие должны строить свою деятельность на преимущественных, сильных качествах, как собственных, так и руководителей, коллег и подчиненных, а также обязаны отыскивать положительные моменты в конкретных ситуациях. Им не следует опираться на то, что ненадежно. Нельзя начинать работу с решения нереальных на данный момент задач.

4. Эффективные управляющие концентрируют свое внимание на нескольких важнейших участках, в которых исполнение поставленных заданий принесет наиболее ощутимые результаты. Они должны научиться устанавливать приоритетные направления работ и не отклоняться в их выполнении. Собственно, вся их деятельность должна состоять из выполнения именно приоритетных заданий – «обязан заниматься лишь главным». Пустая трата сил и времени приводит к самым отрицательным результатам.

5. Наконец, эффективные управляющие должны принимать эффективные решения. А это прежде всего вопрос системности, то есть процесс выполнения задания должен проходить в нужной последовательности. Следует помнить, что эффективное решение – это всегда суждение, основанное, скорее, на «несовпадении мнений», чем на «согласованности по фактам». Чрезмерная поспешность ведет к принятию неверных решений. Решений должно быть немного, но все они должны быть фундаментальными. В принятии решений нужно руководствоваться верной стратегией, а не сиюминутными тактическими соображениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисовский Г.С. Научно-технический прогресс / Г.С. Борисовский. М.: Знание, 1990. 124 с.
2. Волков Г.Н. Эра роботов или эра человека? / Г.Н. Волков. М.: Прогресс, 2005. 250 с.
3. Глаголев В.Ф. Современная научно-техническая революция / В.Ф. Глаголев, И.А. Козиков. М.: ЮНИТИ, 1994. 184 с.
4. Лилли С.П. Люди, машины и история / С.П. Лилли. М.: Политиздат, 1999. 190 с.
5. Макаровский А.А. Эргономика / А.А. Макаровский. СПб.: Проспект, 1998. 215 с.

**Варламова Мария Александровна** –  
аспирант кафедры «Экономическая теория и учения»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 24.05.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 338.48

**К.М. Керими**

#### **УПРАВЛЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КАРЬЕРОЙ СПЕЦИАЛИСТА ТУРИСТИЧЕСКОГО БИЗНЕСА**

*Представлены рекомендации по управлению профессиональной карьерой в сфере туризма. Рассматриваются возможные варианты профессионального образования и их характеристика. Освещаются вопросы современной подготовки кадров для сферы туризма.*

**К.М. Kerimi**

#### **PROFESSIONAL CAREER MANAGEMENT IN THE TOURISM INDUSTRY**

*The article presents the recommendations of professional career management in the tourism industry. The possible variants of professional education and their characteristics are considered here. The author raises a number of difficult questions of modern staff preparing in the tourism industry.*

Условия рыночной экономики в нашей стране, связанные со все более возрастающей конкуренцией как на рынке труда, так и на рынке образовательных услуг, заставляют человека по-новому взглянуть на алгоритм построения своей карьеры.

Выбирая профессиональную деятельность в туристическом бизнесе, важно помнить о специфике данной сферы: предъявляемые высокие требования к уровню квалификации персонала, знаниям и навыкам работников, которые помогали персоналу успешно работать еще вчера, сегодня теряют свою действенность. Таким образом, перед системой подготовки кадров особенно остро встанут вопросы, связанные с удовлетворением текущих потребностей экономики страны в квалифицированных специалистах, подготовленных с учетом интеграции Российской Федерации в мировое образовательное и экономическое пространство [1, с.66]. Структуры профессионального туристского образования оказались не вполне готовыми к решению новых отраслевых задач. Сегодня может идти речь лишь о разработках и первых шагах по созданию полноценной системы, которая включает в себя:

- 1) довузовское (школьное профильное) образование;
- 2) начальное профессиональное образование;
- 3) среднее профессиональное образование;
- 4) высшее профессиональное образование;
- 5) дополнительное профессиональное образование (программы профессиональной переподготовки всех уровней, повышения квалификации сотрудников туристской отрасли);
- б) послевузовское профессиональное образование (магистратура, аспирантура, докторантура) [1, с.66].

Довузовская подготовка носит, в основном, профориентационный характер. Ведь карьера человека начинается не в момент окончания обучения, а гораздо раньше – при выборе профессии. Поэтому первостепенной задачей довузовского образования является формирование ориентации на профессиональную деятельность, выявление мотиваций, личных качеств и предрасположенности к выбираемой профессии.

Специфика сферы социально-культурного сервиса и туризма заключается в ее бифункциональности, которая предъявляет личности специалиста амбивалентные требования. С одной стороны, это достаточный профессионализм в определенном виде деятельности (знание соответствующих технологических операций с материальными объектами) [2, с.176], с другой - ряд качеств, полученных как результат наследственности, воспитания, социализации. К ним можно отнести: общительность, эмпатийность, стремление к инноватике, высокий уровень креативности, коммуникативных и организаторских способностей [3, с.24], владение методами экспресс-психодиагностики, сотрудничество, неконфликтность, миротворчество по природе и по убеждению. Выбирающему данную отрасль важно обращать внимание на самовоспитание выдержки и эмоциональной устойчивости при общении с клиентами, коллегами, партнерами, что, несомненно, поможет им эффективно трудиться в дальнейшем.

Действительно, являясь «развилкой» для выбора будущей профессии, в рамках которой молодой человек будет строить свою карьеру, довузовскому образованию следует взять на себя данную ответственность и задать соответствующее характеру и способностям человека «карьерное направление».

Начальное и среднее профессиональное образование в сфере туризма, к сожалению, характеризуется несоответствием качества подготовки специалистов этого уровня современным требованиям. Как показывает опыт, многие выпускники не приходят работать в отрасль. Причину этого, в основном, можно видеть в несоответствии личностных качеств специфическим



особенностям социокультурной сферы и туризма и/или в неадекватной самооценке, завышенных притязаниях выпускников, нереалистичных ожиданиях в начале карьерного пути [4, с.19]. Безусловно, наряду с данными существует множество других как объективных, так и субъективных причин. Таким образом, выявляется решение актуальной задачи – восполнение, при необходимости, упущения школьного образования, т.е. помощь в определении с правильностью выбора планируемой сферы деятельности (тесты, личное интервью, беседы со специалистами) и/или в четком представлении о потенциальных возможностях трудоустройства (ознакомление с профессиональными требованиями, организация встреч с работодателями).

В этом отношении ценность дополнительного образования состоит в том, что оно максимально приближено к конкретным требованиям жизни и, в большинстве случаев, непродолжительно. Учитывая, что значительное число специалистов туристской индустрии не имеют базового отраслевого образования, краткосрочное дополнительное образование позволяет оперативно получить знания, не отвлекаясь от практической деятельности.

Среди неучтенных факторов специалисты туристской отрасли отмечают недостаточную проработанность таких форм дополнительного профессионального образования как краткосрочные тренинги, стажировки, мастер-классы. Существенным пробелом является незначительное количество программ, ориентированных на лиц, имеющих начальное и среднее профессиональное образование (повара, бармены, администраторы и т.д.). В решении вопроса должны быть заинтересованы, прежде всего, потенциальные работодатели, которые могут внести собственный вклад, ведь «средства, вложенные в образование, являются инвестициями, а не затратами, так как носят в равной степени социальный и экономический характер» [6, с.8]. В большинстве своем, получающие дополнительное профессиональное образование делают это осознанно, с пониманием своих возможностей и перспектив, и вложенные в них материальные и нематериальные затраты восполняются в полной мере.

Высшее профессиональное образование, являющееся сложным и многоаспектным институтом, требует отдельного внимания и анализа. Статистика показывает, что сегодня высшее профессиональное образование для туристской индустрии реализуется в 68 городах РФ. Специалистов готовят более 250 вузов, причем из них 80% - непрофильные [1, с.70].

Послевузовское образование – подготовка кандидатов и докторов наук – реализуется в высших учебных заведениях по соответствующим специальностям. Значительное количество кандидатских диссертаций по туристской проблематике защищается по экономическим и педагогическим специальностям. Подготовленные ученые-отраслевники должны пополнить профессорско-педагогический состав учебных заведений, привлекаться к научным исследованиям.

Вместе с тем, такие пожелания не всегда реализуются на практике. В значительной мере ученые-отраслевники устраиваются на работу в другие сектора экономики города, которые предлагают более перспективный карьерный рост и уровень заработной платы.

Таким образом, можно выделить следующие основные проблемы современной подготовки кадров для сферы туризма:

- очевидность разрыва между учебными программами по подготовке кадров для отрасли и ее реальными потребностями;
- отсутствие системы диверсифицированного и сбалансированного профессионального образования в сфере туризма, тесно интегрированного с наукой и бизнес-структурами туристской отрасли;
- отсутствие отраслевого заказа на потребности в специалистах разного уровня, что приводит к полной хаотичности в численности и профессиональной направленности подготовки специалистов. Это нередко усложняет трудоустройство молодых специалистов, не обеспечивает конкретные потребности предприятия;
- отсутствие отраслевых стандартов, которые определяют перечень основных навыков и знаний, требуемых для выполнения должностных обязанностей всех уровней работников туристской индустрии;

- резкая диспропорция в подготовке специалистов разных уровней с явным дефицитом специалистов начального и среднего профессионального образования и соответствующих образовательных учреждений;
- отсутствие тренинговых центров, оснащенных современным и постоянно обновляющимся оборудованием для прохождения практик [1, с.71].

Определенный вклад в решение сложившихся в области образования проблем, в том числе в управление профессиональной подготовки кадров туристской сферы, внесла прошедшая в Саратове с 22 по 24 марта первая специализированная выставка «Образование + карьера – 2007». Ее цель – предоставить наиболее полную информацию о возможности получения образования в России и за рубежом. В ходе проведенного анализа можно отметить позитивный сдвиг в пользу увеличения спектра образовательных услуг, отвечающих потребностям широкого круга потенциальных клиентов как по возрастному критерию, так и разнообразию востребованных областей знания. Сфера профессионального туристского образования была представлена тремя высшими учебными заведениями нашего города – Саратовским государственным техническим университетом, Саратовским государственным университетом им. Н. Г. Чернышевского, Саратовским государственным социально-экономическим университетом. Каждый вуз в рамках государственного образовательного стандарта реализует свой собственный подход к подготовке специалистов сферы туризма.

Основной причиной проблемной ситуации на рынке образовательных услуг туристской индустрии остается отсутствие научно обоснованной потребности («заказа») в специалистах. Разработка отраслевой потребности в кадрах должна учитывать как количественные, так и качественные параметры, что является основой профессионального уровня кадрового потенциала.

Важнейшим рычагом управления качеством, профессионализмом отраслевого потенциала специалистов являются стандарты, в которых приводится набор специальных знаний, умений, навыков, предъявляемых к сотрудникам различных профессий отрасли. На основе отраслевых профессиональных стандартов возможно осуществление корректив действующих и введение новых образовательных стандартов профессионального образования, предусматривающих качественное и содержательное улучшение подготовки кадров для туристской индустрии в условиях изменения соотношения теоретических и практических блоков, а также усиления языковой и информационной подготовки, изучения современных мировых технологий организации турбизнеса [1, с.73]. Одновременно содержание профессионального туристского образования должно быть ориентировано не только на спрос, но и на потребности развития личности в социокультурном, экономическом, политическом ракурсах.

Итак, получение профессионального образования в сфере туризма направлено на позитивное изменение жизни молодых людей, формирование разносторонне развитой личности. Профессиональное образование является основой дальнейших достижений и побед, залогом качественного управления профессиональным ростом и развитием. В настоящее время ощущается острая необходимость разработки и применения инновационных подходов в сфере профессионального туристского образования, трудоустройства молодых специалистов, повышения профессионализма, то есть координации усилий всех заинтересованных сторон для поддержания молодых специалистов в их карьерных устремлениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Яндовский А.Н. Совершенствование системы подготовки кадров для туристской индустрии / А.Н. Яндовский // Проблемы развития туристского и гостинично-ресторанного бизнеса в РФ и за рубежом: сб. статей. Вып. 10. М.: МАТГР, 2006. С. 66-73.
2. Лысикова О.В. Перспективы развития карьеры в российском туристическом бизнесе / О.В. Лысикова // Актуальные проблемы производственного менеджмента: сб. науч. статей. Саратов: Аквариус, 2002. С. 175-179.

3. Оганян К. Кадры для социальной сферы / К. Оганян // Человеческие ресурсы. 1998. № 3. С. 24-25.
4. Богдан Н. Карьера молодого специалиста: взгляд вуза / Н. Богдан, Е. Могилевкин // Управление персоналом. 2004. № 13. С. 18-21.
5. Махмудов Л. Карьерная ориентация граждан / Л. Махмудов // Человеческие ресурсы. 2004. № 4. С. 7-9.
6. Чичкина С. Кадры – важнейшая проблема отрасли / С. Чичкина // Туризм: практика, проблемы, перспективы. 2005. № 6. С. 26-27.
7. Ярская-Смирнова Е. Студенческое кадровое агентство / Е. Ярская-Смирнова, Н. Ловцова // Человеческие ресурсы. 2000. № 1. С. 37-38.
8. Полевая М.В. Социально-психологические особенности абитуриентов академии / М.В. Полевая // Проблемы развития туристского и гостинично-ресторанного бизнеса в РФ и за рубежом: сб. статей. Вып. 10. М.: МАТГР, 2006. С. 160-168.

**Керими Кира Мухамедовна** –  
аспирант кафедры «Менеджмент туристического бизнеса»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 17.04.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 001.2+101.8+167/168

**А.В. Потапов**

### **ЭЛЕМЕНТЫ ГОМОГЕТЕРОГЕНИКИ В ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ**

*Освещены вопросы применения гомогенно-гетерогенного подхода в изучении качества жизни вообще, и качества жизни в городских условиях, в частности. Рассмотрен вопрос о нелинейности закона о переходе количественных изменений в качественные. Обобщены данные из железнодорожной практики с позиций общей теории неоднородности.*

**A.V. Potapov**

### **GOMOGETEROGENEITY ELEMENTS IN THEORETICAL-METHODOLOGICAL PROVISION QUALITY OF LIFE**

*This article contents the results of research with using the method of homogeneity and heterogeneity structures in view on a quality of the urban life. The non-line dependence of conversion the quantity alterations in the quality alterations is studied here. These results generalized and analyzed by the general theory of heterogeneity in a rail-way practice here.*

За последние пятьдесят лет изменились подходы к изучению понятия и структуры качества. В настоящее время предпринимаются усилия по освоению принципов всеобщего управления качеством (Total Quality Management – TQM) – концепции целенаправленного

применения систем обеспечения высокого качества продукции, услуг, производств и процессов, а также управления ими на предприятиях, учреждениях, в органах управления. В различных странах формируется философия качества как основа и научного, и профессионального мировоззрения. Управление качеством рассматривается как основной метод системного управления во всех сферах деятельности человека. Появились понятия качества человека, качества жизни, качества общественного интеллекта, качества управления, качества образования, качества системы «человек-техника», качества информации и т.д. Категория качества становится символом прогресса всего общества, условием его устойчивого развития.

Качество жизни как система включает в себя качество человека, качество образования, качество культуры, качество среды обитания, качество социальной, экономической и политической организации общества. Поэтому изучение качества является актуальной проблемой современности.

Труды 70-х годов прошлого века Х.Балуха, известного польского железнодорожного диагноста, явились первой попыткой связать качество с однородностью (неоднородностью). В связи с этим Х. Балух предложил унифицированный показатель неоднородности верхнего строения пути, удобный для расчета, сохраняющий функциональную зависимость с общеизвестными критериями рассеивания и входящий в заранее заданный диапазон, обеспечивающий легкое техническое объяснение неоднородности верхнего строения пути. Этот показатель сохраняет функциональную зависимость с известным из математической статистики показателем изменчивости [1].

В предисловии своего фундаментального труда по общей теории неоднородности профессор Казанского государственного технического университета-КАИ Н.М. Солодухо выражает сожаление по поводу того, что гомогетерогенная концепция и соответствующие теоретико-методологические положения не нашли достаточно полного теоретико-методологического применения, хотя они и получили по выражению Н.М. Солодухо: «...солидное внедрение в разработку современной теоретической географии и в развитие некоторых аспектов всеобщей экологии и глобалистики, в развитие ситуационной концепции и некоторого другого» [2]. Автор согласен с мнением профессора Н.М. Солодухо о том, что гомогенно-гетерогенный подход, общая теория неоднородности, гомогетерогеника далеко еще не реализовали заложенные в них теоретические и методологические возможности по отношению к частно-научному знанию. Причина этого видится в недостаточной популяризации знаний по общей теории неоднородности.

Действительно, животрепещущие проблемы экономики и управления качеством, качества жизни, качества строительных материалов и т.д. требуют теоретико-методологического обеспечения с позиций гомогетерогеники – интегративно-общенаучной области (направления) исследований. Последний тезис подкрепляется авторскими двадцатилетними исследованиями в области экономики города и строительного материаловедения.

Почти двадцать лет тому назад вышла статья автора по обобщению результатов диссертационного исследования по материаловедческой тематике. В статье рассматривался вопрос взаимоперехода двух разнородных строительных материалов цементобетона и асфальтобетона посредством третьего, синтетического материала – цементасфальтобетона, сочетающего свойства и цементобетона, и асфальтобетона. Эмпирическими исследованиями с применением аппарата математического планирования эксперимента получена зависимость перехода от цементобетона к асфальтобетону, и наоборот. Эта зависимость описывается полиномом не ниже четвертой степени [3].

К сожалению, знакомство автора с общей теорией неоднородности произошло лишь в 2006 году, значительно позже проведенных экспериментальных исследований, поэтому ниже приводится несколько запоздалая интерпретация полученных результатов с позиций этой теории.

Процесс взаимоперехода подчиняется закону диалектики о переходе количественных изменений в качественные. По исследованиям автора, переход от качественного состояния одного уровня к качественному состоянию другого уровня осуществляется нелинейно (рис. 1).

Аналогично описывается переход от качественного состояния одного уровня к качественному состоянию другого уровня в темпоральном плане (рис. 2).

Этот вывод важен при изучении такой сложной системы как городское поселение. Применение гомогенно-гетерогенного подхода к исследованию качества жизни городских поселений обусловлено тем, что город как сложный организм формируется из разнородных элементов и представляет собой искусственно сформированную человеком среду. Внедрение и применение концептуальных положений гомогенно-гетерогенного подхода к исследованию качества жизни в городских условиях отражает авторскую концептуальную позицию, которую можно обосновать следующими принципиальными положениями.

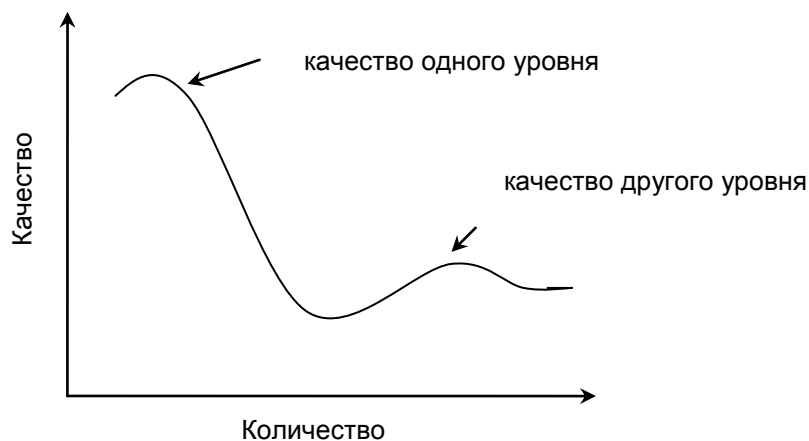


Рис. 1. Графическая интерпретация закона о переходе количественных изменений в качественные

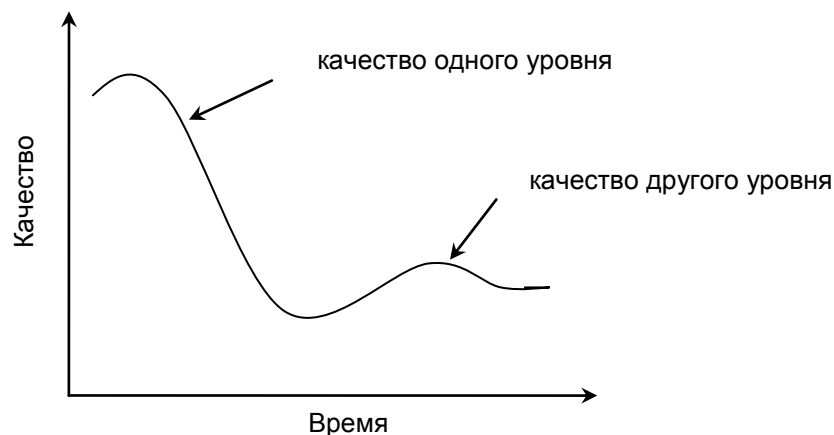


Рис. 2. Переход качественного состояния одного уровня к качественному состоянию другого уровня в темпоральном плане

Во-первых, гомогенно-гетерогенный подход является особым общенаучным подходом к познанию действительности вообще, и качества городской жизни, в частности, который базируется на общенаучных понятиях однородности (гомогенности) и неоднородности (гетерогенности) и отражает соответствующий аспект городского бытия. Это позволяет про-

вести многоуровневый анализ экономических, географических, геологических, социальных, экологических структур города.

Во-вторых, гомогенно-гетерогенный подход позволяет раскрыть важные компоненты причин и механизмов самоорганизации, определить пути саморазвития и самосохранения, сохраняющиеся элементы прежних структур, выявить источники и катализаторы качественных подсистем города на всех основных этапах процесса самоорганизации: от «раскачки» системы и увода ее от равновесия к неравновесности, от неравновесного состояния к неустойчивости, от неустойчивого состояния к бифуркации с фазовыми превращениями и образованием устойчивых динамических структур [2].

В-третьих, гомогенно-гетерогенный подход – универсальный подход, который с успехом используется в глобальном моделировании. Иерархическая гомогенно-гетерогенная модель развития глобальной социально-природной системы складывается из взаимодействующих подвижных локализованных неоднородностей регионального уровня, представляющих, в свою очередь, совокупность распределенных локализованных неоднородностей районного структурного уровня [2]. Данная модель учитывает диалектику устойчивости и флуктуаций, энтропийных и неэнтропийных процессов, положительных и отрицательных обратных связей, информационные потоки и др., что очень важно при изучении качества жизни в городских поселениях.

В-четвертых, общая теория неоднородности сосредоточивает свое внимание на разного рода неоднородностях, имеющихся в генезисе, содержании, структуре и функционировании городских подсистем. В процессах развития неоднородность выполняет двойную функцию: с одной стороны, играет роль зародыша или основы объекта нового качества, с другой – центра или условия диалектического отрицания, деградации, разрушения объекта старого качества и в обоих случаях является узловой областью качественного перехода [2].

Поэтому можно констатировать, что гомогенно-гетерогенный подход позволяет изучать формирование и развитие качества жизни в городских условиях во всем их многообразии, что может способствовать пополнению экономических знаний о городском развитии в новом оригинальном ракурсе.

Эволюционный, системный, макроэкономический, социально-технологический подходы, а также подход к оценке качества жизни на основе квалитологии и квалитометрии, традиционно применяются при изучении городских поселений. Эти подходы в сочетании с гомогенно-гетерогенным подходом позволяют объективно оценивать качество жизни в городских условиях и совершенствовать систему управления качеством жизни населения территории.

Город – это динамично функционирующая и развивающаяся система. Она обладает такими подсистемами, как градообразующая база, жилищно-коммунальное хозяйство, система социально-бытового обслуживания, включая образование, медицину и услуги, учреждения досуга и отдыха, транспортную инфраструктуру. По мере социально-демографических изменений городские структуры преобразовываются, подсистемы модернизируются.

Таким образом, динамика состояния городской структуры подчиняется закону диалектики о переходе количественных изменений в качественные, поэтому математическая интерпретация перехода от качественного состояния одного уровня к качественному состоянию другого уровня системы городского хозяйства состоит также в виде полинома не ниже четвертой степени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балух Х. Диагностика верхнего строения пути / Х. Балух; пер. с польск. И.В. Шварц; под ред. М.Ф. Вериги. М.: Транспорт, 1981. 415 с.
2. Солодухо Н.М. Гомогенно-гетерогенный подход в структуре гомогетерогеники / Н.М. Солодухо. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. 100 с.

3. Потапов А.В. Характер зависимости прочности от фазового соотношения цемента-асфальтобетона / А.В. Потапов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 6. С. 94-96.

**Потапов Андрей Владимирович** –

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Железнодорожный путь, машины и оборудование»

Российского государственного открытого технического университета путей сообщения

*Статья поступила в редакцию 11.05.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 37.017.4(470)

**В.П. Ситникова**

### **ОСОБЕННОСТИ ВОСПИТАНИЯ ПАТРИОТИЗМА В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**

*Воспитание патриотизма представляет собой многогранный процесс, который осуществляется различными социальными институтами. Ведущая роль должна принадлежать системе образования, поскольку в ней сосредоточены наиболее эффективные психолого-педагогические механизмы, управляющие формированием личности.*

**V.P. Sytnikova**

### **PATRIOTISM UPBRINGING PECULIARITIES WITHIN MODERN SYSTEM OF EDUCATION IN RUSSIA**

*Patriotic education is a many-sided process, which is carried out by various institutes. The leading role must belong to the system of education which concentrates in itself the most effective psychologically-pedagogical mechanisms, which control the formation of the personality.*

Возвращение к изучению патриотизма как социокультурного феномена вызвано потребностью российского общества в восстановлении социальной стабильности, нарушение которой было обусловлено рядом причин. Наиболее значимыми из них стали переход страны к новому общественному укладу и влияние глобализации. Патриотическое воспитание является важнейшей составляющей духовно-нравственного пространства, мировоззренческих основ личности, высших социально значимых ценностей.

В условиях становления демократического государства и глобальных социокультурных взаимодействий было бы глубоко неверным ориентировать общество на одностороннее формирование у граждан лишь патриотизма, не опираясь на целостный, системный подход воспитания личности как таковой. Подлинный патриотизм не возможен как отдельное качество личности, он неразрывно связан с другими, такими как коллективизм, гражданственность, толерантность, ответственность, гуманизм и другие. Акцент внимания только на пат-

риотическом воспитании вызовет искусственность, негатив и реакцию отторжения. В связи с этим проблему формирования патриотизма у молодежи необходимо рассматривать в комплексе проблем духовно-нравственного воспитания.

Кризис в российском обществе породил конфликт поколений, который не исчерпывается традиционным для любого общества расхождением «отцов и детей» во взглядах, во вкусах и манере поведения. В России он касается философских, мировоззренческих, духовных основ развития общества и человека, базисных взглядов на экономику и производство, материальную жизнь общества. Поколение «отцов» оказалось в положении, когда передача материального и духовного наследия преемникам практически отсутствует. В российском обществе налицо разрыв поколений, отражающий раскол исторического развития. Мировой опыт учит, что недостаточное внимание к вступающему в жизнь молодому поколению превращает его в мощный фактор дестабилизации общества [1, с.20].

Молодежь наиболее адекватна векторным тенденциям развития и в определенной степени может быть охарактеризована как лидирующая группа общества. От этой группы, от качественных ее характеристик – уровня образования и профессиональной подготовки, нравственных основ, мировоззренческой позиции, патриотической направленности – зависит будущее России, ее обороноспособность, экономический, политический, культурный потенциал. «Молодежь – это один из скрытых ресурсов, которые имеются в каждом обществе и от мобилизации которых зависит его жизнеспособность» [2, с.443].

Любое цивилизованное общество регулирует процесс социализации и воспитания вступающих в жизнь поколений. Понятие социализации родственно понятию воспитания. Но воспитание в отличие от социализации подразумевает прежде всего направленные действия, посредством которых человеку сознательно стараются привить желаемые черты и свойства [3, с.134]. «Обучение и воспитание суть стороны единого процесса образования» [1, с.482]. Ценность образования связана с наличием в нем научно-методологической основы, позволяющей эффективно выполнять педагогическую функцию. Поэтому воспитание патриотизма в формате системы образования является наиболее действенным. Социализация же может осуществляться и неорганизованным путем, что зачастую дает противоположный результат.

Цели образования и воспитания порождаются условиями и потребностями экономического, политического, культурного развития общества. В них отражается социальный заказ государства по формированию у своих граждан морально-этических и иных личностных качеств. «Ответ на вопрос, чему и как надо учить молодежь, в большей степени зависит от характера того вклада, который ожидает от молодежи общество» [2, с.442]. «Образование формирует не человека вообще, а человека в данном обществе и для этого общества» [2, с.479].

Являясь важнейшим фактором развития не только экономической жизни, но и общества в целом, образование приобретает одну из ведущих социальных ролей в современном мире. «Образование призвано носить характер воспитывающего и развивающего обучения. Оно, в соответствии с «Национальной доктриной образования в Российской Федерации», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 4.10.00 г. № 751, обеспечивает реализацию целого ряда воспитательных задач; в т.ч. воспитание патриотов России» [4].

Академик Н.Д. Никандров обоснованно заметил: «Россия сегодня переживает кризис ценностей и соответственно всей системы социализации подрастающего поколения... Кризис – это не катастрофа, но последняя может наступить, если действительно тревожным симптомам и глубинным процессам в ценностных ориентациях не противопоставить активное действие, и прежде всего в системе организованного образования» [5, с.2]. Отказ от старой идеологии при отсутствии достойной новой автоматически привел к отказу от накопленного педагогического опыта, его принципов и подходов к организации педагогического процесса. Произошло качественное изменение системы обучения и воспитания. Существовавшая раньше разветвленная воспитательная система, представлявшая собой специально организованный процесс формиро-



вания высших ценностей, трансформировалась и сжалась, став неспособной к выполнению своей воспитательной функции. В.Т. Лисовский пишет, что «воспитание, если рассматривать его как функцию современного образования, представляет собой систему содействия процессу самостоятельного развития способностей и готовности к высокой культуре социальной самореализации личности специалиста с высшим образованием» [1, с.486]. Следует согласиться с его мнением, поскольку, действительно, воспитание и обучение перестали быть органичным единством всего образовательного пространства. В нем утратилось единство целей, достигаемых с помощью этих обязательных составляющих: образование ориентируется на трансляцию научных и профессиональных знаний, а процесс воспитания личности происходит самостоятельно, образование лишь в какой-то мере сопутствует этому. Воспитание все больше трансформируется в социализацию, где становление личностных качеств осуществляется не только методически целенаправленным, но и неорганизованным способом.

Становление гражданского общества требует конструирования прежде всего общей системы духовно-нравственных ценностей. До недавнего прошлого надежду на формирование ценностных ориентаций у учащейся молодежи возлагали на гуманизацию образования, что обусловило введение гуманитарных наук в систему образования. Учебные планы пополнились такими дисциплинами, как социология, культурология, религиоведение, философия, юриспруденция. Однако, несмотря на мировоззренческую функцию, действительно выполняемую этими дисциплинами, процесс воспитательной интеграции гуманитарных наук в образовании так и не осуществился. Понимание и усвоение учащейся молодежью мировоззренчески-ориентирующего характера общечеловеческих и национальных ценностей происходит формально, выражается в запоминании определений, фактов и дат. «Следует отметить, что российское образование, в первую очередь, гуманитарное, содержащее в себе воспитательную функцию, в его нынешнем виде совершенно недостаточно реализует задачу патриотического воспитания» [4]. Современные образовательные учреждения, главным образом, осуществляют трансляцию знаний и привитие профессиональных навыков, но не развивают умение мыслить и воспринимать знания как часть культуры своей страны, своего пространственно-временного бытия.

В формировании патриотического сознания молодого поколения изучение истории играет особую роль. Воспитательное значение несут в себе не только примеры великого прошлого. В истории каждого государства есть печальные и мрачные страницы, которые должны служить учащимся логичным следствием из поступков как отдельных людей, так и целых народов, и являться яркими нравственными уроками. Знание истории не только расширяет кругозор, но и позволяет лучше ориентироваться в происходящем и использовать все рациональное из опыта предшествующих поколений. Однако сегодня существует не только плюрализм мнений на исторические события, но и впадение в историческое и культурное забвение. «Если общество практикует историческое и культурное забвение, оно превращает своих сограждан в маргиналов, обрекающих его на вырождение. Отсюда, усилия педагогов воспитать гражданско-патриотические чувства у молодежи, задать им соответствующую нравственную установку сегодня чаще всего терпят крах» [6]. Существенное значение имеют не только сам предмет, но и методы его преподавания. «Мало полезен курс истории, практически во всех учебниках он состоит из стандартных разделов: многовековое развитие сводится к непрерывным войнам, кто-то жестоко завоевывал, мы освобождали отнятые у нас территории и сами что-то отнимали. Восстания, революции, государственные деятели для школьника останутся пустым звуком, если не рассматривать особенности людей» [7, с.133-134].

В сегодняшней России друг с другом конкурируют десятки разных учебников по истории Отечества. Чрезмерный плюрализм в школьных учебниках ведет к нарастанию разобщенности населения России, разнобою в коллективном культурном опыте, к несовпадению культурных миров даже в пределах одного города. «Нередко, особенно до последнего времени некоторыми представителями системы среднего и высшего образования переводились

или копировались учебные пособия, способствовавшие депатриотизации образовательной системы. В особенности это относится к таким предметам как история, литература и обществознание» [4].

Успех образовательной системы напрямую зависит от профессиональных, личностных качеств и культурного уровня педагогов. Особенно значимо мировоззрение будущего учителя, который станет главным проводником на пути формирования ценностей своих учеников, их гражданской, духовно-нравственной культуры, менталитета, который основывается на осознании причастности к истории своего Отечества, готовности внести свой посильный вклад в развитие страны, заинтересованности в переустройстве общества на принципах гуманизма. Подготовку будущего педагога в современных условиях нужно рассматривать как интегральный процесс, направленный на формирование целостности его личности, в основе мировоззренческих установок которой заложена нравственность, что обусловлено содержанием его труда. Именно преподаватель выполняет социальную миссию сохранения и развития культуры через воспитание молодого поколения.

Снижение в обществе социального статуса научно-педагогических работников, отсутствие у преподавателей материальных и моральных стимулов для эффективного педагогического труда отрицательно влияет на воспитательную систему в вузах, которая всё больше приобретает формальный характер. «Общезначимо понимание образования как стратегической сферы развития интеллектуального потенциала нации, а высокое качество жизни, как показывает исторический опыт, является эффективным стимулятором роста гражданских чувств, патриотизма. Поэтому образование – абсолютный приоритет в бюджетах цивилизованных государств» [7, с.144].

Сложность возрождения патриотизма определяется множеством причин, свойственных кризисному обществу, но наиболее существенной стала утрата связи между практической деятельностью образовательных учреждений и научной средой, ориентированной на активное изучение социальных проблем, между трансляцией профессиональных знаний и одновременным воспитательным процессом. «...В формировании научно-теоретических и методических основ патриотического воспитания используются далеко не все возможности. Лишь в незначительной степени задействован творческий потенциал деятелей науки РАН, РАМН, РАО и других научных, а также образовательных учреждений. Особенно недостаточно научных исследований по разработке путей повышения эффективности критериев и методик оценки результатов патриотического воспитания граждан» [8, с.11].

Ситуация осложняется ещё и тем, что в научном и публицистическом пространстве, в государственных документах и обыденном представлении нет единого толкования понятия «патриотическое» [9, с.305]. В результате различное понимание феномена патриотизма и терминологическая неопределенность вносит затруднения в работу педагогов-практиков по формированию патриотизма как ценности. Тем самым сохраняется патриотическая дезориентация молодежи.

Тем не менее, не следует думать, что процессы дестабилизации, захлестнувшие современное российское общество, оставляют равнодушными своих граждан к духовным проблемам. Набирающий обороты научно-публицистический дискурс о проблемах патриотического воспитания молодежи свидетельствует о начале возрождения гражданственности и духовности. Эти процессы основываются на понимании того, что прогрессивное развитие современного российского общества вряд ли возможно без духовного возрождения, реформирования мышления, коренного изменения сознания и психологии людей в соответствии с новыми реалиями в понимании прошлого и настоящего, в видении будущего. «Я мыслю себе XXI век, – пишет академик Д.С. Лихачев, – как век развития гуманитарной культуры, культуры доброй и воспитывающей, закладывающей свободу выбора профессии и применения творческих сил. Образование, подчиненное задачам воспитания, разнообразие средних и высших школ, возрождение чувства собственного достоинства, не позволяющего талантам уходить в преступ-

ность, возрождение репутации человека как чего-то высшего, которой должно дорожить каждому, возрождение совестливости и понятия чести – вот в общих чертах то, что нам нужно в XXI веке. Не только русским, но особенно русским, потому что именно это мы в значительной мере потеряли в нашем злополучном XX веке» [10]. Именно в рамках социального института образования эти цели становятся наиболее гармоничными и достижимыми.

Процесс патриотизации испытывает на себе те же трансформационные воздействия, которые претерпевает вся образовательная система. Эти обстоятельства диктуют необходимость в пересмотре и обновлении воспитательных программ, направляющих молодые поколения в русло патриотической и духовно-нравственной устремленности. Методология этой работы, разработка новых технологий воспитания студенчества, содержание, формы и средства образовательной системы должны быть направлены на подготовку высококвалифицированного специалиста, демократически ориентированной личности, активного участника общественных процессов с четкими нравственными установками и высоким уровнем культуры. Таким образом, на фоне противоречивых политико-экономических и духовно-нравственных процессов, колеблющих российское общество, социальный институт образования должен сохранить свое первостепенное значение как в вопросах профессиональной подготовки молодых кадров, так и их патриотического и духовно-нравственного воспитания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лисовский В.Т. Духовный мир и ценностные ориентации молодежи России / В.Т. Лисовский. СПб.: СПбГУП, 2000. 517 с.
2. Манхейм К. Диагноз нашего времени / К. Манхейм; пер. с нем. и англ. М.: Юрист, 1994. 700 с.
3. Кон И.С. Ребенок и общество / И.С. Кон. М.: Наука, 1988. 271 с.
4. Лутовинов В.И. Патриотическое воспитание в образовательной сфере. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.patriotika.ru/files/>
5. Никандров Н.Д. Россия: ценности общества на рубеже XXI века / Н.Д. Никандров. М.: МИРОС, 1997. 144 с.
6. Голикова Л.В. Что значит быть патриотом / Л.В. Голикова // Воспитание гражданственности и патриотизма студенческой молодежи в условиях обновленной России: сб. статей регион. науч.-практ. конф.; под ред. О.В. Лешер, Л.В. Голиковой. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 40-43.
7. Социология образования / В. Ярская, И. Лошакова, Д. Зайцев и др.; под ред. Д. Зайцева. Саратов: СГТУ, 2004. 330 с.
8. Критерии и основы методики оценки результатов работы по патриотическому воспитанию / под ред. Ю.П. Квятковского. М.: Армпресс, 2006. 69 с.
9. Яновский Р.Г. Патриотизм. О смысле создающего служения Человеку, Народам России и Отечеству / Р.Г. Яновский. М., 2004. 528 с.
10. Лихачев Д.С. О национальном характере русских / Д.С. Лихачев // Вопросы философии. 1990. № 4. С. 3-4.

**Ситникова Вера Петровна** –  
аспирант кафедры «Социология и психология»  
Астраханского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 18.10.06, принята к опубликованию 21.11.06*

**С.А. Федин**

### **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОЛОДЁЖНОЙ ПОЛИТИКИ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ**

*Региональный фактор молодежной политики становится необходимой социальной инновацией, ключевым фактором развития территорий. Вместе с тем, региональные аспекты формирования молодежной политики продолжают оставаться малоизученными. Обозначены основные слагаемые региональной политики в Саратовской области: правовые основы региональной государственной молодежной политики, структура деятельности органов по работе с молодёжью в регионе, политическое участие молодежи, воспитание гражданских и патриотических качеств молодежи.*

**S.A. Fedin**

### **THE STATE YOUTH POLICY DEVELOPMENT STRATEGY: REGIONAL ASPECT**

*The regional factor of the youth policy is getting an essential social innovation, the key factor of regional development. At the same time, regional aspects of the youth policy formation keep remaining insufficiently known. The main components of Saratov regional policy are marked in the article. These are legal basics of the regional state youth policy, sphere of action of youth policy institutions of local governing, participation of young people in political life and upbringing their civil and patriotic qualities.*

Проблемы молодежи в современных условиях приобретают исключительно важную значимость. Открытость современного российского общества, его радикальная модернизация диктуют необходимость выработки такой молодежной политики, которая ограничивала бы «утечку мозгов», открывала простор индивидуальному творчеству, расширяла возможности формирования прочного человеческого капитала в России.

Стратегия социально-экономического развития России требует включения в систему действий по реализации её приоритетных направлений всех социальных институтов общества. Прежде всего это относится к институту государственной молодежной политики, ориентированного на привлечение молодежи к развитию форм общественного самоуправления, обеспечению национальной безопасности и реализации национальных проектов.

В современных условиях молодежь все чаще рассматривается как важнейший стратегический ресурс страны. Именно в этой категории граждан фокусируются перспективы не только экономического роста, но и суверенитета, устойчивого развития страны, осуществления государственной внешней и региональной политики, развития духовно-нравственного потенциала. Инновационный путь развития российского общества также в значительной степени будет зависеть от молодежи. И, наконец, молодые люди – это родители в будущем. От того, как они будут относиться к своим обязанностям по воспитанию детей, во многом будет зависеть качество человеческого капитала. Молодёжь станет основным трудовым ресурсом страны, её трудовая деятельность, в большей степени, чем её родителей, станет источником средств для социального обеспечения детей, инвалидов и пожилых поколений.

Следовательно, молодежная политика современной России представляет собой важнейшее стратегическое направление общей политики государства. К сожалению, ее современное состояние не позволяет решить целый ряд молодежных проблем, не может способствовать эффективной социализации молодого поколения. Более того, продолжает сохраняться противоречие, при котором формирование содержания и направлений деятельности в молодежной среде происходит на общегосударственном уровне, а условия для воспитания, развития, самоорганизации молодежи создаются в основном в регионах.

Региональный фактор молодежной политики становится необходимой социальной инновацией, ключевым фактором развития территорий. Вместе с тем, региональные аспекты формирования молодежной политики продолжают оставаться малоизученными. В этой связи нами предпринята попытка выявить проблемы и перспективы развития молодежной политики в Саратовской области. Основными слагаемыми региональной политики являются: правовые основы региональной государственной молодежной политики, финансовое обеспечение, образование, здоровье, политическое участие молодежи, воспитание гражданских и патриотических качеств молодежи.

При обосновании специфики молодежной политики нужно исходить из следующего понимания молодежного социума. Молодежный социум не является саморазвивающейся системой, его жизнь обусловлена существующими социально-экономическими и политическими условиями.

Молодежный социум включает в себя различные категории молодежи, которые имеют различные возрастные и профессиональные характеристики, а также различные ценностные установки и жизненные ориентиры. К ним относятся:

- школьная молодежь в возрасте до 18 лет;
- студенческая молодежь системы среднего профессионального образования;
- студенческая молодежь системы высшего образования;
- молодежь допризывного возраста;
- молодежь, уволенная с военной службы;
- работающая молодежь;
- семейная молодежь;
- этнические группы молодежи.

Субъектами правоотношений, возникающих в сфере молодежной политики, являются:

- молодые граждане (молодежь);
- молодежные парламентские структуры;
- молодежные и детские общественные объединения;
- органы государственной власти области, реализующие молодежную политику;
- органы местного самоуправления;
- специализированные учреждения по работе с молодежью;
- иные юридические и физические лица, принимающие участие в реализации молодежной политики области.

Центральным императивом в формировании нормативной базы молодежной политики является Конституция РФ. Статьи 6,7, 13, 28, 29, 30, 31, 38, 43, 45 и 46 прямо или косвенно затрагивают права молодежи и являются определяющими в развитии нормативного обеспечения молодежной политики.

С точки зрения отраслевого подхода молодежная политика на территории Саратовской области осуществляется в соответствии с Постановлением Верховного Совета РФ от 3 июня 1993 г. № 5090-1 «Об основных направлениях государственной молодежной политики в РФ», Федеральным законом от 28.06.1995 г. 98-ФЗ (ред. от 22.08.2004 г.) «О государственной поддержке молодежных и детских общественных объединений», законами Саратовской области «О молодежной политике в Саратовской области» от 09.10.2006 г. № 94-ЗСО, «О государственной поддержке молодежных и детских общественных объединений

Саратовской области» от 24.10.2001 г. 50-ЗСО (ред. от 21.12.2004 г.), а также областной целевой программой «Молодежь Саратовской области» на 2006-2008 годы, принятой постановлением Саратовской областной Думы от 14.12.2005 г. № 47-1911 и представляет собой деятельность государства, направленную на создание правовых, экономических, организационных условий и гарантий для самореализации личности молодого человека и развития молодежных объединений, движений, инициатив.

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 31 декабря 2005 г. № 199-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с совершенствованием разграничения полномочий» (ст.23) Федеральный закон от 6 октября 1999 года № 184-ФЗ «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации», к полномочиям органов государственной власти субъекта Российской Федерации по предметам совместного ведения, осуществляемым данными органами самостоятельно за счет средств бюджета субъекта Российской Федерации (за исключением субвенций из федерального бюджета), относится решение вопросов «об осуществлении региональных и межмуниципальных программ и мероприятий по работе с детьми и молодежью» (п. 58).

Вышеуказанный Федеральный закон (ст.29) дополняет Федеральный закон от 6 октября 2003 года № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации», глава 3 «Вопросы местного значения», пунктами следующего содержания:

- организация и осуществление мероприятий по работе с детьми и молодежью в поселении (ст.14, ч.1, п.30);
- организация и осуществление мероприятий межпоселенческого характера по работе с детьми и молодежью (ст.15, ч.1, п.27);
- организация и осуществление мероприятий по работе с детьми и молодежью в городском округе (ст.16, ч.1, п.34).

Документом, регулирующим деятельность органов власти, учреждений, организаций, объединений молодежи является Закон Саратовской области «О государственной поддержке молодежных и детских общественных объединений» в редакции Закона Саратовской области от 29.12.2004 № 135-ЗСО. Настоящий Закон определяет общие принципы, содержание, меры и механизм осуществления государственной поддержки региональных (областных) молодежных и детских общественных объединений (далее – молодежные и детские объединения).

Под государственной поддержкой молодежных и детских объединений понимается совокупность мер, принимаемых органами государственной власти области в соответствии с законодательством Российской Федерации и Саратовской области в сфере молодежной политики в целях создания и обеспечения правовых, экономических и организационных условий деятельности таких объединений, направленных на социальное становление, развитие и самореализацию детей и молодежи в общественной жизни, а также в целях охраны и защиты их прав.

Систематизировать деятельность в сфере молодёжной политики в соответствии с существующей нормативной правовой базой позволяет **Стратегия государственной молодежной политики в Российской Федерации** (далее – Стратегия).

Принятие Стратегии стало на федеральном уровне первым шагом, за последнее десятилетие, в направлении признания молодёжи специфической социально-демографической группой и понимания необходимости конкретной работы с ней. Поэтому хотелось бы остановиться подробнее на содержании указанного документа.

Стратегия государственной молодежной политики в Российской Федерации утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2006 г. № 1760-р. Она разработана на период до 2016 года и определяет совокупность приоритетных направлений, ориентированных на молодежь, включающих задачи, связанные с участием молодежи в реализации приоритетных национальных проектов.

**Государственная молодежная политика** является системой формирования приоритетов и мер, направленных на создание условий и возможностей для успешной социализации и эффективной самореализации молодежи, для развития ее потенциала в интересах России и, следовательно, на социально-экономическое и культурное развитие страны, обеспечение ее конкурентоспособности и укрепление национальной безопасности.

Государственная молодежная политика формируется и реализуется органами государственной власти и местного самоуправления при участии молодежных и детских общественных объединений, неправительственных организаций и иных юридических и физических лиц.

Настоящая стратегия ориентирована преимущественно на граждан Российской Федерации в возрасте от 14 до 30 лет, в том числе на молодых людей, оказавшихся в трудной жизненной ситуации, а также на молодые семьи.

Целью государственной молодежной политики является развитие и реализация потенциала молодежи в интересах России.

Учитывая тенденции социально-экономического и общественно-политического развития России на среднесрочную перспективу, государственная молодежная политика в Российской Федерации будет реализована по следующим приоритетным направлениям:

1) для вовлечения молодежи в социальную практику и ее информирование о потенциальных возможностях развития предусмотрены следующие проекты:

«Российская молодежная информационная сеть «Новый взгляд»;

«Доброволец России»;

«Карьера»;

«Молодая семья России»;

2) с целью развития созидательной активности молодежи, предусмотрены проекты: «Команда» и «Успех в твоих руках»;

3) для реализации приоритетного направления, включающего интеграцию молодых людей, оказавшихся в трудной жизненной ситуации, в жизнь общества, предусмотрен проект «Шаг навстречу».

В рамках каждого проекта Министерством образования и науки Российской Федерации с участием уполномоченных органов по работе с молодежью субъектов Российской Федерации разрабатывается технико-экономическое обоснование, которое будет содержать цели соответствующего приоритетного направления Стратегии, основные федеральные и региональные приоритеты и значения индикаторов государственной молодежной политики. К этой работе будут привлечены научные и молодежные общественные организации.

Для привлечения исполнителей приоритетного направления, прежде всего из числа уполномоченных органов по работе с молодежью субъектов Российской Федерации и общественных организаций, работающих в молодежной сфере, будут проведены конкурсы.

Главным результатом реализации Стратегии должны стать улучшение положения молодежи в обществе и, как следствие, увеличение вклада молодых людей в развитие страны.

Реализацией молодежной политики на региональном и муниципальном уровнях занимаются отраслевые министерства: образования, культуры, здравоохранения и социальной поддержки, физической культуры, спорта и туризма, а также областная комиссия по делам несовершеннолетних. В муниципалитетах реализацией молодежной политики занимаются соответствующие комитеты и управления. Всего деятельностью муниципальных органов по работе с молодежью охвачено более 200 тыс. человек.

Значимость молодежной государственной политики определяется тем, что молодое поколение составляет существенную часть граждан Саратовской области – 607,9 тысяч человек (22,9% от общей численности населения), из которых более 230 тысяч – сельская молодежь. Вместе с тем обозначилась тенденция снижения численности молодежи в Саратовской области, вызванная проблемами трансформации современного российского общества. Так,

по состоянию на 1 января 2002 года численность молодежи области составляла более 640 тыс. человек, а уже на 1 января 2006 года – около 608 тысяч.

Согласно постановлению губернатора Саратовской области от 31 октября 2003 года № 310 «Об изменении структуры органов исполнительной власти Саратовской области», функции по реализации молодежной политики переданы министерству образования области. В настоящее время деятельность в сфере молодежной политики координирует отдел молодежной политики министерства образования области. Формирование приоритетов и направлений реализации региональной молодежной политики ведётся в Саратовской области с 1997 года. Именно с этого года началось создание системы государственной молодежной политики. С 2000 года работа с молодежью осуществляется на основе соответствующих программ.

Первая программа была рассчитана на 2000-2002 гг. Она имела целью разработку нормативно-правовой базы, выявление молодежной проблематики, проведение мониторинга и разработку направлений деятельности в области государственной молодежной политики. Кроме того, она предусматривает содействие формированию организационно-кадровой структуры органов по молодежной политике области и не требовала финансирования.

Областная целевая программа «Молодежь Саратовской области» на 2003-2005 годы» продолжила развитие правовых, экономических, организационных и социальных условий для реализации региональной молодежной политики, разработку механизмов ряда направлений: гражданского становления, духовно-нравственного воспитания, формирования здорового образа жизни и личностной самореализации молодежи в современных условиях.

Основными целями областной целевой программы «Молодежь Саратовской области» на 2006-2008 годы являются: создание необходимых условий для самореализации молодых людей, выбор ими своего жизненного пути, ответственное участие во всех сферах жизнедеятельности региона, эффективное функционирование системы патриотического воспитания молодых граждан области.

В целях оптимизации и устранения дублирования существующих областных программ в сфере молодежной политики реализация областной целевой программы «Молодежь Саратовской области» на 2006-2008 годы осуществляется в рамках двух подпрограмм: «Социализация молодого поколения» и «Патриотическое воспитание детей и молодежи».

К числу наиболее крупных мероприятий, проведенных министерством образования в 2006 году и направленных на совершенствование форм работы с детьми и молодежью на местах, являются:

- областной конкурс на соискание молодежной премии имени П.А. Столыпина, в котором приняло участие более 150 молодых людей области, 6 из них удостоены премии;
- конкурс научных работ студентов высших учебных заведений «Студенческая наука», участниками которого стали более 250 студентов, победителями – 24 человека;
- областной конкурс программ и проектов молодежных и детских общественных объединений области – 5 общественных организаций получили финансовую поддержку в реализации проектов;
- областной турнир команд КВН, участие делегации Саратовской области в XVII Международном фестивале команд КВН в г. Сочи;

По итогам поездки 3 саратовские команды («Наши люди» Саратовского государственного социально-экономического университета, «Страничка юмора» Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, сборная команда Энгельсского муниципального образования «Территории Эн») вошли в 140 лучших команд страны и получили право играть в Приволжской лиге КВН.

Команда Саратовского государственного медицинского университета «Парадокс» вошла в 90 лучших команд России и в 2006 году стала участником игр Премьер-лиги команд КВН;



– областной фестиваль «Студенческая весна», который в 2006 году прошел под девизом «Твори добро» и объединил более 50 тысяч молодых людей области.

По итогам областного фестиваля министерством сформирована делегация Саратовской области, которая приняла участие в XIV Всероссийском фестивале-финале программ «Российская студенческая весна-2006» в г. Волгограде.

По результатам конкурсных выступлений саратовские студенты получили 12 наград (5 исполнителей и 7 коллективов). По общему зачету Саратовская область впервые заняла I-е место во Всероссийском фестивале-финале программ «Российская студенческая весна» (успех был закреплен победой на фестивале в 2007 году);

– V областной Молодежный форум, организованный на базе 5 муниципальных районов области (г. Аткарск, Красный Кут, Маркс, Энгельс, Петровск);

– областной конкурс учащихся, студентов и работающей молодежи, занятых на сельскохозяйственных работах в летний период «Урожай-2006», в котором ежегодно принимают участие более 10 тыс. молодых людей;

– областной конкурс Интернет-проектов в сфере профилактики наркозависимости, табакокурения, алкоголизации в молодежной среде, областной конкурс на лучшую антирекламу алкогольных, табачных изделий и наркотических средств и другие мероприятия.

В целях привлечения молодежи к участию в социально-экономическом развитии области постановлением губернатора области от 11 ноября 2005 года № 265 создан Молодежный совет Саратовской области, включающий представителей всех категорий молодежи.

На основании положения о Молодежном совете в его состав входят 3 палаты: палата представителей муниципальных образований области, палата представителей учащейся и работающей молодежи, палата представителей молодежных и детских общественных объединений области.

В настоящее время в составе Совета представлены 93 молодых человека из всех муниципальных районов области, 12 молодежных и детских общественных объединений, 31 учебное заведение, 10 предприятий области.

На уровне муниципальных образований области созданы и ведут активную работу Молодежные советы при главах муниципальных районов области. Активизации работы советов способствует ежегодно проводимый министерством образования области конкурс на лучшую работу Молодежных советов «Твори добро!».

В целях организации межведомственного взаимодействия в сфере реализации молодежной политики постановлением правительства Саратовской области от 22 ноября 2005 года № 396-П создана межведомственная комиссия по вопросам молодежной политики в Саратовской области.

На уровне муниципальных образований организационно-кадровая структура работы с молодежью начала складываться с 1998 года. После ряда реорганизаций в связи с изменениями федерального и регионального законодательства в настоящее время значительно сократилось число специалистов, работающих в данной сфере, а также распалась ранее выстроенная структура органов молодежной политики.

В соответствии с областной структурой в 2004 году функции по реализации молодежной политики в 9 муниципальных образованиях области и 1 ЗАТО были переданы в органы управления образованием (Ардакский, Федоровский, Базарно-Карабулакский, Балашовский, Ершовский, Новобурасский, Ровенский, Ртищевский, Самойловский районы, ЗАТО п. Светлый). Но в 23 муниципальных образованиях и 1 ЗАТО управление молодежной политикой оставалось в структуре органов по спорту и физической культуре (Александрово-Гайский, Балаковский, Балтайский, Духовницкий, Екатериновский, Калининский, Красноармейский, Краснокутский, Лысогорский, Марксовский, Новоузенский, Озинский, Перелюбский, Петровский, Питерский, Пугачевский, Романовский, Саратовский, Советский, Татищевский, Турковский, Хвалынский районы, ЗАТО Шиханы).

В Аткарском, Вольском, Энгельском районах и г. Саратове в структуре администраций существовали самостоятельные подразделения по молодежной политике.

В Воскресенском, Ивантеевском и Краснопартизанском районах специалисты по делам молодежи в административных структурах отсутствовали.

В связи с проведенными изменениями в структуре органов исполнительной власти области и местного самоуправления в настоящее время в 17 муниципальных районах области и г. Саратове функции по реализации молодежной политики переданы в органы управления образованием. В 11 муниципальных районах специалисты по молодежной политике остаются в структуре органов по физической культуре, спорту и туризму, в остальных районах специалисты по молодежной политике находятся в структуре органов иной направленности или непосредственно при администрации. В Саратовском и Перелюбском районах органов по работе с молодежью в структуре администраций нет.

В ряде муниципальных районов один специалист совмещает функции по молодежной политике с другими направлениями муниципальной деятельности (Аткарский, Краснопартизанский, Хвалынский, ЗАТО Шиханы и другие районы).

Как показывает практика, совмещение должностных обязанностей не способствует качеству работы по реализации молодежной политики в муниципальных районах области. Понижение статуса приводит к тому, что опытные специалисты теряют в заработной плате и вынуждены искать более высокооплачиваемую работу, а также теряется возможность вести эффективное межведомственное взаимодействие.

На уровне муниципальных районов действуют нормативные документы, которые детализируют областную программу «Молодежь Саратовской области» применительно к условиям районов. Это – решения представительных органов власти, распоряжения, постановления глав администраций районов по вопросам работы с детьми и молодежью, распорядительные документы отраслевых управлений и комитетов.

На 1.09.2006 года в 35 муниципальных районах области утверждены программы «Молодежь района» на период до 2008 года. В остальных муниципальных районах проекты программ «Молодежь района» на 2006-2008 годы находятся в стадии разработки или на согласовании в администрациях районов.

Как показывает сама жизнь в последние годы в стране, Приволжском Федеральном округе и конкретно в Саратовской области, в работе с молодежью стали просматриваться определенные позитивные сдвиги. Депутаты Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации 9 февраля 2007 года выступили с обращением к Президенту РФ объявить 2008 год – Годом Молодежи (к сожалению, это предложение было отклонено и 2008 год планируется объявить Годом Семьи). По их мнению, это необходимо в связи с насущной потребностью в более четкой координации государственной политики и нормативно-правового регулирования в сфере молодежной политики. Также депутаты просят создать на федеральном уровне самостоятельную структуру управления для разработки и реализации государственных молодежных программ, координацией инициатив молодежных общественных организаций. Важным событием явилось объявление Полномочным Представителем Президента РФ в Приволжском Федеральном округе А.В. Коноваловым 2007 года – Годом Молодежи в ПФО. В Саратовской области в 2006 году был принят Закон Саратовской области «О молодежной политике в Саратовской области» от 09.10.2006 г. № 94-ЗСО. Однако, та же действительность свидетельствует о том, что в этом направлении предстоит решить немало сложных и актуальных проблем.

Прежде всего, на наш взгляд, необходим комплекс действий со стороны различных социальных институтов, управленческих мер по вопросам государственной молодежной политики. Представляется целесообразным сформировать новую, более продуманную правовую базу, регулирующую особенности отношений социальных институтов и молодых граждан в различных сферах. На первом этапе важно сформировать четкую и конкретную кон-

цепцию государственной молодежной политики России. Первое, что было бы чрезвычайно полезно, – это обсуждение на заседании Государственного совета Российской Федерации вопроса о концепции государственной молодежной политики в России. Второе: после принятия концепции необходимо разработать и принять Федеральный закон о молодежи. Следующим шагом для реализации государственной молодежной политики в рамках обновления законодательства должна быть разработана и принята Правительством России долгосрочная (на 10 лет) федеральная программа «Молодежь России». Необходимо учитывать интересы государства в обеспечении экономики квалифицированными кадрами. Следовало бы выработать государственную политику в области развития людских ресурсов, образования, подготовки кадров и непрерывного их обучения. Такой подход, безусловно активизировал бы работу в сфере молодежной политики и на региональном уровне. Практика реализации приоритетных национальных проектов демонстрирует возможность решения конкретных социальных вопросов, в том числе и молодежных.

Жизнь требует изменить сегодня подходы к реализации молодежной политики, изменить приоритеты, выстроить модели решения молодежных проблем. Безусловно, работа в этом направлении невозможна без выработки параметров эффективности оценки молодежной политики. 2007 год может стать годом реальных изменений в молодежной политике.

Выделяется ряд проблем на федеральном, региональном и муниципальном уровнях, снижающих эффективность работы с детьми и молодежью:

- отсутствие глубокой научной обоснованности государственной молодежной политики, логической скоординированности с другими сферами государственной политики, приводящей к определенной искусственной замкнутости молодежной проблематики относительно других направлений деятельности государства (социальная политика, кадровая политика, вопросы обеспечения и соотношения социализации и воспитания и др.);

- недостаточная разработанность нормативной правовой базы;

- отсутствие соответствующей потребностям инфраструктуры учреждений по работе с молодежью, направлений их деятельности, адекватно отвечающих потребностям, интересам и проблемам молодежной сферы;

- недостаточный уровень кадрового и финансового обеспечения работы с детьми и молодежью;

- отсутствие на федеральном уровне и в субъектах Российской Федерации системы диагностики и комплексного социального мониторинга состояния молодежной сферы;

- отсутствие единого информационного банка данных о действующих в сфере государственной молодежной политики государственных органах управления, их учреждениях, профильных направлениях деятельности, социальных, педагогических, иных технологий работы с молодежью.

Устранению названных явлений и следовало бы, как нам представляется, подчинить деятельность в первую очередь государственных органов федерального, регионального и муниципальных уровней.

Среди важнейших задач формирования современной молодежной политики следует выделить: совершенствование нормативно-правовой базы, разработку молодежной политики на уровне регионов, выработку механизмов реализации молодежной политики, решение кадровых проблем управления процессами социализации, трудоустройства и образования молодежи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Российской Федерации. М.: Маркетинг, 2001. 1997. 39 с.
2. Закон СССР «Об общих началах государственной молодежной политики в СССР» // Известия. 1991. 5 мая.

3. Федеральный закон «Об общественных объединениях» № 82-ФЗ от 19 мая 1995 г. в редакции Федерального закона 19.07.98 г. № 112-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 1998. № 30. Ст. 3608.

4. Федеральный закон «О государственной поддержке молодежных и детских общественных объединений» № 98-ФЗ от 28.06.98 года // Собрание законодательства РФ. 1995. № 27. Ст. 25.03.

5. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с совершенствованием разграничения полномочий» № 199-ФЗ от 31 декабря 2005 г. Ст. 23, 29.

6. Указ Президента Российской Федерации «О первоочередных мерах в области государственной молодежной политики» № 1075 от 16 сентября 1992 г. // Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации. 1992. № 12. Ст. 924.

7. Постановление Верховного Совета Российской Федерации № 5090-1 от 3 июня 1993 года «Об основных направлениях государственной молодежной политики в Российской Федерации» // Ведомости Съезда народных депутатов Российской Федерации и Верховного Совета Российской Федерации. 1993. № 25. Ст. 903.

8. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1760-р от 18 декабря 2006 года об утверждении «Стратегии государственной молодежной политики в Российской Федерации».

9. Закон Саратовской области «О молодежной политике в Саратовской области» № 94-ЗСО от 9 октября 2006 года.

10. Закон Саратовской области «О государственной поддержке молодежных и детских общественных объединений» № 135-ЗСО от 29 декабря 2004 года.

11. Областная целевая программа «Молодежь Саратовской области на 2003-2005 годы». Саратов, 2002.

12. Областная целевая программа «Молодежь Саратовской области» на 2006-2008 годы. Саратов, 2005.

13. Информационная справка «О положении молодежи Саратовской области» / Министерство образования Саратовской области. Саратов, 2006.

**Федин Сергей Александрович** –

начальник отдела молодежной политики министерства образования Саратовской области

*Статья поступила в редакцию 18.04.07, принята к опубликованию 19.06.07*

УДК 316.42: 504.03

**Е.А. Шишкина**

## **ИНФОРМАЦИЯ В ГЛОБАЛИЗИРУЮЩЕМСЯ МИРЕ: СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

*Современная информация представляет собой наиболее действенный механизм, управляющий развитием глобализирующегося социума. Однако в результате всеобщего кризиса, переживаемого современным человечеством, информационное пространство также испытывает неблагоприятные трансформации, что существенно затрудняет процесс формирования*

*экологической культуры и требует поиска новых информационно-коммуникативных технологий в сфере социоприродных взаимодействий.*

**E.A Shishkina**

### **INFORMATION WITHIN THE GLOBALIZING WORLD: SOCIAL-ECOLOGICAL ASPECT**

*The modern information represents the most effective mechanism managing the development of globalizing society. However as a result of the general crisis experienced by modern mankind, the information space also experiences adverse transformations that essentially complicates the process of formation of ecological culture and demands search of new information-communicative technologies in sphere of social-natural interactions.*

Любое общество представляет собой совокупность социальных слоев, групп, индивидов, между которыми неизбежно устанавливаются различные отношения. Эти отношения выступают в качестве связующего звена и обеспечивают целостность всей общественной системы. Являясь предельно сложным, современное общество не просто глубоко дифференцировано по различным социальным характеристикам. Многомерными и сложными становятся и те связи, с помощью которых происходят взаимодействия между общностями.

Создание динамичного, но стабильного общества невозможно без социального общения, способного обеспечить развитие всех сфер общественной жизни. «Целостность и качество (сущность) каждой системы определяется системообразующим признаком. Для понимания сущности общества важнейшим является анализ общения. В широком смысле понятие «общество» означает любую социальную общность, образующуюся в результате общения. Именно общение определяет практически безграничное образование обществ и, одновременно, все общество в его предельно широких границах – человеческое сообщество» [1, с.106]. «Коммуникации, как средства, обеспечивающие взаимосвязь объектов, функционирование и развитие средств материального производства в ходе общественной практики, во все времена выдвигались на первый план среди других средств производства, получали преимущественное развитие» [2, с. 65].

Многообразие форм современного общения привело к появлению нового вида социальных связей, представленного синтезом энергии и вещества и именуемого **информацией**. Именно общение в форме информационных потоков вместе с другими субъективными и объективными причинами направляет развитие как локальных культур, так и всего мирового социума в то или иное русло. «Все это делает правомерным понятие «Информация» как основополагающее при изучении мира социальной реальности, подобно тому, как в физике основополагающим является понятие «Энергия», и все открываемые законы касаются изменений в процессе ее распределения» [3, с.101].

Пронизывая все социальное пространство, включающее сознание масс, информация задает направление социальному действию, а вместе с ним – социально значимому поведению индивидов и общностей. Поэтому именно информационные коммуникации в условиях глобализирующегося мира становятся одним из наиболее мощных механизмов, способных не только обеспечивать социальные взаимодействия, но и определять характеристики социума.

Стремительное развитие глобальных процессов на рубеже XX-XXI веков, проникновение достижений цивилизации в самые потаенные части планеты зависят от множества факторов, таких, как развитие науки, создание эффективных транспортных средств, интенсивные миграционные потоки между соседними и предельно отдаленными регионами, раз-

личные средства массовой коммуникации. Но в основе единства и делимости мира на множество систем, указывают В.Г. Немировский и др., лежит все тот же треугольник: материя – энергия – информация [4, с.55]. Общество является материально, энергетически и информационно открытой системой и в тех же целях, что и живая природа, использует материю, энергию и информацию окружающей среды [5].

Такая точка зрения вполне справедливо указывает на несостоятельность функционалистской концепции, определяющей информацию как свойство самоорганизующихся систем, что ее зарождение связано лишь с появлением человека сознательного, то есть информация есть следствие социальной жизни. Наиболее верной можно считать атрибутистскую точку зрения, согласно которой информация существовала всегда, поскольку она есть свойство любой материи. Информация заложена во всем мире живой и неживой природы, так как все мирозданье сотворено и функционирует по определенному порядку, то есть в соответствии с независимыми от человека объективными законами. Общество же есть та малая часть мироздания, которая способна расшифровать некоторую долю информации и использовать ее в социальных практиках.

В социологическом же и психологическом понимании «информация – это не просто некое возмущение, внешний сигнал, действующий на систему, но и внутренняя оценка этого сигнала, обусловленная активностью психики. ...Оценка информации может быть понята только в контексте отношений «субъект-объект». Качество информации зависит от субъекта, его способности воспринять и обработать информацию» [3]. Поэтому, преломляясь через социальное измерение, информация приобретает новые свойства: она становится не только отражением бытия в общественном сознании, но и продуктом его деятельности.

Для понимания и оценки современной глобальной экологической ситуации важны оба подхода к сущности информации:

1) **информация как вечный атрибут вечной материи**; задача современного человечества заключается в необходимости расшифровать информацию, заложенную в самой природе; этот подход перекликается со схоластической моделью природы, трактующей ее как шифр или текст;

2) **информация как продукт социального развития**; эта информация рождена самим обществом, и она же управляет социальными процессами, определяет качество социоприродного взаимодействия.

Изменения, происходящие в обществе, откладывают соответствующий отпечаток на характер современного информационного поля. Если в 1960-1970-е годы основным источником информации были лишь телевидение, радио и газеты, то сегодня при сохранности их приоритетного положения появились не менее значимые Интернет, рекламные афиши и буклеты, PIAR-технологии коммерческих или предвыборных кампаний. Совершенно исчез из информационного поля такой вид информирования как просветрарбота, проводимая в виде лекций среди работающего населения. Да и сама информация существенно изменилась: она перестала быть констатирующей (что для России во многом было связано с тоталитарным режимом, радикально исключавшим альтернативность мнений) и стала проблемно-дискуссионной, отражающей противоречивый характер времени.

Современная глобализация демонстрирует то, как информация второй категории (**продукт социального развития**) оказывает воздействие на работу СМИ, информационное, политико-экономическое, духовно-культурное поле социума. Она не только навязывает обществу различные системы ценностей, но и манипулирует массовым сознанием и настроением, формирует определенный образ жизни. По мнению В.Г. Немировского и др., было бы явным упрощением полагать, что процесс динамики социума вызван лишь противоречием между производительными силами и производственными отношениями. В его основе лежит противоречивое взаимодействие полярных элементов на трех уровнях социума, но ведущую иницирующую роль играют факторы информационного уровня [4, с.178].

Известно, что поток информации удваивается каждые 20 месяцев. Это ведет к усилению манипуляционного воздействия информации на сознание масс и резкому сокращению интервала времени между изменениями в социуме. В связи с демократической направленностью общественных отношений и повышением объема получаемой информации все сложнее становится властным кругам использовать старые рычаги воздействия на население, все выше становится потребность в разработке новых, в том числе психологических технологий, воздействующих на общественное сознание. Отрицательные последствия информационного воздействия на сознание общества проявляются как в возможности оказывать это воздействие, так и в угрозе информационно-психологической безопасности личности.

Спектр манипулятивных техник невероятно широк: от предвыборного манипулирования до манипулирования в экономической, религиозной, информационной и других сферах. Главным условием процесса манипуляции является контроль за формированием идей и убеждений, за структурой, предоставляющей информацию. Только властные круги, располагающие необходимым капиталом, в силах осуществлять данный контроль. «Максимальная эффективность технологий формирования сознания качественно повышает влияние тех, кто владеет ими, и тех, кто их применяет; такие люди становятся могущественными» [6]. «Требования государства, энтузиазм по поводу магических свойств могущественных лидеров, могущество машин и материальный успех становятся источником норм и ценностей суждений человека» [7, с.15].

Самым уникальным средством общения людей на бесклассовой основе является язык. На его базе формируется противоречивый мир духовной культуры, обслуживающий различные общественные потребности социальных групп, классов, партий и государств. В условиях обострения социально-экономических и политических процессов духовная культура неизбежно подвергается процессам идеологизации и политизации. Заинтересованные круги используют ее для целенаправленной идеологической обработки населения с целью формирования у масс ценностных ориентаций, направленных на укрепление власти. «Ценность связана со значением информации для достижения определенной цели. Без цели нет ценности: вопрос о ценности информации возникает лишь тогда, когда сформулировано представление о цели» [8, с.25].

«Усложнение и расширение информации отразило объективный процесс осознания человечеством ее роли в жизни социума. Эта роль неизмеримо возрастает с развитием новых коммуникационных технологий, которые приобрели характер глобальной информационной революции. Информация представляет собой ресурс, не знающий географических и национальных границ» [9]. Сила информационного воздействия на сознание людей создает новые социальные проблемы и противоречия, такие, как, например, информационные войны, активно используемые передовыми странами с целью навязывания миру своего порядка.

Совершенно ясно, что качество воздействия информации на социальную жизнь, как и воздействия любого оружия, зависит от того, кто владеет этим оружием и какие преследует цели. «Психологические механизмы укрепляют внутриэтническую консолидацию, но большую роль в формировании социально значимых отличий играет идеологический настрой «элит», мобилизуя группы на конфликтный или кооперативный способ взаимодействия» [10]. «В ситуации, когда способ мышления и мировоззрение элиты отличаются от наиболее распространенного в обществе, элита отрывается от него и теряет эффективность. При этом исчезает смысл демократии, так как идеи и представления, рожденные в низах общества, уже не диффундируют вверх по капиллярным системам общества, а просто не воспринимаются элитой» [6].

В этих условиях «информация превратилась в глобальный, в принципе неистощимый ресурс человечества, вступившего в новую эпоху развития цивилизации – эпоху интенсивного освоения этого информационного ресурса и «неслыханных возможностей» феномена управления» [2, с.7]. «Сами по себе информационно-коммуникативные технологии как одно из достижений человеческого разума... позволяют обществу трансформировать себя в тех направлени-

ях, которые оно само выбирает. Отсюда и последствия могут быть как гуманными, служащими прогрессу общества, так и катастрофическими, грозящими человечеству гибелью» [9].

Для понимания механизмов влияния информации на поведение людей необходимо отметить, что чем тоньше материя, тем проще она пронизывает более грубые структуры и тем более свободно управляет их функцией. Поэтому наиболее важным условием, лежащим в основе этой неслыханной силы воздействия информации на сознание людей, является то, что она представляет собой не грубую, а тончайшую материю, способную проникать в самые потаенные структуры человеческого мозга. Это важное обстоятельство влечет за собой ряд негативных эффектов, локализующихся в поле социального сознания. «Нелинейные информационные технологии бесспорно расширяют спектр информационной свободы людей, но одновременно таят в себе грозную опасность в виде информационного коллапса» [11]. «Переизбыток информации подавляет ее личностное осмысление и использование» [8, с.5-6].

СМИ ежесекундно доставляют человечеству безумные объемы информации, в результате чего большая ее часть остается неувоенной социальным интеллектом. Возникает состояние информационной перегрузки. Но параллельно с этим существует другая проблема – «информационного голода, нехватки информации» [11]. Он проявляется в существенном дефиците качественных знаний, являющихся глубоким отражением реального бытия. Поэтому информация низкого уровня (реклама товаров, сериалы и пр.), заполняя социальное пространство, вытесняет информацию высокого толка.

Эти противоположные явления позволили автору вывести новый *Закон дефицита при изобилии*, отражающий процессы, свойственные периодам радикальных социальных трансформаций. *Согласно данному закону, любые переходные состояния в развитии социума характеризуются дефицитом необходимого при изобилии необходимого.* Действие этого закона следует рассматривать как одно из характеристик кризисного общества, главным отражением которого является *несоответствие*, пронизывающее все социальное пространство.

Известно, что чем больше поток получаемой информации, тем больше роль СМИ в формировании общественного мнения и сознания. Развитие глобальной рыночной экономики не только предоставляет обществу множество услуг, способствующих обретению духовного и материального благополучия, но и вовлекает его в грязные игры, имеющие антидуховную направленность, усиливающие процессы деградации культуры и морали. «Однако целиком последствия информации еще не осознаны, и нет уверенности, что они могут быть осознаны вообще, так как формирование сознания всегда носит двусторонний характер: воздействуя на чужое сознание, вы неминуемо меняете и свое. Убеждая кого-то в чем-то (а управление при помощи формирования сознания – это во многом управление при помощи убеждения), вы неминуемо убеждаете в том же и себя, – и теряете объективность [6].

Примитивные теле- и радиорекламы, ток-шоу скандально-аморального содержания и такие же художественные фильмы есть одна из форм информационных манипуляций, цель которых – формирование несамостоятельного сознания, притупление критичности, отвлечение общества от первостепенных проблем на фоне острой политической конкуренции внутригосударственного и мирового уровней.

Здесь практически нет места информации о проблемах окружающей среды. Красоту экзотических, нетронутых человеком мест можно увидеть на телеэкране в качестве заставки к рекламе товаров и услуг, что не только не способствует формированию экологического сознания, но и напротив, рождает инстинкт потребителя, стимулируя желание использовать эту красоту в корыстных интересах. Информация об экологической ситуации часто искажена. «Средства массовой информации регулярно в огромных количествах поставляют примеры некомпетентности и непонимания сути проблемы устойчивого развития» [12, с.217]. Подход к оценке экологического риска в значительной степени технократичен, пропитан экономиче-



ским редукционизмом, несет на себе заметный отпечаток узко групповых социальных интересов, в нем пока недостаточно представлены этические критерии [13, с.32-33].

«Обусловливает специфику формирования общественного мнения по экологическим проблемам и его особая восприимчивость к негативным элементам информационного поля, окружающего население. К числу таких элементов, в первую очередь, относятся: слухи, непроверенные негативные публикации СМИ; утечки информации, сочетающиеся с ее искажением...» [13, с.42]. Так, в 2005-2006 годах весь мир захлестнула информация о птичьем гриппе. Сведения о невероятной опасности этого заболевания, предоставляемые населению средствами массовой информации, глубоко не соответствуют действительности. Статистика смертности людей от данного заболевания весьма не убедительна (согласно сомнительным данным СМИ, в Турции умерло около 10 человек, в других странах – по 1-2 человека), но последствия этой информации катастрофичны: уничтожение домашней птицы и отстрел диких перелетных птиц исчисляется десятками тысяч. На фоне этих событий никто не задумался о том, что от обычного человеческого гриппа ежегодно умирают сотни людей. Кого нужно отстреливать в этом случае?

Птичий грипп – заболевание далеко не новое. В медицинской литературе 70-80-х годов XX века оно значится как орнитоз. Известны случаи заражения им человека, но они не повлекли за собой никакой эпидемии. Однако постоянная потребность современных СМИ в сенсации и распространение ими недостоверной информации способствовали неадекватной реакции со стороны общественности и повлекли за собой серьезный ущерб окружающей среде.

Еще более страшно будет осознавать тот факт, что через 1-2 года весь мир благополучно забудет об этом заболевании, как забыл о новой атипичной пневмонии, впервые зарегистрированной в 2001 году в Китае и якобы распространившейся в другие регионы. И если лжеинформация о пневмонии не причинила особого вреда природе, то ущерб, причиненный отстрелом диких пернатых в связи с птичьим гриппом, колоссален. Любое подобное вмешательство человека в природные процессы не останется бесследным. Поэтому в ближайшее время человечество должно ожидать новых непредвиденных бедствий, направленных на сокращение человеческой популяции.

Усиление неблагоприятного воздействия информационного поля на социокультурные и экологические процессы в обществе связано также с расширением спектра влияния на них виртуального пространства. Оно не только становится источником личностной отчужденности, ухода в мир иллюзий, но и лишает индивида адекватного восприятия реальных событий. «Этот психологический пласт подкрепляется в вещном мире сложившейся практикой с природой. Постоянное ухудшение качества окружающей природной среды воспринимается как естественная данность, а качество жизни, как правило, связывается не с состоянием природы, а с материальными ресурсами и достижениями науки и технологий, с помощью которых кажется возможным компенсировать негативные воздействия экологических факторов» [14].

Искаженное информационно-экологическое пространство свидетельствует о глубокой неготовности ряда специалистов к работе в поле экологических проблем, о существенной коммерциализации общественного сознания, об отсутствии основополагающего понимания информации как *вечного атрибута вечной материи*, информации как части природы, которую необходимо изучать в целях сохранения и ее, и человечества.

Реальное социальное общение оказалось практически вытеснено общением техногенным и техно-информационным, в нем не осталось места для воспитания экологического сознания и культуры. В то же время педагогический опыт показывает, что информация, транслируемая при помощи живого взаимодействия лектора с аудиторией, является более эффективным средством передачи необходимых знаний в сравнении с техническими источниками. Высокая эффективность передачи «живым» способом подтверждается также результатами проводимого автором в 2006-2007 годах опроса студентов вузов раз-

личных специальностей и преподавателей. Опрос показывает, что более высокое экологическое сознание характерно для студентов, обучающихся по специальности «экология». Другие респонденты практически не получают информации о состоянии окружающей среды и природоохранных мероприятиях. Единственным источником экологической информации, по мнению части опрошенных студентов, является школа и, крайне редко, телевидение.

Таким образом, современная информация представляет собой наиболее действенный механизм, управляющий социальными и социоприродными процессами. Однако в результате глобального кризиса, переживаемого современным человечеством, информационное пространство также испытывает неблагоприятные изменения и служит преимущественно не гуманным, а эгоистическим политико-экономическим интересам отдельных социальных групп. В этих условиях проблемы окружающей среды не только не занимают должного места, но и зачастую сознательно искажаются или игнорируются вовсе.

В условиях переизбытка техногенной информации (особенно той, которая не способствует нравственному оздоровлению общества) и недостатка информации высокодуховного уровня возникает потребность во внедрении в зону социальных коммуникаций образовательных технологий, построенных на живом межличностном общении. Ими могут стать специализированные лекционные курсы для различных категорий населения. В процессе воспитания экологической культуры общества они становятся наиболее эффективными механизмами, регулирующими социоприродные взаимодействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлова О.Н. Общество как социокультурная система в статике и динамике / О.Н. Козлова // Социально-гуманитарные знания. 2003. № 3. С. 106-112.
2. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации: учеб. пособие / Р.Ф. Абдеев. М.: ВЛАДОС, 1994. 335 с.
3. Васильева Л.Н. Синергетический поход в теории элит и его использование в политологии / Л.Н. Васильева // Социально-гуманитарные знания. 2005. № 5. С. 100-105.
4. Немировский В.Г. Социология / В.Г. Немировский, Д.Д. Невирко, С.В. Гришаев. М.: Издат. центр Рос. гос. гуман. ун-та, 2003. 557 с.
5. Кульпин Э.С. Глобализирующийся мир и генезис ментальности / Э.С. Кульпин // Природа и общество в глобализирующемся мире. Социоестественная история; под ред. Э.С. Кульпина. Вып. XXV. М., 2005. С. 9-14.
6. Делягин М. Мировой кризис. Общая теория глобализации / М. Делягин. <http://socio.rin.ru>
7. Фромм Э. Человек для себя / Э. Фромм. М.: Хранитель, 2006. 314 с.
8. Князева Е.Н. Основания синергетики / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. СПб.: Алтейя, 2002. 414 с.
9. Панферова В.В. Информационная политика в современной России / В.В. Панферова // Социально-гуманитарные знания. 2005. № 5. С. 52-58.
10. Арутюнян Ю.В. Этносоциология / Ю.В. Арутюнян, Л.М. Дробижева, А.А. Сусоколов. М.: Аспект-Пресс, 1998. 271 с.
11. Еляков А.Д. Информационная свобода человека / А.Д. Еляков // Социально-гуманитарные знания. 2005. № 3. С. 130-134.
12. Данилов-Данильян В.И. Экологический вызов и устойчивое развитие / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев. М.: Прогресс-традиция, 2000. 415 с.
13. Сосунова И.А. Методология и методика общественного участия в подготовке и принятии экологически значимых решений / И.А. Сосунова, Н.Г. Рыбальский, Е.Д. Самотесов. М.: НИА-Природа, РЭФИА, 2004. 419 с.

14. Калмыков А.А. Психологические проблемы экологического образования / А.А. Калмыков, С.А. Степанов // Экологическое образование и просвещение населения: тез. докл. 4-й Междунар. конф. по экологическому образованию. М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. С. 32.

**Шишкина Елена Александровна** –  
кандидат социологических наук, доцент кафедры «Социология и психология»  
Астраханского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 18.10.06, принята к опубликованию 21.11.06*

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---

УДК 539.193/194.535/33.34

**В.Ф. Пулин**

### **К ВОПРОСУ О ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ ВСЕЛЕННОЙ**

*В данной статье автор излагает совершенно новые представления о природе возникновения и развитии Вселенной и всего мироздания.*

**V.F. Pulin**

### **THE DEVELOPMENT OF THE UNIVERSE**

*The author presents his absolutely new ideas about the origin and development of the Universe in this article.*

Цель данной статьи – высказать свою точку зрения на рождение Вселенной и её развитие, представить её на обсуждение учёному миру. Ведь это одна из актуальных проблем, которая привлекает внимание учёных всего мира, и они ищут ответ на данный вопрос.

Интерес к данной проблеме возник ещё на заре развития цивилизации, и он не ослабевает и по сей день. Ещё в эпоху глубокой древности учёные интуитивно проникали в глубь микромира и макромира. Их работы не утратили актуальности и в наше время. Они оставили заметный след в науке и внесли существенный вклад в развитие цивилизации.

На протяжении нескольких тысячелетий земной разум пытался и пытается проникнуть в тайну рождения не только нашей Вселенной, имеющей гигантские масштабы, но и в тайну всего Мироздания. Можно сказать, что наши фантастические представления о Мироздании лежат на грани человеческого мышления, ведь под Мирозданием имеется в виду неограниченное Мировое пространство, включающее в себя бесконечное множество миров, таких как наша Вселенная. Следовательно, наша Вселенная – это только часть Мирового пространства, доступная нашему восприятию и изучению.

Благодаря научным исследованиям многих поколений учёных, удалось многое познать об окружающем нас мире, в частности о нашей Вселенной, и в какой-то мере удалось приоткрыть завесу над тайной рождения Вселенной и всего Мироздания.

Следует заметить, что ни в отечественной, ни в зарубежной научной информации нет пока ответа на интересующие нас вопросы:

1. Когда и при каких условиях зародилась наша Вселенная?
2. Что же все-таки было до взрыва сверхплотного вещества, какие явления и процессы протекали в этой гравитационной массе?
3. Как образовалось сверхплотное вещество?

4. Что же всё-таки было первоначальным толчком к рождению первоматерии, и из какой же формы материи и по какой причине образовалась гравитационная масса, и за счет каких сил она концентрировалась (цементировалась)?

5. Какова причина гигантского взрыва сверхплотного вещества, после которого начался процесс разбегания образовавшихся Галактик и началось расширение нашей Вселенной, что и подтвердилось позже наблюдениями по красному смещению?

6. Почему электрон имеет устойчивую массу и какие силы цементируют (т.е. стягивают его сферическую оболочку), точнее, каковы удерживающие силы этого сгустка энергии гравитации (вероятно, гравитационную массу удерживает электрическое поле наведённого заряда, которое играет роль «смирительной рубашки»)?

7. Какова причина возникновения заряда на электроны?

В настоящее время точкой отсчёта рождения нашей Вселенной является гигантский взрыв сверхплотного вещества – таково научное мнение учёных XX столетия: А. Эйнштейна, А. Фридмана, Э. Вигнера, Э. Хаббла, Д. Робертсона и других.

Все они придерживаются теории, вернее гипотезы, горячей модели нашей Вселенной. В таком случае напрашивается ещё ряд дополнительных вопросов:

а) Периодичен ли этот процесс во Вселенной (цикличесен ли)?

б) В каких временных и пространственных масштабах протекал и протекает этот процесс?

в) возможен ли процесс перетекания энергии и вещества из одной Вселенной в другую?

г) возможен ли процесс превращения Вселенной в «черную дыру»?

д) каковы роль всех видов взаимодействия (сильных, слабых, электромагнитных и гравитационных) и их ответственность за физико-химические процессы (и какова их последовательность)?

Итак, откуда же взялась материя? Природа ведь настолько мудра, что она способна превращать не только массу в энергию, но и энергию в массу, т.е. обратимость процессов подтверждает вечную юность Вселенной. Этот процесс периодичен во времени и пространстве и не только в пределах нашей Вселенной, полагаем, он периодичен в этом вечном и бесконечном Мировом Пространстве, где бесконечное множество Вселенных, подобных нашей.

Если наша Вселенная имеет миллиарды Галактик, а каждая из них имеет миллиарды звезд, т.е. конечное число, следовательно, наша Вселенная также имеет конечные пространственно-временные размеры гигантских масштабов ( $R=10^{28}$  см). И каждая из её систем имеет конечное время жизни (Солнечная система примерно 10-12 млрд. лет, Галактика – 100 млрд. лет, Вселенная –  $10^3$  млрд. лет).

Повторяем, для науки представляет интерес следующий вопрос: что же всё-таки было до взрыва сверхплотного вещества и как образовалось сверхплотное вещество?

И мы берём на себя смелость, может быть нескромную, высказать свою нестандартную точку зрения на возникновение и развитие Вселенной и предлагаем следующую гипотезу, которая может вызвать к себе критическое отношение учёных, имеющих противоположное мнение.

Представим себе, что всё бесконечное Мировое пространство было заполнено энергией гравитации и в этом безбрежном Океане пространства образовывались сгустки энергии высокой концентрации, которые возникли за счёт сил гравитации, внутри которых и рождались Вселенные, подобные нашей. В результате у каждой Вселенной возникло своё собственное силовое поле. На гребнях возмущённых вихревых гравитационных волн, которые гуляли и гуляют в колоссальном сгустке энергии гравитации, и рождались уже сгустки первоматерии, т.е. электроны (как брызги воды на гребне девятого вала), которые и являются критерием элементарности. Этот процесс (или причина) и явился толчком к рождению первоматерии – таков процесс перехода от макромира к микромиру и обратно.

Таким образом, сгустки первоматерии и есть порции концентрированной энергии гравитации, а их концентрация – первоматерия (электронов) привела к рождению материальной Вселенной, т.е. Вселенной, имеющей гравитационную массу вещества.

Итак, можно предположить следующую последовательность рождения материального мира, т.е. нашей Вселенной:

1. Образование или рождение макросгустков энергии гравитации, имеющих своё силовое поле.

2. Дробление макросгустков энергии гравитации и рождение первоматерии (электронов).

Как материальная частица, электрон был рожден одним из первых. Его наведённый заряд есть первая производная от его массы. Заряд в свою очередь порождает электрическое поле, которое является «смирительной рубашкой» для электрона, потому он и обладает высокой устойчивостью и не распадается на более мелкие частицы, как например, нейтрон, отсутствие заряда у которого делает его нестабильным. При движении электрона рождается электромагнитное поле, а, следовательно, и электромагнитные волны, несущие энергию. Рождённые электромагнитные поля стали ответственными за концентрацию электронов на первом этапе, пока их гравитационная масса имела малую величину, где ещё не сказывались силы гравитации.

Следует заметить, что античастица – позитрон рождён в малом количестве и не случайно. Он рождён, видимо, для того, чтобы повысить эффективность электромагнитных полей, т.к. его аннигиляция с электроном не только рождает дополнительную электромагнитную энергию, т.е. кванты электромагнитного поля, но и при этом высвобождается энергия гравитации этих частиц (т.е. масса переходит в энергию). Таков алгоритм программы природы.

Это и есть обратная положительная связь, приводящая не только к генерации электромагнитного поля, но и к его усилению, в результате чего его энергии становится вполне достаточно для динамично протекающих физико-химических процессов во Вселенной. А силы гравитации проявились уже при колоссальной концентрации гравитационной массы, за которую ответственны в первую очередь электромагнитные поля.

При сжатии гравитационной массы, где уже начали проявляться силы гравитации, выделялась колоссальная энергия, идущая на разогрев массы в горниле высоких температур и давлений, протекали активные физико-химические процессы, где проявлялись все виды взаимодействий, рождались элементарные частицы и элементы периодической таблицы Менделеева и даже те, которые еще ждут своего открытия. (К сожалению, нам пока неизвестен закон, по которому формировался спектр элементарных частиц и элементов. Пока что мы только констатируем факт их существования).

Следует заметить, что не только за рождение сверхплотного вещества несут ответственность электромагнитное и гравитационное поля, но и за рождение Вселенной как материальной среды, в которой протекают как эволюционные, так и революционные (взрывные) процессы.

Аналогичные процессы протекают и во Вселенной, подобных нашей.

Подчёркиваем, что электрон является критерием элементарности, и толчком к его образованию, т.е. рождению, являются гравитационные волны (гравитационная масса электрона равнозначна микросгустку энергии гравитации).

Итак, образовавшееся сверхплотное вещество рождает своё собственное гравитационное поле, при взрыве которого произошёл разлёт вещества и началось расширение границ нашей Вселенной.

Полагаем, что аналогичный процесс протекал и протекает и в других Вселенных, подобных нашей, которых бесконечное множество в этом вечном и бесконечном Мировом пространстве.

Такие представления не противоречат ни естественным законам, ни законам философии о прерывности и непрерывности материи. Можно сказать, что наша Вселенная имеет

локальное гравитационное поле, т.е. силовое поле, которое взаимодействует с полем рожденной гравитационной массы.

Ведь нашу Вселенную можно представить как замкнутую идеальную систему, в которой протекают вечно повторяющиеся периодические процессы созидания и разрушения – таков, видимо, алгоритм программы самой Природы, т.е. другими словами можно сказать, что в одном уголке Вселенной рушатся миры и идёт рассеивание массы и энергии, в другом её уголке идёт их концентрация, и снова зарождаются миры (звёздные системы, Галактики) – системы, подобные Солнечной. Такая цикличность вечна не только в нашей Вселенной, но и вечна в этом вечном и бесконечном Мировом пространстве. Следовательно, можно сделать вывод, что не только электромагнитные и гравитационные поля ответственны за физико-химические процессы зарождения вещества, т.е. гравитационной массы, но и все виды взаимодействия. Рожденная материя (колоссальная гравитационная масса), поле гравитации которой взаимодействует с полем гравитации Вселенной, изменяет её силовое поле. Выходит, Вселенная – это живая динамичная система, чутко реагирующая не только на внутренние протекающие процессы, но и на влияние соседних Вселенных.

Следует ещё раз напомнить, что любая элементарная частица представляет сгусток энергии гравитации. Но возникает вопрос, как возник заряд в электроне? Полагаем, что возникновение заряда связано с рождением электрона как процесс вторичный и непрерывный, т.е. наведенный электрический заряд, повторяем, является первой производной от энергии гравитации, точнее – первой производной от гравитационной массы электрона, а наведенный заряд является источником электрических и электромагнитных полей, которые и несут ответственность за рождение атомов и молекул, а совместно с полем гравитации Вселенной – за концентрацию массы вещества в астрономических масштабах.

Гигантская гравитационная масса, рожденная энергией гравитации, концентрируется и цементируется электромагнитными и гравитационными полями, рождает своё собственное гравитационное поле, которое, взаимодействуя с полем гравитации Вселенной, возмущает это поле, и не только изменяет кривизну её пространства, но и приводит к сжатию гигантской массы, высвобождая при этом колоссальную энергию, идущую на разогрев данной массы, которая при высоких температурах и давлениях переходит в сверхплотное вещество. И когда внутреннее давление в сверхплотном веществе смогло остановить дальнейшее гигантское сжатие гравитационной массы, и произошёл взрыв – началось разбегание (разлёт) громадных осколков вещества, которые, дробясь и остывая при своём движении с огромными скоростями, рождали Галактики с их миллиардами звезд. Позже уже рождались системы, подобные Солнечной – таков процесс возникновения и развития нашей Вселенной, имеющей конечные пространственно-временные размеры. И таких Вселенных в Мировом пространстве бесконечное множество, в которых протекают такие же процессы созидания и разрушения, вечно периодически повторяющиеся на конечном пространственно-временном отрезке их жизни, что и подтверждают законы философии – материя немислима без движения, как и движение без материи.

Периодичность процессов во Вселенной можно сравнить с процессами в идеальном колебательном контуре. И такая аналогия уместна, т.к. Вселенная близка к идеальной замкнутой системе (следовало бы заметить, если бы Природа породила одинаковое количество электронов и позитронов, произошла бы аннигиляция, и часть энергии гравитации трансформировалась бы в энергию электромагнитного поля; при этом высвободилась бы энергия гравитации, которая представляет собой гравитационную массу в виде сгустка гравитационной энергии). Тогда бы не могло быть и речи о рождении колоссальной массы вещества, а, следовательно, и материального мира Вселенной. Так что Вселенная представляет собой систему, состоящую из колоссальных сгустков энергии гравитации, т.е. гравитационной массы вещества и электромагнитной энергии.

Какова же динамика развития нашей Вселенной?

Повторяем, при взрыве сверхплотного вещества и его разлёте рождались Галактики с их громадным скоплением звёзд, в которых проявлялись все виды механических движений. (Ведь нашу Вселенную можно представить как гигантский прозрачный упругий шар, заполненный не только энергией гравитации, но и гравитационной массой, где роль упругой оболочки играет силовое поле гравитации, напряженность которой определяется гравитационной массой). Поле гравитации – это силовое поле, которое можно отождествлять с упругой средой. (Все виды механического движения можно наблюдать, если в прозрачный резиновый шар впустить дым – такое сравнение можно применить и к Вселенной).

Гравитационные поля гигантских масс, взаимодействуя с полем гравитации Вселенной, деформируют последнюю, изменяя кривизну ее пространства.

Вообще Вселенная – это живая динамичная (пульсирующая) модель, внутри которой рождаются и рушатся материальные системы (миры).

А что происходит внутри нашей Вселенной?

Итак, при разбегании Галактик скорость их движения замедляется по следующим причинам:

во-первых, расходуется их кинетическая энергия, приобретенная при взрыве, на преодоление сил сопротивления полю гравитации самой Вселенной, которое сжимает все тела, находящиеся внутри неё (подобно силам поверхностного натяжения в капле воды);

во-вторых, при разлёте Галактик в противоположные направления (стороны) они испытывают силы взаимного притяжения и все больше по мере их замедления движения, теряя все больше остаточную энергию движения.

Пройдут еще миллиарды лет и Галактики окажутся на «задворках» нашей Вселенной и, описав кривую, снова начнут сближаться с невероятной быстротой (ускорением) за счет сил гравитации. В процессе своего движения Галактики не только излучают, но и поглощают разные виды энергии.

Суммарное поле гравитации сближающихся Галактик будет настолько велико, что произойдет не только их взаимодействие, но и сжатие с выделением колоссальной энергии, идущей на разогрев гигантской гравитационной массы, причем эта масса будет обладать таким полем гравитации, что будет способна поглощать и всю падающую энергию, и вещество. И в таком случае следует предвидеть следующие конечные процессы:

1) взрыв и полный переход гравитационной массы в энергию гравитации и энергию электромагнитного поля;

2) при взрыве вероятен процесс распыления гравитационной массы и рождение новых галактических систем с их миллиардами звезд;

3) не исключена вероятность катастрофического сжатия сверхплотного вещества, которое может привести к гравитационному коллапсу Вселенной, т.е. когда гигантская масса вещества с невероятной скоростью будет сжиматься, и тогда никакие внутренние силы сопротивления уже будут не способны остановить процесс сжатия, и даже Вселенная может превратиться в «черную дыру» в Мировом пространстве.

Но следует заметить, что такая вероятность мала, это больше свойственно массивным угасающим звездам, Галактикам, чем Вселенным. Но и для всех Вселенных, подобных нашей, такой процесс не является исключением в Мировом пространстве.

Кстати, следует заметить, что «черные дыры» не вечны – за счет поглощения энергии и вещества, рано или поздно, получив избыточное их количество (насыщение), они могут взорваться. Ничего вечного в этом материальном Мире нет.

И всё-таки мы склонны считать, что процесс будет развиваться по первому сценарию – произойдет взрыв, а в дальнейшем рассеивание и энергии, и вещества. И снова повторится процесс концентрирования энергии и вещества уже в других уголках Вселенной, и снова будут рождаться звёзды и звёздные скопления, т.е. Галактики и системы, подобные Солнечной.



Итак, выходит, что наша Вселенная – это живая динамичная пульсирующая система, которая представляет собой гигантскую концентрацию гравитационной энергии, энергии электромагнитного поля и вещества, и наконец, она является частью материального мира в этом вечном и бесконечном Мировом пространстве, доступная не только нашему воображению, но и исследованию.

*Она также является рядовой Вселенной в этом вечном и бесконечном Мировом пространстве, как одна из звёзд в нашей Вселенной. И эта гигантская пульсирующая система подчиняется естественным законам и не противоречит законам философии о прерывности и непрерывности материи.*

Повторяем, в Мировом пространстве Вселенных, подобных нашей, бесконечное множество, жизнь которых подчиняется тем же естественным законам – законам созидания и разрушения, и этот процесс вечен в этом вечном и бесконечном Мире, он периодичен во времени и пространстве для каждой Вселенной в отдельности.

Даже масштабы нашей Вселенной с трудом укладываются в нашем сознании, а масштабы Мирового пространства, с его вечно периодически повторяющимися процессами во времени и пространстве, тем более.

Следует представить, что Вселенные, которых бесконечное множество, настолько близки, что способны оказывать взаимное влияние и обмениваться энергией и массой вещества, и вероятен процесс перекачивания их из одной Вселенной в другую. Возможны процессы как слияния Вселенных, так и их дробления, подобно каплям воды.

В заключение следовало бы заметить, что возникновение гравитационной массы вещества является следствием, а причиной является энергия гравитации, концентрация которой превращается в реальную физическую материю. Следует ещё раз напомнить, что наведённые электрические заряды и их электрические и электромагнитные поля – продукт вторичный.

Так что, открытие гравитационных волн позволит открыть новые каналы связи для получения астрофизической информации о Вселенной и её физико-химических процессах, это открытие новых источников энергии (безопасных), которые будут использоваться в техническом прогрессе нашей цивилизации, и тогда, может быть, будет реализована мечта Земного Разума – о возможных его путешествиях во Вселенной, используя безграничную и безопасную энергию гравитации.

Возникает вопрос – зачем же Земной Разум пытается проникнуть в глубь макромира (не только в глубь нашей Вселенной, но и за её пределы)?! Видимо, на этот подвиг толкает его в первую очередь жажда познания окружающего мира, неизвестность и к тому же чувство самосохранения.

Продолжение изучения материи в глубь макро- и микромира необходимо не только для правильного понимания материалистического мировоззрения (откуда взялась материя и как она возникла), но это имеет также и важное значение для уточнения физических величин (констант) и утверждения законов философии, которые обобщают закономерности развития макромира и позволяют углубить наши знания о микромире, представления о котором не имеют логического завершения, где нет ещё ни строгой теории, ни логических доказательств.

Возможно, дальнейшие исследования дадут цивилизации расширить границы познания и возможность оконтурить границы нашей Вселенной и познать, что же все-таки происходит на «задворках» нашей Вселенной, т.е. выяснить, какие же физико-химические процессы протекают в самых отдалённых её уголках и какова их активность и как, на каком уровне осуществляется взаимосвязь нашей Вселенной с соседними Вселенными.

Расширяя границы познания, Земной Разум берёт на себя смелость проникнуть в неизвестность и познать тайны этого безбрежного Мирового океана пространства, которому он бросает вызов.

Если сохранится Земная цивилизация ещё на многие тысячелетия, если не произойдут катастрофические необратимые процессы на Земле, то хотелось бы видеть, что когда-нибудь

Земной Разум сможет выйти за границы нашей Вселенной и заглянуть в глубины Мирового пространства (другие миры), познать тайны и получить количественную и качественную информацию, окончательно утвердить законы мирового развития и удовлетворить тем самым жажду познания неизвестности.

Мы уверены, что в соседних Вселенных, подобных нашей, протекают точно такие же физико-химические процессы, периодически повторяющиеся во времени и пространстве, как и в нашей, и эти Вселенные имеют точно такой же путь эволюционного развития, где присутствуют и созидание и разрушение. Таков, видимо, алгоритм программы самой Природы.

Следует дополнить, что например, в электроне, часть его энергии гравитации материализована в электрическую энергию, которая выражается через его заряд. А электрическое поле наведенного заряда удерживает сгусток гравитационной массы, т.е. сгусток гравитационной энергии. Электрическое поле есть силовое поле. Считаем, что электрон является критерием элементарности с равномерно распределенной плотностью массы по всему его объёму и равномерно распределенной плотностью заряда по его поверхности.

Все материальные тела (от микромира до макромира) имеют силовые поля, начиная от элементарных частиц до колоссальных скоплений гравитационных масс.

Не только доверяя своей интуиции, но и на основе естественных законов, можно сделать вывод, что в Мировом пространстве нет антимиров, иначе рано или поздно произошла бы аннигиляция материи и антиматерии, и тогда всё Мировое пространство состояло бы из энергии гравитации и энергии электромагнитного поля, потому, как их силы практически действуют на бесконечном расстоянии.

Следует заметить аналогию между микро- и макромиром (строение атомов и молекул, т.е. их геометрия строго повторяет геометрию звездных систем, нашей Солнечной системы). Следовательно, можно сделать вывод, что они имеют один и тот же алгоритм программы Природы их создания и разрушения во времени и пространстве. Поэтому считаем, что моделирование процессов (для макро- и микромира) уместно.

Вихревое движение ответственно не только за рождение первоматерии, но и за рождение тел шаровой формы, как в микромире, так и в макромире.

Следует высказать и другие мнения, основанные на логических умозаключениях: там, где замедляется время, следует наблюдать локальные гравитационные и магнитные аномалии, например – Бермудский треугольник. В этом районе на большой глубине в земной коре, под громадной толщей воды, имеются громадные залежи тяжёлых элементов (Fe, Mg Ni, Co, W, Pb, Hg и другие). Со временем наши предположения подтвердятся научными исследованиями XXI века. Кроме того, использование органических материалов в качестве горючего вещества слишком расточительно для нашей цивилизации, запасы которой не безграничны и наши потомки упрекнут нас за преступное расточительство.

Делая прогнозы на будущее, можно предвидеть, что цивилизация, в целях изучения космического пространства, будет использовать фотонные ракеты с установками по производству и накоплению электронов и позитронов, за счет аннигиляции которых их энергия будет использована в двигателях ракет, а также безопасная энергия гравитации может быть использована летательными аппаратами для межпланетных путешествий и за ними будущее. Решение таких задач станет возможным для земной цивилизации, если только её развитие будет поставлено на службу науке и её разум осознает необходимость в продолжении исследований космического пространства и возьмёт верх над узкоэгоистичными интересами в цивилизованном мире.

И в заключение следует сделать вывод и прогнозы на будущее.

Мы уверены, что наша цивилизация находится на пороге новых открытий и изобретений, для реализации которых уже назрела необходимость разработки нового математического аппарата, более ёмкого, масштабного, который предоставит возможность взлёту более богатой фантазии в области естественных наук будущим поколениям исследователей, станет

источником новых идей и открытий, и цивилизация окажется на пороге невиданного взлёта в своем развитии.

Новый математический аппарат позволит установить взаимосвязь классической теории и квантовой, которая зиждется на постулатах, не имея под собой ни строгой теории, ни логических доказательств.

Доверяем своей интуиции, что на основе нового математического аппарата взаимосвязь двух теорий получит логическое завершение.

**Пулин Виктор Федотович –**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Общая физика»  
Саратовского государственного технического университета

*Статья поступила в редакцию 14.09.06, принята к опубликованию 21.11.06*

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК СГТУ»

1. Статья должна быть тщательно отредактирована и представлена в одном экземпляре, распечатанном 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 дискете (1,44 Мбайт) 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).

Далее авторы, название статьи и аннотация повторяются на английском языке.

Затем идет текст самой статьи и литература.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны.

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 рисунков.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, psc, 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 MS Word. 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. Рукописи статей представляются в редакцию с рецензией ведущего ученого в данной области, как правило, доктора наук.

10. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

11. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и дискеты авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

12. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую на отдельном бумажном носителе и в электронном виде.