

**ВЕСТНИК**  
**САРАТОВСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**  
**2006**

**№ 1 (11)**  
**Выпуск 2**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Март 2006 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*

**Главный редактор** д.т.н., профессор Ю.В. Чеботаревский  
**Зам. главного редактора** д.э.н., профессор В.Р. Атоян  
**Ответственный секретарь** 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. В.М. Седелкин, 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

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01  
Подписано в печать 03.03.06  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 21,24 Уч.-изд. л. 22,32  
Тираж 500 экз. Заказ 83  
Отпечатано в РИЦ СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2006**

**№ 1 (11)  
Edition 2**

Scientific Journal

Since 2003  
*Once in a quarter*  
March 2006

*This journal is included into the list of the leading reviewed magazines and scientific periodicals approved by the Presidium of the HAC, Ministry of Education and Science of Russian Federation. Major scientific results of dissertations for the scientific degree competition, Doctor of Science, are published here.*

<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. V.M. Sedelkin, 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

Licence ID № 06268 of issue: 14.11.01  
Signed for publishing: 03.03.06  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 21,24 Acc.-pbl. l. 22,32  
Edition 500 psc. Order 83  
Printed in EPC of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

ISBN 5-7433-1636-8

© Saratov State Technical University, 2006

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

<b>Губарева Н.В.</b> Применение метода Ритца-Тимошенко при решении физически нелинейных задач статического расчета призматических оболочек.....	5
<b>Жигалов М.В.</b> Методы понижения порядка дифференциальных уравнений механики деформированного твердого тела (обзор) .....	13
<b>Шагивалеев К.Ф.</b> Исследование напряженно-деформированного состояния пространственной системы, состоящей из трех замкнутых цилиндрических оболочек, расположенных по одной линии .....	32
<b>Шепс Г.Я.</b> К использованию СВЧ-технологий для оценки линейной плотности полимерных микроволокон....	40
<b>Элькин М.Д., Осин А.Б.</b> Ангармонический анализ адиабатических потенциалов конформеров люизита .....	45
<b>Элькин П.М., Пулин В.Ф., Джалмухамбетова Е.А.</b> Ангармонический анализ колебательных спектров дибензо-п-диоксина .....	52

### НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

<b>Васин А.Н.</b> Характер удаления припуска с учетом упругой деформации технологической системы .....	60
<b>Захаров О.В.</b> Расчет параметров средней окружности профиля при измерении отклонений формы тел вращения ...	63
<b>Землянский А.А.</b> Технический мониторинг и система активного управления эксплуатационной надежностью резервуаров большого объема.....	69
<b>Мчедлов С.Г.</b> Эффективный способ подготовки поверхности деталей машин под газотермическое покрытие при их упрочнении и восстановлении .....	77

### НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

<b>Абдуллаев Р.А., Овчинникова Г.П., Артёменко С.Е.</b> Пластификация вторичного полиэтилентерефталата для его повторного использования .....	82
<b>Ковалева Н.Е., Бесшапошникова В.И., Калганова С.Г., Полушенко И.Г., Жилина Е.В., Спиридонова О.Л., Лаврентьев В.А.</b> Исследование влияния СВЧ электромагнитного поля на прочность клеявого соединения полимерных волокнистых материалов .....	85

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

<b>Игнатьев С.А., Нестерова И.В., Игнатьев А.А.</b> Методическое обеспечение автоматизированной оценки динамического состояния шлифовальных станков в системе мониторинга для корректировки технологического процесса.....	90
--	----

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Черткова Е.А.</b> Автоматизация анализа и проектирования компьютерных обучающих систем.....	97
--	----

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<b>Ипатов П.Л., Игнатов В.И., Михальчук В.А., Ларин Е.А., Хрусталеv В.А.</b> Безопасность и системная эффективность АЭС с ВВЭР – основа развития атомной энергетики в России .....	103
--	-----

### ЭКОЛОГИЯ

<b>Яковлев Б.Н.</b> Уточнение безопасных расстояний между канализационными очистными сооружениями станций механической очистки производственных сточных вод на нефтеперерабатывающих заводах..	109
--	-----

### ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

<b>Канафьева В.В.</b> Комплексное число как трансцендентальная функция языка во времени .....	113
<b>Курбатова Е.С., Пахомова А.В.</b> Формирование и использование информационного запаса результатов научно-инновационной деятельности вуза .....	119
<b>Мысливцев В.Г.</b> Воздействие некоторых этносоциальных и политических факторов на процессы дивергенции русского народа (ретроспективный взгляд).....	129
<b>Отставнова Л.А.</b> Влияние реформ социально-трудовых отношений на систему воспроизводства человеческих ресурсов и структуру рабочих мест .....	134
<b>Пучков П.В.</b> Вопросы геронтологического эбьюзинга в системе образования социальных работников.....	145
<b>Федонина С.М.</b> Межкультурная коммуникация как социокультурный феномен .....	152
<b>Шаш Н.Н.</b> Проблемы управления знаниями в организациях .....	159
<b>Шилова Е.В.</b> Инвестиции в теоретических моделях экономического роста .....	169
<b>Щукина А.Я.</b> Анализ эколого-экономических отношений на основе фундаментальных законов развития естественных наук .....	176

### ЮБИЛЕИ

<b>Безотказность энтузиазма и физика отказов .....</b>	<b>182</b>
--	------------

## CONTENTS

### PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

Gubareva N.V. Application of Ritz-Timoshenko method at the solution of physical nonlinear problems static calculation of prismatic shells .....	5
Zhigalov M.V. Methods of downturn about the differential equations of mechanics of the deformed solid body.....	13
Shagivaleev K.F. Stress-strained analysis of the space system composed of three aligned closed barrel shells .....	33
Sheps G.Ya. Some aspects of use of the SHF (superhigh frequency) technologies for measuring the linear density of polymeryc microfibrres .....	41
Elkin M.D., Osin A.B. Anharmonic analysis of adiabatic potential for comformations of lewisites .....	45
Elkin P.M., Pulin V.F., Djalmuhambetova E.A. Inharmonic analisis of vibrational spectra dibenzo-n-dioxin .....	53

### MACHINE RELIABILITY

Vasin A.N. Allowance removal character in view of technological system elastic deformation .....	60
Zakharov O.V. Mean circle profile parameter determination at solid shape deviations rotations measurement .....	63
Zemlyanskiy A.A. Technical monitoringand and operational reliability of great volume vessels active control system.....	69
Mchedlov S.G. An effective way of mashine parts surfaces preparation for gas-thermal covering at their strengthening and restoration.....	77

### NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Abdullayev R.A., Ovchinnikova G.P., Artyomenko S.E. Plasticizers of waste polyethylene terephatalate (PET) for its repeated use.....	82
Kovaleva N.E., Besshaposhnikova V.I., Kalganova S.G., Polushenko I.G., Zhilina E.V., Spiridonova O.L., Lavrentieva V.A. Super-high frequency influence on strength of glue joint of polymer fibrous materials .....	85

### AUTOMATION AND MANAGEMENT

Ignatyev S.A., Nesterova I.V., Ignatyev A.A. Methodical ensuring of machine tools dynamic condition automated estimation in the monitoring system for adjusting a master schedule.....	90
--	----

### INFORMATION TECHNOLOGIES

Chertkova E.A. Analysis automation and computer teaching systems design.....	97
--	----

### POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

Ipatov P.L., Ignatov V.I., Mikhhalchuk V.A., Larin E.A., Chrustalev V.A. NPP with WWER safety and sistem efficiency is the basis of Russian atomic energy development.....	103
--	-----

### ECOLOGY

Jakovlev B.N. Specification of safe distances between sewer clearing constructions of stations mechanical clearing of industrial sewage on oil refining factories .....	109
---	-----

### HUMANITARIAN AND ECONOMICAL PROBLEMS OF MODERN SOCIETY

Kanafyeva V.V. Complex number as transcendere function of Language at time .....	113
Kurbatova E.S., Pahomova A.V. Creation and commercial use of high educational institutes scientific and innovative activity results .....	119
Myslivtcev V.G. Influence of some ethnosocial and political factors on the processes of Russian people divergence (retrospective view).....	129
Ostavnova L.A. Socially-labor relationships reforms influence on human resources reproduction system and workplaces structure .....	135
Puchkov P.V. Elderly abusing's questions in system of training social workers .....	146
Fedyunina S.M. Crosscultural communication as a social and cultural phenomenon.....	152
Shash N.N. Knowledge management difficulties in organizations .....	160
Shilova E.V. Iinvestments into the theoretical models of economic growth.....	169
Shchukina A.Ya. The analisis of ecological and economical interrelations on the basis of fundamental laws of natural sciences development .....	176

### JUBILEES

Enthusiasm faultness and physics of rejection .....	182
---	-----

---

---

# ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

---

---

УДК 539.3

Н.В. Губарева

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РИТЦА-ТИМОШЕНКО ПРИ РЕШЕНИИ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

*Рассматривается статический расчёт прямых замкнутых призматических оболочек методом В.З. Власова. Учитывается физическая нелинейность. Анализируется точность решения в зависимости от количества удерживаемых слагаемых в разложении для обобщенных перемещений при расчёте оболочек рассматриваемого типа методом Ритца-Тимошенко.*

N.V. Gubareva

## APPLICATION OF RITZ-TIMOSHENKO METHOD AT THE SOLUTION OF PHYSICAL NONLINEAR PROBLEMS STATIC CALCULATION OF PRISMATIC SHELLS

*Straight closed prismatic shells of V.Z. Vlasova method at account of static are considered here. Physical nonlinearity is taken into account. Accuracy of the decision is analyzed depending on quantity in decomposition for the generalized moving at calculation of casing of considered type of Ritz-Timoshenko method.*

Тонкостенные пространственные конструкции, которые обладают высокой прочностью и жесткостью при относительно малом весе, широко используются в различных областях техники.

Примером таких конструкций могут служить: борта и днища судов (рис. 1) большого водоизмещения ( $4\cdot 5 \cdot 10^5$  т), крыло самолета (рис. 2), мостовые балки, резервуары различного назначения и конструктивного вида, силосы. Для повышения прочности и жесткости конструкции их усиливают в продольном и поперечном направлениях – **лонжеронами**, стрингерами, шпангоутами, **нервюрами**.

За расчетную модель конструкций такого типа принимают прямые замкнутые тонкостенные призматические оболочки с многоугольным контуром поперечного сечения, находящиеся под действием изгибающих и крутящих нагрузок.

*Цель исследования.* Рассматривается применение метода Ритца-Тимошенко при расчете оболочек рассматриваемого типа при действии крутящих нагрузок. Исследуется сходи-

мость метода для конкретного типа оболочек. Проводится анализ влияния геометрии поперечных сечений на напряженно-деформированное состояние оболочки.

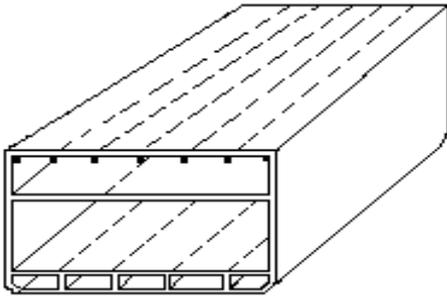


Рис. 1

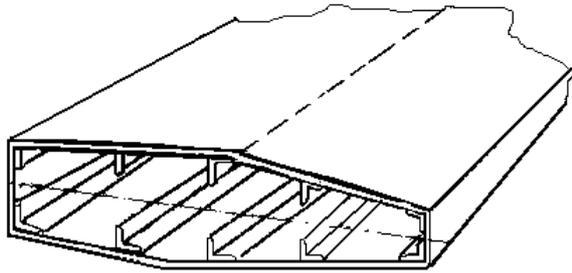


Рис. 2

Данная работа является продолжением исследований, начатых в [1], в которой были получены разрешающие уравнения расчета прямых замкнутых призматических оболочек методом Ритца-Тимошенко с учетом физической нелинейности.

Упростим выражение, полученное в [1], до вида, удобного для обозначенных целей исследования. Для этого положим значения  $i=0$  и  $h=0$ . Продольные и поперечные перемещения точек контура в этом случае задаются в виде

$$u(z, s) = Bu_1(z) \cdot \varphi_1(s), \quad v(z, s) = Bv_0(z) \cdot \psi_0(s), \quad (B = d_2), \quad (1)$$

где  $\varphi_1(s)$ ,  $\psi_0(s)$  – аппроксимирующие функции;  $u_1(z)$ ,  $v_0(z)$  – неизвестные обобщенные перемещения, подлежащие определению.

В соответствии с методом Ритца-Тимошенко неизвестные обобщенные перемещения представляются в виде разложений

$$u_1(z) = u_1^\alpha \chi_{1\alpha}(z), \quad v_0(z) = v_0^\delta \lambda_{0\delta}(z), \quad (\alpha = 1, \dots, s; \delta = 1, \dots, e), \quad (2)$$

где  $\chi_{1\alpha}(z)$ ,  $\lambda_{0\delta}(z)$  – задаваемые функции;  $u_1^\alpha$ ,  $v_0^\delta$  – подлежащие определению константы.

Суммирование осуществляется по верхнему и нижнему индексам. Тогда

$$u(z, s) = Bu_1^\alpha \chi_{1\alpha}(z) \varphi_1(s), \quad v(z, s) = Bv_0^\Delta \lambda_{0\Delta}(z) \psi_0(s). \quad (3)$$

С учётом выбранных значений  $i, \gamma=1; h, k=0; P_1=0$  разрешающие уравнения расчета в форме метода Ритца-Тимошенко записываются в виде системы линейных алгебраических уравнений  $(s+e)$  порядка относительно  $(s+e)$  неизвестных  $u^\alpha, v^\Delta$ , которая имеет вид [1].

$$\left( \frac{1}{l_1} A_{1\alpha\beta} + \eta_1^2 B_{1\alpha\beta} \right) u^\alpha + \eta_1 C_{1\Delta\beta} v^\Delta = \frac{\eta_2 \eta_1^2}{l_1 E} \Delta P_{1\beta} = 0;$$

$$\eta_1 D_{1\alpha\delta} u^\alpha + R_{1\Delta\delta} v^\Delta = \frac{\eta_2 \eta_1^2}{l_1 E} \Delta R_{0\delta}; \quad (4)$$

$$\langle \alpha \rangle, \langle \Delta \rangle, \quad (\beta = 1, \dots, s; \delta = 1, \dots, e).$$

Коэффициенты матрицы системы (4) и свободные члены имеют вид

$$A_{1\alpha\beta} = \int_0^1 \tilde{a}_1 \chi'_\alpha \chi'_\beta dz, \quad B_{1\alpha\beta} = \int_0^1 \tilde{b}_1 \chi_\alpha \chi_\beta dz; \quad C_{1\Delta\beta} = \int_0^1 \tilde{c}_1 \lambda'_\Delta \chi_\beta dz,$$

$$D_{1\alpha\beta} = \int_0^1 \tilde{d}_1 \chi_\alpha \lambda'_\delta dz, \quad R_{1\Delta\delta} = \int_0^1 \tilde{r}_1 \lambda'_\Delta \lambda'_\delta dz. \quad (5)$$

$$\Delta R_{0\delta} = \int_0^1 R_0(z) \lambda_\delta dz, \quad \Delta P_{1\beta} = \int_0^1 P_1(z) \chi_\beta dz, \quad (6)$$

где

$$\tilde{a}_1 = \int \tilde{A}_1 \varphi_1^2 \bar{\delta} ds, \quad \tilde{b}_1 = \int \tilde{A}_2 \varphi_1'^2 \bar{\delta} ds, \quad \tilde{c}_1 = \tilde{d}_1 = \int \tilde{A}_2 \psi_0 \varphi_1' \bar{\delta} ds, \quad \tilde{r}_1 = \int \tilde{A}_2 \psi_0^2 \bar{\delta} ds. \quad (7)$$

Физическая нелинейность учитывается в виде следующей зависимости между интенсивностью напряжений и деформацией

$$\sigma_i = E(1 - \bar{m} \varepsilon_i^2) \varepsilon_i. \quad (8)$$

В соответствии с [2] выражения для условных жёсткостей в этом случае имеют вид

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 &= \left[ 1 - \frac{1}{3} \bar{m} \left( \frac{4}{3} \varepsilon^2 + \varepsilon_{12}^2 \right) \right] = \\ &= \left[ 1 - \frac{1}{3} \bar{m} \left( \frac{4}{3} (U_1^\alpha \chi'_{1\alpha})^2 \varphi_1^2 + \left( \frac{1}{\eta_1} V_0^\Delta \lambda'_{0\Delta} \psi_0 + U_1^\alpha \chi'_{1\alpha} \varphi_1' \right)^2 \right) \right]; \\ \tilde{A}_2 &= \left[ 1 - \bar{m} \left( \frac{4}{9} \varepsilon^2 + \varepsilon_{12}^2 \right) \right], \quad \langle \alpha \rangle, \langle \Delta \rangle. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассмотрим оболочку с шарнирным закреплением торцов (рис. 3). Под шарнирным закреплением понимается такое, при котором точки поперечного сечения могут свободно перемещаться в продольном направлении. В этом случае имеют место только геометрические граничные условия

$$u_1'(z) = v_0(z) = 0; \quad z=0; 1, \quad (10)$$

где  $u_1'(z)$  – производная от продольных перемещений (нормальные напряжения);  $v_0(z)$  – углы поворота поперечного сечения.

Оболочка находится под действием равномерно распределенной крутящей нагрузки. Оболочки такого типа используются в качестве одной из расчетных схем для мостовых балок.

Ортонормированный базис  $\chi_{1\alpha}(z)$ ,  $\lambda_{0\Delta}(z)$  Гильбертова пространства зависит только от граничных условий и характера внешней нагрузки и не зависит от формы поперечного сечения, поэтому в качестве объекта исследования рассматривается оболочка с прямоугольным контуром поперечного сечения, с постоянной толщиной стенок (рис. 3).

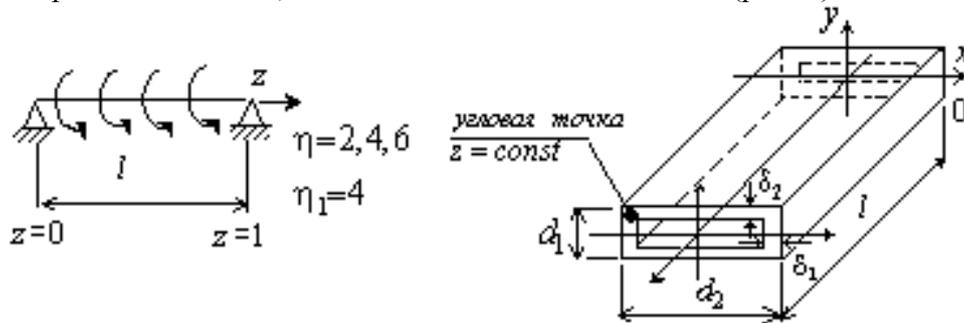


Рис. 3

Рассматривается оболочка средней длины со следующими геометрическими и физическими параметрами:

$$\eta = \frac{d_2}{d_1} = 2; 4; 6; \quad \eta_1 = \frac{l}{d_2} = 4 \quad \bar{\delta}_1 = \bar{\delta}_2 = 1; \quad (11)$$

$$\bar{m} = 0; \nu = 0,5; l_1 = \frac{1}{2(1+\nu)}; \frac{\eta_1^2 \eta_2}{l_1 E} R_0 = 0,0072; (R_0 = \text{const}), P_1(z)=0. \quad (12)$$

В этом случае выражения для коэффициентов (5)-(7) системы (4) принимают следующие выражения:

$$A_{1\alpha\beta} = a_1 A_{\alpha\beta}, \quad B_{1\alpha\beta} = b_1 B_{\alpha\beta}, \quad C_{1\Delta\beta} = c_1 C_{\Delta\beta}, \quad D_{1\alpha\delta} = d_1 D_{\alpha\delta},$$

$$\Delta R_{0\delta} = \int_0^1 R_0(z) \lambda_\delta dz, \quad \Delta P_{1\beta} = \int_0^1 P_1(z) \chi_\beta dz, \quad R_{1\Delta\delta} = r_1 R_{\Delta\delta}, \quad (13)$$

где

$$a_1 = \int \varphi_1^2 \bar{\delta} ds, \quad b_1 = \int \varphi_1'^2 \bar{\delta} ds, \quad c_1 = d_1 = \int \psi_0 \varphi_1' \bar{\delta} ds, \quad r_1 = \int \psi_0^2 \bar{\delta} ds, \quad (14)$$

$$A_{\alpha\beta} = \int_0^1 \chi_\alpha \chi_\beta' dz, \quad B_{\alpha\beta} = \int_0^1 \chi_\alpha \chi_\beta dz; \quad C_{\Delta\beta} = \int_0^1 \chi_\Delta' \chi_\beta dz,$$

$$D_{\alpha\delta} = \int_0^1 \chi_\alpha \chi_\delta' dz, \quad R_{\Delta\delta} = \int_0^1 \chi_\Delta' \chi_\delta' dz. \quad (15)$$

На основании вида граничных условий и характера нагружения предполагаем, что изменения продольных перемещений  $u_1(z)$  и их производных  $u_1'(z)$ , углов поворота  $v_0(z)$  и  $v_0'(z)$  – вдоль оболочки имеют вид, показанный на рис. 5, 6 соответственно. Например, продольные перемещения  $u_1(z)=\text{max}$  при  $z=0$ ; 1 – в торцах оболочки, а углы поворота  $v_0(z)=\text{max}$  при  $z=l/2$ .

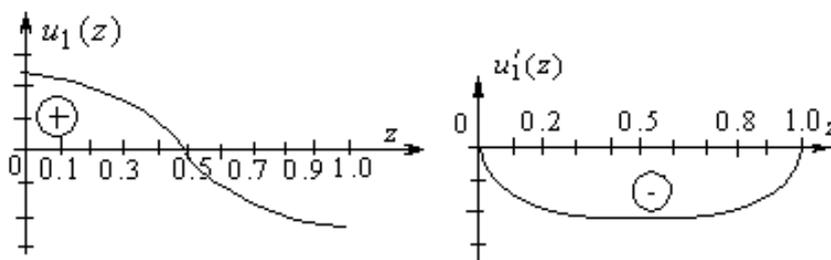


Рис. 4

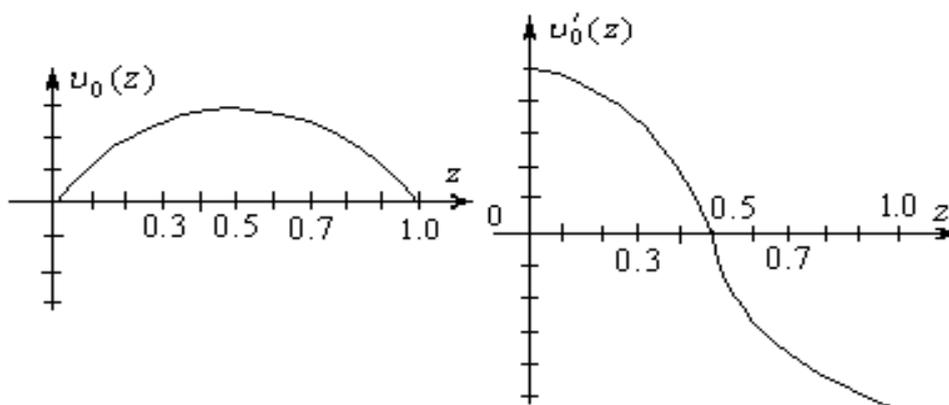


Рис. 5

В соответствии с видом графиков на рис. 4-5 и граничных условий (10) при шарнирной заделке выражения для аппроксимирующих функций по методу Ритца – Тимошенко выбираем в виде

$$\begin{aligned} \chi_\alpha(z) &= \cos \pi(2\alpha - 1)z; & \lambda_\Delta(z) &= \sin \pi(2\delta - 1)z; \\ \chi'_\alpha(z) &= -\pi(2\alpha - 1)\sin \pi(2\alpha - 1)z; & \lambda'_\Delta(z) &= \pi(2\delta - 1)\cos \pi(2\delta - 1)z; \\ \chi''_\alpha(z) &= -\pi^2(2\alpha - 1)^2\chi_\alpha(z); & \lambda''_\Delta(z) &= -\pi^2(2\delta - 1)^2\lambda_\Delta(z). \end{aligned} \quad (16)$$

Сложность дальнейшего решения зависит от того, насколько удачно выбрана система функций, т.к. от этого зависит быстрота сходимости приближенных решений к точным.

Коэффициенты (15) для выбранной системы функций (22) имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} A_{\alpha\beta} &= \int_0^1 \chi'_\alpha \chi'_\beta dz = 0; \quad (\alpha \neq \beta); & A_{\alpha\alpha} &= \frac{1}{2} \pi^2 (2\alpha - 1)^2; \\ B_{\alpha\beta} &= \int_0^1 \chi_\alpha \chi_\beta dz = 0; \quad (\alpha \neq \beta); & B_{\alpha\alpha} &= \frac{1}{2}; \\ C_{\Delta\beta} &= \int_0^1 \lambda'_\Delta \chi_\beta dz = 0; \quad (\Delta \neq \beta); & C_{\Delta\beta} &= \frac{1}{2} \pi(2\Delta - 1); \quad (\Delta = \beta); \\ D_{\alpha\delta} &= C_{\delta\alpha} = \frac{1}{2} \pi(2\alpha - 1); \quad \text{при } (\delta = \alpha); & D_{\alpha\delta} &= 0 \quad \text{при } \alpha \neq \delta; \\ R_{\Delta\delta} &= \int_0^1 \lambda'_\Delta \lambda'_\delta dz = 0; \quad \text{при } \Delta \neq \delta; & R_{\Delta\delta} &= \frac{1}{2} \pi^2 (2\delta - 1)^2 \quad \text{при } \Delta = \delta; \\ & & \int_0^1 \lambda_\delta dz &= \frac{2}{\pi(2\delta - 1)}. \end{aligned}$$

Количество слагаемых, удерживаемых в разложении (2) для  $u_1(z)$  и  $v_0(z)$ , равно  $s=e=1-30$ . В табл. 1-2 приведены значения искомых коэффициентов  $u_\alpha, v_\Delta$  в долях (в %) от первого приближения  $u_1, v_1$ , соответственно. На рис. 6 показан характер сходимости коэффициентов  $u_\alpha$  для  $\eta=2$ .

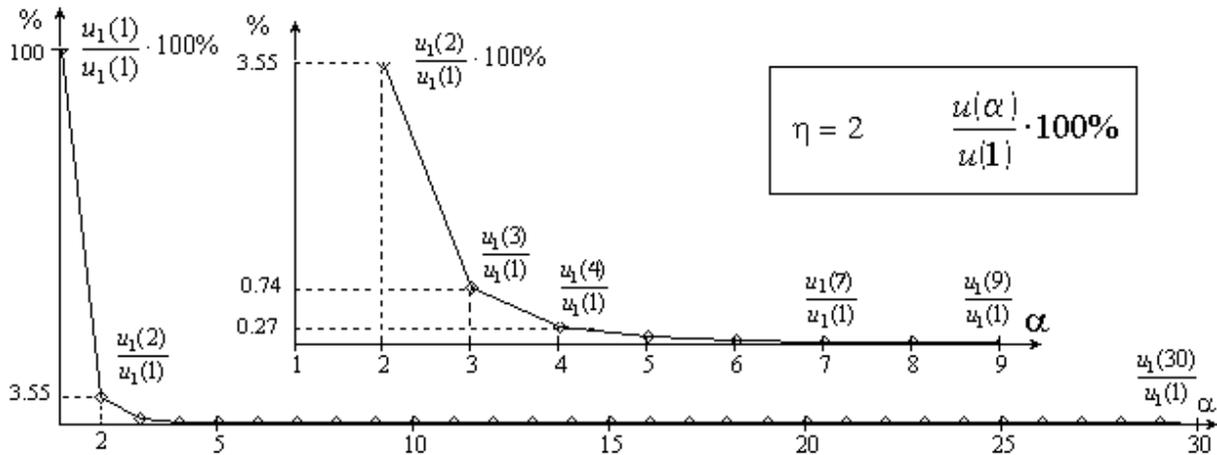


Рис. 6

На рис. 7-8 приведены графики изменения исследуемых компонентов напряженно-деформированного состояния вдоль оси оболочки ( $\eta=2$ ). Сплошная кривая соответствует значению  $s=e=30$  и принимается за точное решение. Пунктирные графики (кривые 1 и 2), соответствуют приближениям  $s=e=1$  и  $s=e=4$ . На рис. 7 приведено изменение продольного перемещения в угловой точке (рис. 4) и производной от продольного перемещения в угловой

точке (нормальное напряжение). На рис. 8 – углы поворота поперечных сечений и производные от углов поворота (касательные напряжения). На графиках видно, что кривая 2 ( $s=e=4$ ) практически совпадает с точным решением ( $s=e=30$  – сплошная кривая).

Таблица 1

$\alpha$	1	2	3	4	6	7	9	10	20	30
$\eta$	$(u(\alpha)/u(1)) \cdot 100\%$									
2	100	6.78	1.37	0.42	0.078	0.041	0.014	0.009	0.0005	0.00010
4	100	7.64	1.69	0.55	0.106	0.056	0.020	0.013	0.0007	0.00014
6	100	7.94	1.82	0.60	0.118	0.063	0.023	0.015	0.0008	0.00016

Таблица 2

$\Delta$	1	2	3	4	6	7	9	10	20	30
$\eta$	$(v(\Delta)/v(1)) \cdot 100\%$									
2	100	3.55	0.74	0.27	0.068	0.041	0.018	0.013	0.0015	0.00044
4	100	3.30	0.64	0.22	0.052	0.031	0.014	0.010	0.0011	0.00032
6	100	3.18	0.58	0.19	0.043	0.025	0.011	0.007	0.0007	0.00025

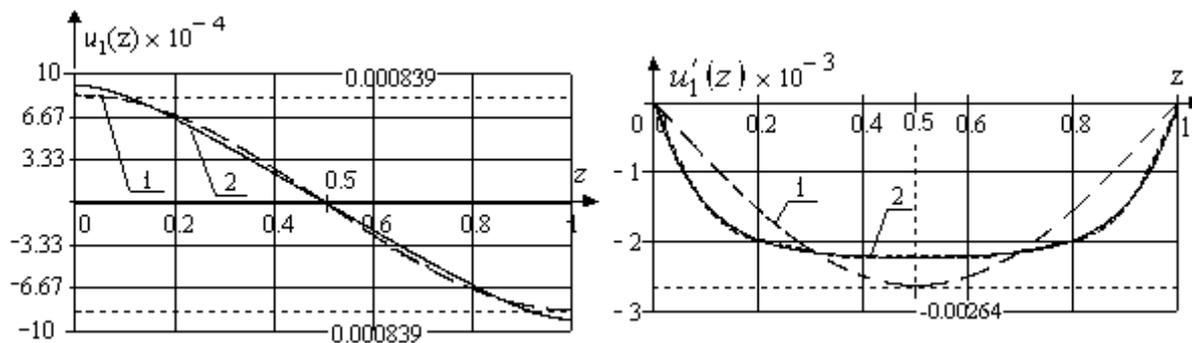


Рис. 7

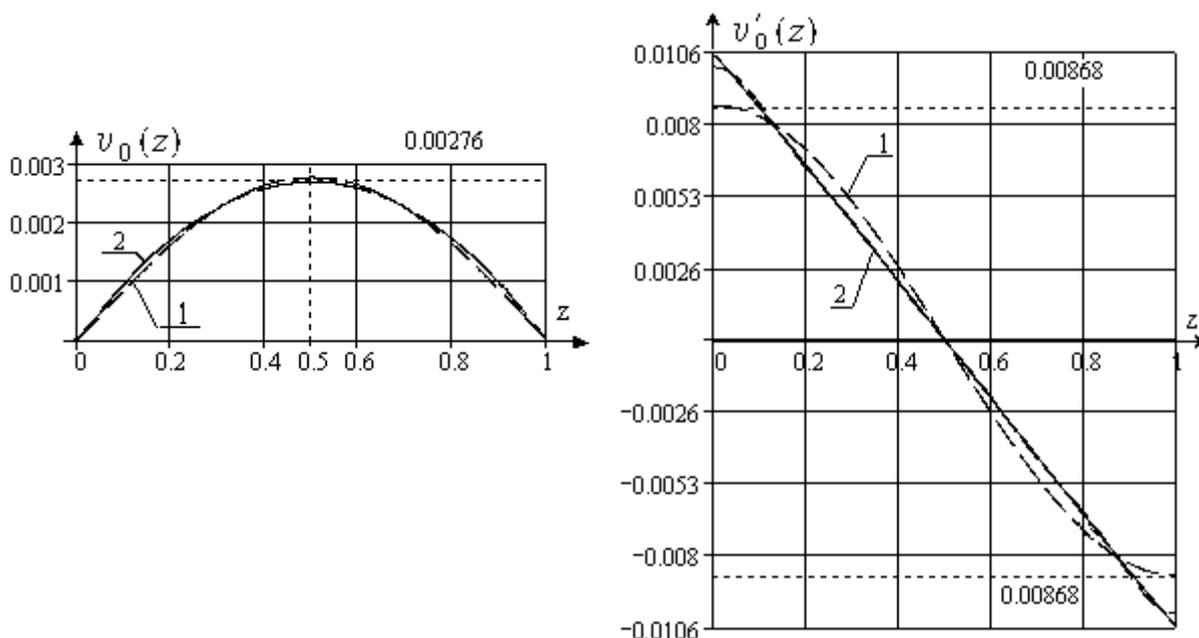


Рис. 8

В табл. 3-5 приведены значения исследуемых компонентов напряженно-деформированного состояния вдоль оси оболочки ( $z=0-0,5$ ) при  $s=e=1; 4; 30$ .

Таблица 3

$\eta=2$	$u_1(z) \cdot 10^4$			$-u'_1(z) \cdot 10^3$			$v_0(z) \cdot 10^3$			$v'_0(z) \cdot 10^3$		
	s			s			e			e		
z	1	4	30	1	4	30	1	4	30	1	4	30
0	8.39	9.11	9.14	0	0	0	0	0	0	8.68	10.1	10.5
0.1	7.98	8.29	8.27	0.81	1.49	1.48	0.85	0.96	9.58	8.25	8.7	8.56
0.2	6.79	6.49	6.50	1.55	1.99	1.98	1.62	1.71	1.71	7.02	6.36	6.45
0.3	4.93	4.42	4.41	2.13	2.14	2.16	2.23	2.25	2.25	5.10	4.37	4.31
0.4	2.59	2.22	2.22	2.51	2.24	2.22	2.63	2.57	2.57	2.68	2.12	2.16
0.5	0	0	0	2.64	2.20	2.23	2.76	2.68	2.68	0	0	0

Таблица 4

$\eta=4$	$u_1(z) \cdot 10^3$			$-u'_1(z) \cdot 10^3$			$v_0(z) \cdot 10^3$			$v'_0(z) \cdot 10^2$		
	s			s			e			e		
z	1	4	30	1	4	30	1	4	30	1	4	30
0	2.58	2.84	2.80	0	0	0	0	0	0	2.86	3.27	3.36
0.1	2.45	2.56	2.52	2.25	4.95	4.65	2.81	3.13	3.11	2.72	2.86	2.81
0.2	2.09	1.98	1.97	4.76	6.24	6.10	5.35	5.61	5.59	2.31	2.12	2.14
0.3	1.52	1.34	1.33	6.56	6.54	6.54	7.36	7.40	7.38	1.68	1.45	1.43
0.4	0.80	0.67	0.67	7.71	6.80	6.68	8.65	8.49	8.45	0.08	0.71	0.72
0.5	0	0	0	8.11	6.62	6.71	9.10	8.84	8.81	0	0	0

Таблица 5

$\eta=6$	$u_1(z) \cdot 10^3$			$-u'_1(z) \cdot 10^3$			$v_0(z) \cdot 10^3$			$v'_0(z) \cdot 10^2$		
	s			s			e			e		
z	1	4	30	1	4	30	1	4	30	1	4	30
0	4.33	4.78	4.69	0	0	0	0	0	0	5.97	6.80	6.90
0.1	4.12	4.31	4.22	4.21	8.53	7.89	5.87	6.5	6.4	5.68	5.97	5.86
0.2	3.51	3.31	3.29	8.00	10.54	10.3	11.2	11.7	11.6	4.83	4.46	4.48
0.3	2.55	2.24	2.23	11.0	10.95	10.9	15.4	15.5	15.3	3.51	3.04	3.01
0.4	1.34	1.11	1.11	12.9	11.37	11.1	18.1	17.8	17.6	1.85	1.50	1.51
0.5	0	0	0	13.6	11.03	11.2	19.0	18.5	18.4	0	0	0

На рис. 9 визуально показаны размеры рассматриваемых поперечных сечений в долях от квадратного ( $\eta=1$ ). Ширина и длина оболочки постоянна.

На рис. 10-11 приведены графики изменения в зависимости от  $\eta$  максимальных значений:

- продольных перемещений  $u_1(z)$  (при  $z=0$ );
- производной от продольного перемещения (нормальное напряжение)  $u'_1(z)$  (при  $z=0,5$ ) в угловой точке контура;
- углов поворота  $v_0(z)$  (при  $z=0,5$ );
- производной от углов поворота (касательные напряжения)  $v'_0(z)$  (при  $z=0$ ).

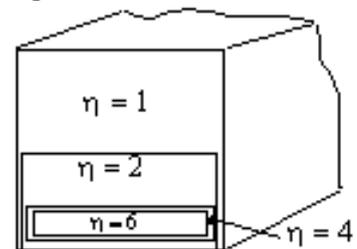


Рис. 9

Кривая 1 – соответствует значению  $s=e=1$ , то есть  $u_1(0)=u_1$ ;  $u_1'(0,5) = -\pi \cdot u_1$ ;  $v_0(z)=v_1$ ;  $v_0'(0) = \pi \cdot v_1$ . Кривая 2 – соответствует значению  $s=4$ ;  $e=4$ , то есть  $u_z(0)=u_1+u_2+u_3+u_4$ ;  $v_0(0,5)=v_1+v_2+v_3+v_4$  и т.д. Кривая 3 – соответствует значению  $s=30$ ;  $e=30$ .

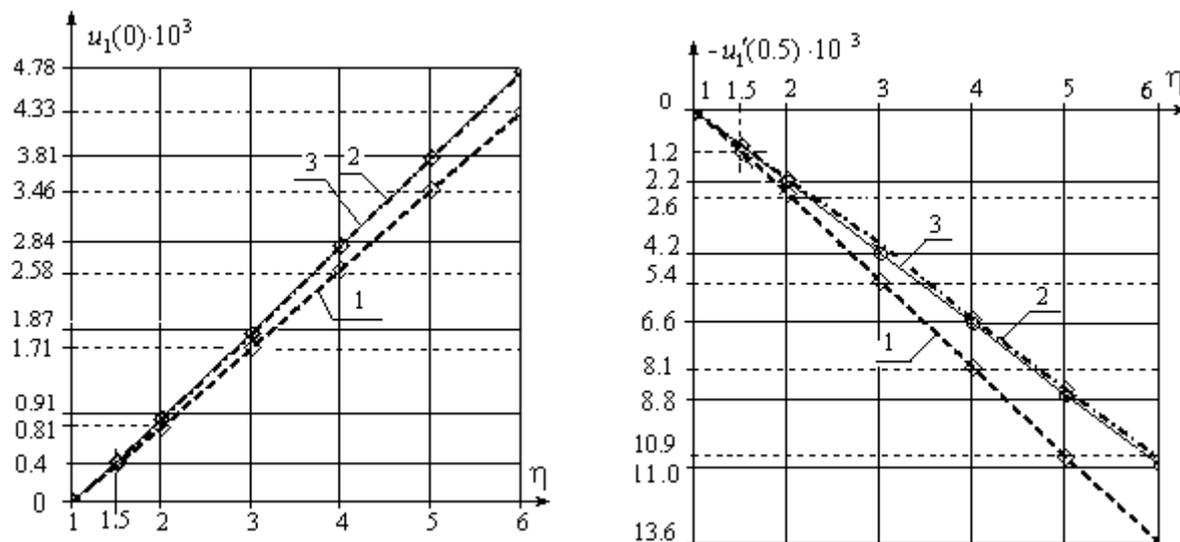


Рис. 10

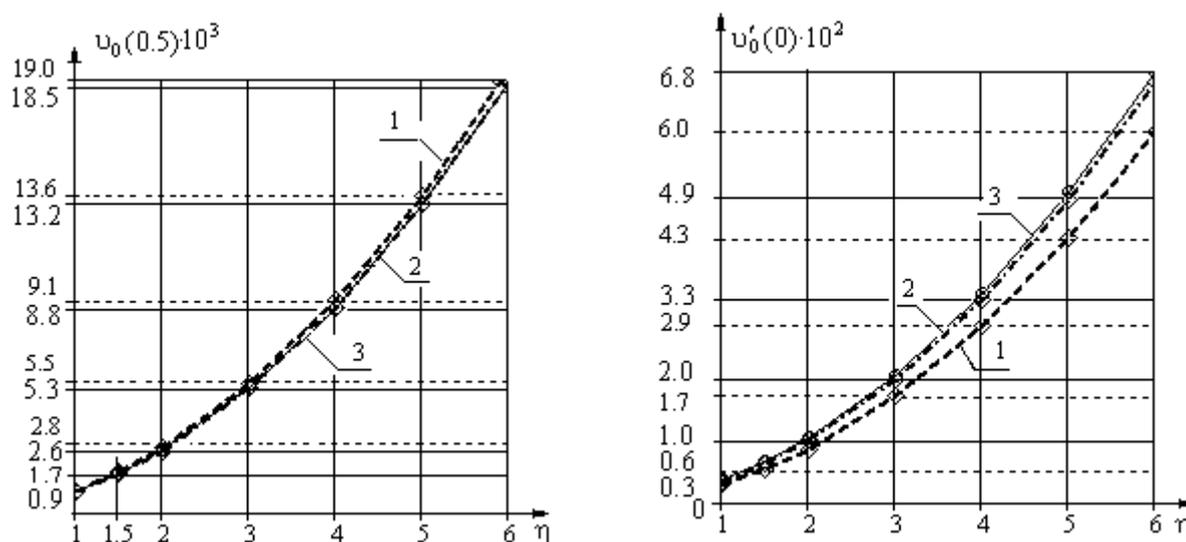


Рис. 11

*Заключение.* Показано (рис. 10, 11), что предлагаемые системы аппроксимирующих функций могут быть использованы в практике вариантного проектирования конструкций такого типа при рассмотренных видах граничных условий и нагрузений.

Анализ графиков на рис. 5-8, 10-11 и табл. 1-5 показывает, что выбранный ортогональный базис Гильбертова пространства удовлетворяет граничным условиям при шарнирном закреплении оболочки, обеспечивает быструю сходимость и правильно отображает характер напряженно-деформированного состояния оболочки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов О.Р. Применение метода Ритца-Тимошенко к расчёту прямых замкнутых призматических оболочек с учётом физической нелинейности / О.Р. Кузнецов // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2004. С. 128-136.

2. Петров В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек / В.В. Петров. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 119 с.

**Губарева Наталья Валентиновна –**

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

УДК 539.3

**М.В. Жигалов**

**МЕТОДЫ Понижения Порядка Дифференциальных Уравнений  
Механики Деформированного Твёрдого Тела (Обзор)**

*Приведены обзор и систематизация методов, позволяющих понизить порядок исходных дифференциальных уравнений, описывающих поведение твёрдых тел при действии различных нагрузок.*

**M.V. Zhigalov**

**METHODS OF DOWNTURN ABOUT THE DIFFERENTIAL EQUATIONS  
OF MECHANICS OF THE DEFORMED SOLID BODY**

*There is a review and methods systematization in the article, allowing lowering the order of the initial differential equations describing behaviors of solid bodies at action of various loadings.*

**1. Исторический обзор**

При описании физического явления ученые обычно вводят в рассмотрение некоторую систему дифференциальных уравнений, обыкновенных или в частных производных, справедливую в определенной области, и налагают на эту систему подходящие краевые и начальные условия. На этой стадии математическая модель замкнута, и для практического применения требуется только найти решение для конкретного множества числовых данных. Здесь, однако, возникают основные трудности, так как точному решению существующими аналитическими методами поддаются лишь уравнения самого простого вида внутри геометрически тривиальных границ.

В связи с этим возникла потребность в методах, позволяющих упростить исходные дифференциальные уравнения. Эти методы можно разделить на три группы: 1) линеаризация

уравнения; 2) понижение размерности искомой функции; 3) понижение порядка дифференциального оператора.

Существующие методы линеаризации нелинейных задач, в зависимости от уровня, на котором она происходит, можно разделить на две группы. Первая группа – линеаризация систем дифференциальных уравнений, вторая – линеаризация алгебраических уравнений, получающихся в результате применения к исходным дифференциальным методам дискретизации. Среди наиболее известных методов можно выделить метод простой итерации, Ньютона и его модификаций, методы спуска.

К методам, понижающим размерность искомой функции, относятся методы разделения переменных, вариационные методы, метод прямых и другие.

Данная статья посвящена методам, относящимся к третьей группе – понижению порядка исходного дифференциального уравнения.

Возникновение методов понижения порядка в XVII веке связано с развитием общей и небесной механики, физики жидкости и газов, физики упругой среды, технической механики и гидравлики.

Первые же задачи в этих отраслях науки потребовали методов интегрирования нелинейных уравнений второго порядка. К уравнениям высокого порядка приводили задачи о движении точки в сопротивляющейся среде, движении систем со многими связями и т.д.

Поэтому одним из направлений формирования теории обыкновенных дифференциальных уравнений явилось развитие методов решения дифференциальных уравнений в конечной форме. Именно в этом плане развивались методы понижения порядка и интегрирующего множителя. Интерес к таким методам объясняется тем, что способы интегрирования отдельных классов уравнений первого порядка были уже известны.

Одним из первых результатов в этом направлении следует назвать решение младшего из двух братьев Бернулли – Иоганна (1667-1748), которое он получил в 1700 г. Он рассмотрел однородное линейное дифференциальное уравнение  $n$ -го порядка вида:

$$Qx^n \frac{d^n y}{dx^n} + \dots + Bx^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + Ax \frac{dy}{dx} + y = 0 . \quad (1)$$

С помощью интегрирующего множителя  $x^p$  он последовательно понижал порядок этого уравнения.

Джакомо Франческо Рикатти (1676-1754) первым предложил способ понижения порядка дифференциального уравнения, не содержащего явно одну из переменных. Линейное обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка, вида:

$$y'' = f(y, y') , \quad (2)$$

посредством введения новой функции по правилу:

$$p(y) = y', \quad p'y' = y'' , \quad (3)$$

сводится к уравнению первого порядка:

$$p'p = f(y, p) . \quad (4)$$

Еще ранее этот способ был употреблен Яковом Бернулли (1654-1705), но статья швейцарского математика увидела свет немного позже.

Первую попытку систематизировать дифференциальные уравнения, позволяющие понизить порядок, предпринял Леонард Эйлер (1707-1783). Им было рассмотрено три вида уравнений второго порядка, допускающих, с помощью замены независимой переменной и неизвестной функции, приведение к уравнению первого порядка. Определение этих видов основано на обобщении понятия однородности, т.е. уравнение

$$ax^m y^{-m-1} dx^p dy^{2-p} + bx^n y^{-n-1} dx^q dy^{2-q} = 0 \quad (5)$$

будет однородным, если  $x, y, dx, dy, \dots$  имеют одинаковые измерения. Для интегрирования обобщенно-однородного уравнения второго порядка в дальнейших своих исследованиях Эйлер представляет его в виде системы двух уравнений первого порядка и с помощью соотношений

$$dy = p dx, \quad dp = q dx \quad (6)$$

формулирует следующий критерий однородности: переменные  $x, y, p, q$  должны входить в уравнение так, чтобы подстановка

$$y = ux, \quad q = \frac{v}{x} \quad (7)$$

исключала из уравнения переменную  $x$ .

Первый тип уравнений, рассмотренных Эйлером – это линейные однородные дифференциальные уравнения второго порядка вида:

$$y'' = a(x)y' + b(x)y, \quad (8)$$

которые с помощью подстановки

$$y = e^{\int p(x)dx} \quad (9)$$

сводятся к нелинейному, неоднородному уравнению первого порядка

$$p^2 + p' = a(x)p + b(x). \quad (10)$$

Второй тип – линейные однородные дифференциальные уравнения второго порядка, не зависящего от  $y$ :

$$y'' = f(x, y'), \quad (11)$$

которые сводятся к системе уравнений первого порядка путем введения новой переменной по формуле:

$$y' = v(x). \quad (12)$$

В результате приходим к системе уравнений первого порядка

$$\begin{cases} v' = f(x, v), \\ y' = v(x). \end{cases} \quad (13)$$

Третий тип уравнений, рассмотренный Эйлером, был аналогичен тому, что рассмотрел Рикатти.

Эта работа сыграла существенную роль для решения дифференциальных уравнений второго порядка, т.к. в ней Эйлер разработал методы, которые стали классическими и теперь входят во все учебники по дифференциальным уравнениям.

Следующий шаг в развитии методов понижения порядка сделали Жозеф Луи Лагранж (1736-1813) и Жан Лерон Д'Аламбер (1717-1883). Независимо друг от друга и практически одновременно, в 1766 году, они предложили следующий способ понижения порядка обыкновенного дифференциального уравнения. Лагранжем было замечено, что если известно  $p$  корней однородного дифференциального уравнения  $n$ -го порядка, то, используя их, можно перейти к интегрированию неоднородного дифференциального уравнения  $(n-p)$ -го порядка с теми же коэффициентами. Для уравнения второго порядка:

$$a(x)y'' + b(x)y' + c(x)y = 0 \quad (14)$$

этот способ выглядит следующим образом. Пусть  $\varphi(x)$  является решением уравнения (14). Представим функцию  $y(x)$  в виде

$$y(x) = u(x) \cdot \varphi(x). \quad (15)$$

Подставляем это выражение в уравнение (14), в которое входят лишь производные от функции  $u(x)$ , что позволяет свести его к уравнению первого порядка.

Вывод этого утверждения с несколько других позиций был дан Д'Аламбером в письме к Лагранжу.

Дальнейшее развитие методов понижения порядка было обусловлено появлением в начале XIX века новой отрасли математики – символического исчисления, однако, нужно заметить, что первые попытки установить связь между дифференциальными и алгебраическими операторами восходят к 1625 году. Именно в этом году Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646-1716) заметил сходство в образовании выражений для  $d^n(x, y, z, \dots)$  и для  $(x+y+z+\dots)^n$ . Он увидел также, что подобную символику можно распространить на интегралы любого порядка. В дальнейшем эту мысль развивали Эйлер и Лагранж. Ф.Ж. Сервуа (1767-1847) впервые понял, что более глубокая причина этого параллелизма кроется в сохранении некоторых формальных законов при вычислении с некоторыми операторами.

Первые символичные методы – метод факторизации и метод разложения были предложены Борнаби Бриссоном (1777-1828). В 1808 году он предложил следующий способ решения линейного дифференциального уравнения произвольного порядка, с постоянными коэффициентами:

$$F\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}, \dots\right)u = f(x, y, \dots, t). \quad (16)$$

Если рациональная функция  $F$  может быть представлена в виде произведения  $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \dots F_n$  сомножителей того же рода, что и исходная функция, то исходное уравнение равносильно следующей системе уравнений:

$$F_1 u_{n-1} = f, F_2 u_{n-2} = u_{n-1}, \dots, F_n u = u_1. \quad (17)$$

Второй метод Бриссона можно назвать методом разложения, так как он исходит из разложения обратного оператора на сумму простых дробей. Если

$$F = F_1 F_2 \dots F_n, \quad \frac{\varphi}{F} = \frac{\varphi_1}{F_1} + \frac{\varphi_2}{F_2} + \dots + \frac{\varphi_n}{F_n}, \quad (18)$$

то решение уравнения

$$Fu = \varphi f, \quad (19)$$

где  $F, \varphi$  – операторы, может быть записано в виде:

$$u = \sum_k \frac{\varphi_k}{F_k} f, \quad (20)$$

где под знаком суммы стоят решения уравнений

$$F_k u_k = \varphi_k f. \quad (21)$$

Оба этих метода позволяют, при определенных условиях, свести решение уравнения  $n$ -го порядка к последовательности уравнений первого порядка.

Работы Бриссона привели к созданию методов понижения порядка, основанных на декомпозиции исходного дифференциального оператора.

Наряду с Бриссоном необходимо отметить работы Огюстена Луи Коши (1789-1857), Г. Либри, Р. Морфии, Джорджа Буля (1815-1864) и других.

В конце XIX – начале XX веков учеными был выявлен ряд аналогий между различного рода физическими явлениями, с точки зрения описывающих их дифференциальных уравнений.

Физические модели могут характеризоваться геометрическим и физическим подобием, когда все протекающие в модели и оригинале процессы имеют одинаковую физическую природу. Тогда моделирование означает исследование объектов в другом масштабе при том же круге измерений и той же их сложности. При этом изменение масштаба может привести к

появлению новых свойств или искажению существующих (например, может выявиться роль пристеночного эффекта). Основой такого моделирования является качественное отождествление модели и объекта.

Физические модели могут основываться также на геометрическом и математическом подобии, когда процессы, имея различную физическую природу, описываются одинаковыми уравнениями (в этом случае говорят об аналогиях).

Так, явление теплопроводности подчиняется закону, который вывел Жан Батист Фурье (1768-1830), имеющему вид:

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dx} dF dt, \quad (22)$$

где  $t$  – температура;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $dQ$  – количество теплоты, проходящей через площадь  $dF$  за время  $dt$ .

Процесс диффузии подчиняется закону А. Фика, открытому им в 1855 году:

$$dM = -k \frac{dc}{dx} dF dt, \quad (23)$$

где  $c$  – концентрация;  $k$  – коэффициент диффузии;  $dM$  – масса вещества, диффундировавшего через площадь  $dF$  за время  $dt$ .

Очевидно, что оба выражения имеют одинаковую структуру, но отличаются тем, что  $Q$  и  $M$ ,  $\lambda$  и  $k$ ,  $t$  и  $c$  имеют различную размерность, хотя роль этих величин в уравнениях одинакова. Поэтому можно считать  $c$  аналогом  $t$ , а  $k$  – аналогом  $\lambda$ .

Допустим, что два различных явления, описываемых дифференциальными уравнениями одинаковой структуры, протекают в геометрически подобных системах и что условия однозначности или граничные условия описываются также одинаковыми выражениями. В этом случае дифференциальные уравнения и условия однозначности будут отличаться только размерностью соответствующих физических величин. Если теперь привести дифференциальные уравнения и условия однозначности к безразмерному виду, выбрав в качестве масштаба длин сходные линейные размеры, а в качестве масштабов физических величин соответствующие аналоги, то различие в размерностях исчезнет и останется только разница в обозначениях. Если при этом безразмерные физические величины – аналоги, начальные и граничные условия будут в обеих системах равны, то решения обоих дифференциальных уравнений (или их систем) будут тождественны, что позволяет считать явления аналогичными и рассматривать одно из них как модель второго.

Подобная аналогия существует между теплопроводностью и электропроводностью при стационарном режиме для плоского (двумерного) твердого тела. Уравнение теплопроводности в этом случае записывается в виде

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0, \quad (24)$$

где  $t$  – температура;  $x, y$  – координаты.

Уравнение электропроводности записывается в виде

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = 0, \quad (25)$$

где  $v$  – электростатический потенциал;  $x, y$  – координаты.

Дифференциальные уравнения теплопроводности и электропроводности имеют совершенно одинаковую структуру. Подобие поля температур и поля потенциалов позволяет упростить экспериментальное исследование процесса теплопроводности за счет более простого и более точного измерения электростатического потенциала по сравнению с измерением температурного поля.

Метод электротепловой аналогии находит себе практическое применение при расчете температурных полей в сложных теплоизоляционных конструкциях, при решении вопросов о защите грунта под охлаждаемыми помещениями от промерзания и т.п.

Существует несколько аналогий между задачами о кручении и гидродинамическими задачами в трубах. На аналогию между уравнениями кручения стержня и ламинарного потока жидкости указал Жозеф Валантен Буссинеск (1842-1929). Гринхил выявил аналогию между функцией напряжений скручиваемого стержня и функцией тока при движении идеальной жидкости, циркулирующей с постоянной интенсивностью вихря в трубе того же поперечного сечения, что и стержень. И, наконец, самая известная аналогия – между задачами о кручении стержня и деформации мембраны, которую ввел Людвиг Прандтль (1875-1953). Дальнейшее развитие этой аналогии было сделано в работах Гриффитса и Джеффри Тейлора (1886-1975). В частности, исходя из аналогии с мыльной пленкой, ими была установлена приближенная формула для жесткости кручения стержней с узким поперечным сечением.

Аналогия Прандтля и другие положили начало развитию методов понижения порядка, основанных на аналогии различных физических объектов и процессов.

Далее приведен обзор современного состояния методов понижения порядка в механике деформированного твердого тела.

## 2. Методы, основанные на введении новой функции

В одной из статей W. Nowacki [46], рассмотрен изгиб полосы, свободно опертой по краям  $x=0$  и  $x=a$ , нагруженной сосредоточенной силой в точке  $x=\xi$ ,  $y=0$ . Дифференциальное уравнение для функции прогиба имеет вид:

$$\frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} + 2\rho\varepsilon^2 \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \varepsilon^4 \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} = 0, \quad (26)$$

где  $\varepsilon^4 = \frac{D_x}{D_y}$ ,  $\rho = \frac{H}{\sqrt{D_x D_y}}$ .

Автор вводит новую функцию  $\varphi$  по формуле:

$$\varphi(x, y) = \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} + \alpha^2 \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2}. \quad (27)$$

В результате исходное уравнение четвертого порядка приводится к уравнению второго порядка:

$$\frac{\partial^2 \varphi(x, y)}{\partial y^2} + \beta^2 \frac{\partial^2 \varphi(x, y)}{\partial x^2} = 0. \quad (28)$$

Новые константы  $\alpha$  и  $\beta$  связаны со старыми следующими соотношениями:

$$\alpha^2 + \beta^2 = 2\rho\varepsilon^2, \quad \alpha^2\beta^2 = \varepsilon^4. \quad (29)$$

В продолжение темы приведем статью Z. Kaczkowski [44], в которой исследуется упругое равновесие неоднородной пластины, деформируемой изгибающей нагрузкой  $q(x, y)$  и усилиями, распределенными по краю и действующими в серединной поверхности. Жесткость является линейной функцией координат. Дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\Delta(D(x, y)\Delta w(x, y)) = q(x, y). \quad (30)$$

Граничные условия двух типов: 1) все стороны оперты; 2) две оперты, две закреплены произвольно. Путем введения новой функции по правилу:

$$\varphi(x, y) = D\Delta w(x, y) \quad (31)$$

исходное уравнение четвертого порядка сводится к уравнению второго порядка для функции  $\varphi(x,y)$ :

$$\Delta\varphi(x, y) = q(x, y). \quad (32)$$

Аналогичный прием использован в статье Е. Giangresco [40] для расчета плит переменной жесткости. Принимая для расчета плиты выражение:

$$D(x, y) = D_0 + D_1x + D_2y, \quad (33)$$

автор приводит уравнение изгиба плиты

$$\Delta(D(x, y)\Delta w(x, y)) = q(x, y) \quad (34)$$

к системе двух уравнений Пуассона

$$\begin{cases} \Delta v(x, y) = q(x, y), \\ \Delta w(x, y) = \frac{v(x, y)}{D}. \end{cases} \quad (35)$$

В статье L.S. Nan [42] рассмотрены задачи устойчивости и деформирования пластин, в виде равнобедренного треугольника. Граничные условия шарнирного опирания позволили автору ввести функцию

$$-M(x, y) = \Delta w(x, y), \quad (36)$$

с помощью которой исходное уравнение четвертого порядка свелось к уравнению второго порядка вида:

$$\Delta M(x, y) = -(q(x, y) + NM(x, y))D. \quad (37)$$

Для пластинок трапециевидного и треугольного очертания подобный подход использован в статье Л.Н. Ротса [28].

Аналогичный подход использован в статье Norman de Grass [39] для расчета напряжений фундаментных плит. Математическая модель, предложенная авторами, приводит к рассмотрению плит на упругом Винклеровом основании. Нагрузка передается через колонну или внешние стены. В результате применения описанного выше подхода имеем:

$$\begin{cases} \Delta M(x, y) = -(q(x, y) - k w(x, y)); \\ \Delta w(x, y) = -\frac{M(x, y)}{D}. \end{cases} \quad (38)$$

В работе В.Л. Буйвола [3] рассмотрена полая сферическая оболочка, под действием постоянного внутреннего давления, ослабленная четырьмя симметрично расположенными круговыми отверстиями. Предполагается, что оболочка упругая и тонкая, а по контурам отверстий приложены лишь перерезывающие силы, постоянные по длине контура. Задача решается методом последовательных приближений, при этом уравнение четвертого порядка в полярной системе координат:

$$\Delta\Delta F(x, y) + \frac{l}{a^2}\Delta F(x, y) = 0, \quad (39)$$

где  $F(x, y) = w(x, y) + i\lambda\varphi(x, y)$ ,  $\lambda = \frac{a^2}{h^2}\sqrt{12(1-\nu^2)}$ ,  $\varphi(x,y)$  – комплексная функция напряжений, сводится к решению системы двух уравнений второго порядка для функций  $F_1(x,y)$ ,  $F_2(x,y)$ :

$$\begin{cases} \Delta F_1(x, y) = 0; \\ \Delta F_2(x, y) + \frac{l}{a^2}F_2(x, y) = 0. \end{cases} \quad (40)$$

При этом функции, в силу симметрии, связаны соотношением

$$F(x, y) = F_1(x, y) + F_2(x, y). \quad (41)$$

В статье J. Sanders, Jr. Lyell, A. Liepins [51] для решения задачи о тонкой круглой тороидальной мембране, находящейся под действием внутреннего давления, используется нелинейная мембранная теория. В результате введения новых функций система сводится к линейному дифференциальному уравнению второго порядка.

В том же 1963 году в статье D. Prakash [47] была рассмотрена прямоугольная в плане оболочка в виде эллиптического параболоида, под действием внутреннего давления. Края оболочки свободно оперты. Разрешающее уравнение, путем замены переменных, относительно функции напряжений, сводится к уравнению Пуассона, с постоянной правой частью, которое затем решается с помощью метода конечных разностей.

Модель толстостенной трубы в виде протяженного стержня прямоугольного сечения с круглым отверстием вдоль оси рассмотрена в статье T. Richards [49]. Внутренняя и внешняя поверхности свободны от напряжений. Предварительно, задача термоупругости, с помощью функции Эри, сводится к бигармоническому уравнению:

$$\Delta\Delta\chi(x, y) = 0. \quad (42)$$

Затем вводится новая функция

$$\phi(x, y) = -\Delta\chi(x, y). \quad (43)$$

Это дает возможность свести исходное уравнение к системе двух уравнений:

$$\begin{cases} \Delta\chi(x, y) = \phi(x, y); \\ \Delta\phi(x, y) = 0. \end{cases} \quad (44)$$

Статья И.А. Мотовиловец, А.М. Новиковой [18] посвящена изучению напряженно-деформированного состояния пологой, неравномерно нагретой оболочки постоянной толщины под действием поперечной нагрузки. Уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} \nabla^4 F(x, y) + E h \nabla_k^2 w(x, y) = E h \nabla^2 v_0(x, y); \\ \nabla^4 w(x, y) - \frac{1}{D} \nabla_k^2 F(x, y) = \frac{q(x, y)}{D} - \nabla^2 v_1(x, y), \end{cases} \quad (45)$$

где  $v_0 = \frac{\alpha_t}{h} \int_{-h/2}^{h/2} T dz$ ;  $v_1 = \frac{12(1+\nu)\alpha_t}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} z T dz$ . Далее авторы вводят новые функции по формулам:

$$\begin{cases} \nabla^2 F(x, y) = \Phi(x, y); \\ \nabla^2 w(x, y) = \Psi(x, y). \end{cases} \quad (46)$$

Исходные уравнения принимают вид:

$$\begin{cases} \nabla^2 \Phi(x, y) + E h \nabla_k^2 w(x, y) = E h \nabla^2 v_0(x, y); \\ \nabla^2 \Psi(x, y) - \frac{1}{D} \nabla_k^2 F(x, y) = \frac{q(x, y)}{D} - \nabla^2 v_1(x, y). \end{cases} \quad (47)$$

Аналогичный подход описан в статье A.S. Fargooqui [41] применительно к основной задаче плоской теории упругости (заданы по контуру напряжения). Это приводит к системе вида:

$$\begin{aligned} \nabla^4 U(x, y) &= 0, \quad (x, y) \in \Omega \\ U(x, y)|_\gamma &= f(x, y), \\ \frac{\partial U(x, y)}{\partial n}|_\gamma &= g(x, y), \end{aligned} \quad (48)$$

где  $\frac{\partial}{\partial n}$  – производная по нормали;  $\gamma$  – граница области  $\Omega$ . Путем введения гармонических функций, ортогональных по односвязанной области, автор свел исходную задачу к задаче Дирихле для уравнения Пуассона.

В 1949 году в статье З.Х. Рафальсона [26] и независимо от него в 1951 году в статье Г.А. Гринберга [6] предложен метод решения неоднородного бигармонического уравнения, определенного в некоторой области  $\Omega$ :

$$\nabla^4 U(x, y) = F(x, y), \quad (x, y) \in \Omega, \quad (49)$$

при условии, что на границе  $\gamma$  этой области заданы известные функции  $f(x, y)$  и  $g(x, y)$ :

$$\begin{cases} U(x, y)|_{\gamma} = f(x, y); \\ \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial n} \right|_{\gamma} = g(x, y). \end{cases} \quad (50)$$

Суть его в следующем: рассмотрим формулу Гаусса-Остроградского:

$$\iint_{\Omega} [V(x, y)\Delta U(x, y) - U(x, y)\Delta V(x, y)]d\Omega = \int_{\gamma} \left[ V(x, y)\frac{\partial U(x, y)}{\partial n} - U(x, y)\frac{\partial V(x, y)}{\partial n} \right]d\gamma, \quad (51)$$

где  $V(x, y)$  – произвольная гармоническая функция в области  $\Omega$ , т.е. удовлетворяющая условию:

$$\Delta V(x, y) = 0. \quad (52)$$

Используя это определение гармонической функции и граничные условия, получаем:

$$\iint_{\Omega} V(x, y)\Delta U(x, y)d\Omega = \int_{\gamma} \left[ V(x, y)g(x, y) - f(x, y)\frac{\partial V(x, y)}{\partial n} \right]d\gamma, \quad (53)$$

причем, при заданной функции  $V(x, y)$ , правая часть является известной величиной. Далее введем в рассмотрение функции  $U_0(x, y)$  и  $U_1(x, y)$  следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta U_0(x, y) = F(x, y); \\ \Delta U_1(x, y) = 0. \end{cases} \quad (54)$$

Связь между функциями  $U(x, y)$ ,  $U_0(x, y)$ ,  $U_1(x, y)$  устанавливается следующим образом:

$$\Delta U(x, y) = U_0(x, y) - U_1(x, y), \quad (55)$$

тогда формула Гаусса – Остроградского примет вид:

$$\begin{aligned} \iint_{\Omega} V(x, y)U_1(x, y)d\Omega &= \iint_{\Omega} V(x, y)U_0(x, y)d\Omega + \\ &+ \int_{\gamma} (f(x, y)\frac{\partial V(x, y)}{\partial n} - V(x, y)g(x, y))d\gamma. \end{aligned} \quad (56)$$

Пусть теперь  $V(x, y)$  – полная система гармонических функций в  $\Omega$ , тогда имеет место равенство:

$$U_1(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} U_{1n}(x, y)V_n(x, y), \quad (57)$$

где

$$U_{1n}(x, y) = \iint_{\Omega} V(x, y)U_1(x, y)d\Omega. \quad (58)$$

Используя формулы (54), (56)-(57), определим  $U_0$  и  $U_1$ . Подставляя полученные значения в правую часть уравнения (55) и используя граничные условия системы (50), находим функцию  $U$ .

Дальнейшее использование этой методики рассмотрено в статьях Г.А. Гринберга, Н.Н. Лебедева и Д.С. Уфлянда [7, 8] при решении задач изгиба тонких плит под действием постоянной и симметричной нагрузок. В статье В.Г. Лабазина и Г.М. Федоровой [15] вместо решения уравнения (55) при решении однородного бигармонического уравнения, с нулевой правой частью, предлагается использовать формулу Грина для нахождения  $U$  (функция  $U_0(x,y)$  отсутствует):

$$U(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{\gamma} \left( f(x, y) \frac{\partial \ln r}{\partial n} - g(x, y) \ln r \right) d\gamma + \frac{1}{2\pi} \iint_{\Omega} U_1(x, y) \ln r d\Omega . \quad (59)$$

Криволинейный интеграл в (59) выражен через заданные функции  $f(x,y)$  и  $g(x,y)$ . В двойном интеграле функция  $U_1(x,y)$  представляется в виде ряда (57), коэффициенты которого также выражены через функции  $f(x,y)$  и  $g(x,y)$ . Предложенный прием авторами применен к бигармонической задаче для круга.

Рассмотрим задачу описанную в статье А.Е. Евдокимова [11]: тонкая пластинка с гладким контуром подвержена действию равномерно сжимающих сил в срединной плоскости. Уравнение упругой поверхности имеет вид:

$$\Delta^2 w(x, y) + k^2 \Delta w(x, y) = 0 , \quad (60)$$

где  $k^2 = \frac{P}{D}$ ,  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ ,  $\Delta^2 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$ .

Представим уравнение в виде:

$$\Delta(\Delta + k^2)w(x, y) = 0 . \quad (61)$$

Из уравнения следует, что  $(\Delta + k^2)w(x, y)$  – гармоническая функция, которую обозначаем

$$\Delta w(x, y) + k^2 w(x, y) = k^2 w_1(x, y) . \quad (62)$$

Решение исходного уравнения представим в виде:

$$w(x, y) = w_1(x, y) + w_2(x, y) . \quad (63)$$

Подставив (57) в (56), получим:

$$\Delta w_1(x, y) + k^2 w_1(x, y) + \Delta w_2(x, y) + k^2 w_2(x, y) = k^2 w_1(x, y) . \quad (64)$$

Учитывая, что  $w_1$  – гармоническая функция, получаем:

$$\Delta w_2(x, y) + k^2 w_2(x, y) = 0 . \quad (65)$$

Следовательно, решение исходного уравнения сводится к решению системы двух несвязанных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \Delta w_1(x, y) = 0, \\ \Delta w_2(x, y) + k^2 w_2(x, y) = 0. \end{cases} \quad (66)$$

Статья И.Ю. Колесникова [14] служит примером сведения уравнения шестого порядка к уравнению второго. Рассматривается прямоугольная в плане трехслойная пластина несимметричного строения по толщине с жестким наполнителем, неравномерно нагретая по толщине по некоторому закону  $\tau=T(z)$ . Края пластинки  $y=0$ ,  $y=b$  считаются свободно опертыми, а вдоль сторон  $x=0$ ,  $x=a$  задаются одинаковые смешанные граничные условия. Уравнения температурного изгиба пластины принимаются в виде:

$$\left( 1 - \frac{\vartheta h^2}{\beta} \nabla^2 \right) \nabla^2 \nabla^2 \chi = 0 , \quad (67)$$

где  $\left( 1 - \frac{h^2}{\beta} \nabla^2 \right) \chi = w$  – прогиб пластинки. Вводя новые функции по формулам:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + k^2 \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{1}{\psi} p, & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + k^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = p, \\ \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} + k^2 \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2} = \Phi, \end{cases} \quad (68)$$

автор приходит к системе трех уравнений второго порядка.

В сборнике «Численные методы решения задач теории упругости» мы увидим сразу две статьи по поводу понижения порядка бигармонического уравнения. В первой идет речь о решении бигармонического уравнения в прямоугольной области, с заданной на границе функцией и её производной по нормали. Вводя новую функцию, В.П. Воронко [4] получает систему двух дифференциальных уравнений второго порядка, которую методом конечных разностей сводит к алгебраической, решение которой проводится методом дробных шагов.

В ряде работ в качестве новой функции использовалось понятие приведенного момента:

$$M = (M_r + M_\theta)/(1 + \nu). \quad (69)$$

Примером могут служить статьи Е. Reuss, R. Iring, С. Yang [48], Ю.П. Петрова [21], V. She [43], D.K. Bazai, J.H. Kissel [34].

В первой статье рассмотрена плоская задача теории упругости в полярных координатах. Во второй и третьей рассмотрены задачи изгиба пластин. Бигармоническое уравнение сводится к двум уравнениям второго порядка, для момента и прогиба. Во второй статье в одном из уравнений выделяются контурные члены, и система записывается в матричном виде, что, по мнению автора, упрощает решение. В третьей статье представлен расчет косоугольной, шарнирно опертой на две противоположные стороны тонкой пластины, под действием поперечной нагрузки. В четвертой рассматривается изгиб тонких упругих круговых и секториальных пластин. Исходное уравнение сводится к двум: для прогиба и приведенного момента.

В.Г. Трошин в статье [29] предлагает итерационный метод решения задачи об упругом равновесии тонкой пластинки переменной жесткости под действием поперечной нагрузки. Путем введения дополнительной нагрузки, величина которой определяется методом последовательных приближений, удастся свести исходную задачу к двум задачам Дирихле для уравнения Пуассона, которые в случае шарнирного опирания интегрируются независимо друг от друга. С помощью предложенного метода был решен ряд задач о равновесии прямоугольных пластинок со ступенчатым изменением толщины.

В статье Г.М. Кобелькова и Е.В. Чижонкова [13] предложен метод, основанный на сведении краевой задачи для бигармонического уравнения, к решению нескольких задач Стокса. Рассмотрим первую краевую задачу для бигармонического уравнения

$$\begin{cases} \Delta^2 \psi = \varphi, \\ \psi|_{\partial\Omega} = 0, \\ \frac{\partial \psi}{\partial n}|_{\partial\Omega} = 0, \end{cases} \quad (70)$$

где  $\partial\Omega$  – граница области  $\Omega$ , которая представляет собой квадрат с вырезанным кругом  $K$ , граница которого обозначена как  $\Gamma$ . Вводится задача Стокса

$$\begin{cases} \Delta u - \nabla p = f, \\ \operatorname{div} u = 0, \\ \frac{\partial f}{\partial y} - \frac{\partial f}{\partial x} = \varphi \\ u|_{\partial\Omega} = 0. \end{cases} \quad (71)$$

В статье дано доказательство теоремы о сходимости решения задачи Стокса к решению исходной задачи.

### 3. Методы расщепления

Еще одним направлением среди методов понижения порядка исходного дифференциального уравнения являются методы расщепления или декомпозиции.

Л.А. Розиным [27] путем введения функции взаимосвязи производится расчленение операторов исходных уравнений так, чтобы, зная функции взаимосвязи, можно было сравнительно просто получить решение. Суть подхода заключается в следующем: пусть требуется найти функцию  $u(p)$  точки  $p$ , удовлетворяющей в области  $\Omega$  уравнению

$$Au(p) = f(p), \quad p \in \Omega,$$

а на границе  $\gamma$  – краевым условиям:

$$L_j u(s) = g_j(s) \quad s \in \gamma. \quad (72)$$

Здесь  $A$  – линейный дифференциальный оператор;  $f(p)$  – заданная в  $\Omega$  функция;  $L_j$  – линейные дифференциальные операторы;  $g_j(s)$  – заданная на границе функция.

Предположим, что оператор  $A$  можно расчленить на несколько простейших линейных операторов, в сумме равных  $A$ , каждый из которых сравнительно легко обращается. Кроме того, соответствующее расчленение граничных условий также возможно. Положим

$$A = A_1 + A_2, \quad (73)$$

тогда исходное уравнение распадется на систему:

$$\begin{cases} A_1 u = f_1(p), \\ A_2 u = -f_1(p) + f(p). \end{cases} \quad (74)$$

Функция  $f_1(p)$ , которую автор назвал функцией взаимосвязи, должна быть выбрана из условия эквивалентности расчлененных и исходных уравнений, которое в данном случае состоит в равенстве решений обоих уравнений, т.е. функции  $u(p)$ .

Для нахождения функции  $f_1(p)$  автор предлагает воспользоваться прямым методом. Для этого выбирается полная последовательность  $\{\varphi_n\}$  линейно независимых координатных элементов в функциональном гильбертовом пространстве  $L_2(\Omega)$  и приближенно задается  $f_1(p)$  в виде:

$$f_{1n}(p) = a_1 \varphi_1(p) + \dots + a_n \varphi_n(p). \quad (75)$$

Тогда, обращая операторы  $A_1$  и  $A_2$ , получим:

$$\begin{aligned} u_{1n} &= A_1^{-1} f_{1n}(p) = \sum_{k=1}^n a_k u_{1k}, \\ u_{2n} &= -A_2^{-1} f_{1n}(p) + A_2^{-1} f_{2n}(p) = u_{20} - \sum_{k=1}^n a_k u_{2k}. \end{aligned} \quad (76)$$

Здесь  $u_{20} = A_2^{-1} f(p)$ ,  $u_{1k} = A_1^{-1} \varphi_k(p)$ ,  $u_{2k} = A_2^{-1} \varphi_k(p)$ .

Функция  $u_{1n}$  удовлетворяет той части граничных условий, которая связана с оператором  $A_1$ , а функция  $u_{2n}$  – граничным условиям, связанным с оператором  $A_2$ .

Введем функцию погрешности приближенного решения:

$$\varphi_n = u_{1n} - u_{2n} = -u_{20} + \sum_{k=1}^n a_k v_k, \quad v_k = u_{1k} + u_{2k}. \quad (77)$$

За меру погрешности примем норму этой функции  $\|\varphi_n\|$ , тогда постоянные  $a_k$  можно находить из условия минимума  $\|\varphi_n\|^2$ , которое даёт систему линейных алгебраических уравнений относительно этих постоянных.

Далее в статье Л.А. Розин рассматривает применение указанного метода к задаче теории тонких оболочек в форме Кирхгофа – Лява. Он позволяет разделить уравнения, отнесён-

ные к линиям главных кривизн срединной поверхности, на две системы обыкновенных дифференциальных уравнений, соответственно отнесенные к каждой из главных кривизн в отдельности. Полученные уравнения трактуются как уравнения относительно перемещений и углов поворота для двух групп криволинейных стержней, расположенных вдоль главных кривизн срединной поверхности оболочки. Практическим применением указанного метода служат задачи об изгибе пластины и круглой цилиндрической оболочки.

Обобщением подхода, предложенного Л.А. Розиным, являются статьи Г.И. Пшеничнинова [24, 25] и др. Исходный оператор  $A$  представлен в виде:

$$A = \sum_{k=1}^h A_k, \quad (78)$$

причем некоторые из слагаемых, входящие в операторы  $A_k$ , в исходный оператор могут и не входить. Обозначая

$$A_k u = f_k(p), \quad (79)$$

где  $f(p) = \sum_{k=1}^h f_k(p)$ , составим  $h$  вспомогательных задач относительно  $u_k$ :

$$\begin{aligned} A_k u_k &= f_k(p), \quad p \in \Omega, \\ L_j u_k &= g_j(s) \quad s \in \gamma, \end{aligned} \quad (80)$$

причем граничное условие выбирают таким образом, чтобы в каждой фиксированной точке контура  $\gamma$  оно выполнялось хотя бы для одного из  $u_k$ .

Г.И. Пшеничниновым отмечено, что в соответствии с предлагаемым методом формирование вспомогательных задач может быть выполнено бесчисленным количеством способов. Неоднозначность декомпозиции исходной задачи является следствием двух причин. Первая заключается в произволе выбора операторов  $A_k$ , вторая – в произволе выбора краевых условий: вспомогательная задача может либо не содержать краевые условия, либо содержать их все, либо учитывать любую часть этих условий. Необходимо только, чтобы в каждой точке контура выполнялось краевое условие исходной задачи, при объединении краевых условий вспомогательных задач.

Работа Н.Д. Conway, А.В. Leissa [37] посвящена исследованию тонкой полой сферической оболочки под действием постоянного давления. Уравнение шестого порядка относительно прогиба имеет вид:

$$D \Delta \Delta \Delta w(x, y) + \frac{Eh}{R^2} \Delta w(x, y) = \Delta p(x, y), \quad (81)$$

где  $w$  – прогиб;  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $E$  – модуль упругости;  $D$  – цилиндрическая жесткость;  $R, h$  – радиус срединной поверхности и толщина оболочки. Исходное уравнение распадается на систему:

$$\begin{cases} \Delta w(x, y) + \frac{i w(x, y)}{\lambda^2} = 0, \\ \Delta w(x, y) - \frac{i w(x, y)}{\lambda^2} = 0, \\ \Delta w(x, y) = 0, \\ \Delta \Delta F(x, y) - \frac{Eh}{R^2} \Delta w(x, y) = 0, \end{cases} \quad (82)$$

где  $\lambda = \frac{R^2 D}{E h}$ .

Примером использования метода расщепления служат статьи В.В. Лалина [16] и О.Л. Bowie [35].

Рассмотрим следующую задачу Дирихле для уравнения Пуассона в ограниченной области  $\Omega$   $n$ -мерного евклидова пространства с достаточно гладкой границей:

$$\begin{cases} \Delta^2 U(x, y) = F(x, y), & (x, y) \in \Omega, \\ U(x, y)|_{\gamma} = 0; \\ \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial n} \right|_{\gamma} = 0, & (x, y) \in \gamma. \end{cases} \quad (83)$$

Для задачи (83) А.А. Дородницыным [10] предложен метод сведения к решению более простых распадающихся краевых задач.

Суть этого метода заключается в следующем: рассмотрим задачу, зависящую от параметра  $\varepsilon$ :

$$\begin{cases} \Delta^2 U(x, y) = F(x, y), \\ U(x, y)|_{\gamma} = 0, \\ \Delta U(x, y)|_{\gamma} = \varepsilon \left( \mu \frac{\partial U(x, y)}{\partial n} + \Delta U(x, y) \right) \Big|_{\gamma}, \end{cases} \quad (84)$$

где  $\mu$  – некоторая функция на границе. Задача (84) при  $\varepsilon=1$  превращается в задачу Дирихле, а при  $\varepsilon=0$  – в распадающуюся краевую задачу:

$$\begin{cases} \Delta^2 U(x, y) = F(x, y), \\ U(x, y)|_{\gamma} = 0, \\ \Delta U(x, y)|_{\gamma} = 0. \end{cases} \quad (85)$$

Будем искать решение (85) в виде ряда:

$$U(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n U_n(x, y). \quad (86)$$

Для определения членов ряда  $U_n$  подставим формально (86) в (85). Приравнявая выражения при соответствующих степенях  $\varepsilon$ , получим ряд последовательных задач.

И, наконец, с помощью введения функции  $V(x, y)$ :

$$\Delta U(x, y) = V(x, y) \quad (87)$$

исходное бигармоническое уравнение сводится к последовательности следующих задач:

$$\begin{cases} \Delta U_0(x, y) = V_0(x, y), & U_0(x, y)|_{\gamma} = 0, \\ \Delta V_0(x, y) = F(x, y), & V_0(x, y)|_{\gamma} = 0, \\ \Delta U_i(x, y) = V_i(x, y), & U_i(x, y)|_{\gamma} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots) \\ \Delta V_i(x, y) = 0, & V_i(x, y)|_{\gamma} = \alpha \frac{\partial U_{i-1}(x, y)}{\partial n} + V_{i-1}(x, y), \end{cases} \quad (88)$$

где искомая функция и новая функция  $V(x, y)$  представляются в виде рядов:

$$\begin{cases} U(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n U_n(x, y); \\ V(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n V_n(x, y). \end{cases} \quad (89)$$

Сходимость описанной процедуры рассмотрена в статьях Б.В. Пальцева [19, 20] и др. На основании доказанных теорем сделан вывод о том, что абсолютная величина  $\mu$ , при которой гарантирована сходимость ряда (86), обратно пропорциональна линейным размерам области при фиксированной ее геометрии. Далее отмечено, что чем больше производных имеет правая часть, тем лучше сходится решение приближенной задачи к искомому.

Этот метод использовался Ф. Асадовым [1, 2] для решения задач изгиба плит постоянной и переменной толщины. Причем для решения системы дифференциальных уравнений применялся метод Фурье. В работе [2] проведены исследования зависимости решения от величины коэффициента  $\alpha$ . Отмечено, что для квадратной плиты при уменьшении абсолютного значения  $|\alpha|$  ряды (89) сходятся медленнее к решению данной задачи. С увеличением  $|\alpha|$  быстрота сходимости рядов к решению достигается неравномерно. Аналогичная картина наблюдается и для прямоугольной плиты (1,5×1). Для проверки второго вывода из статьи Б.В. Пальцева рассмотрены два типа нагрузки – равномерная и гидростатическая, при граничных условиях свободного опирания и заделки. Полученные результаты подтвердили вывод о лучшей сходимости для задач с наибольшим количеством производных в правой части. Далее в статье предложенный подход распространен на прямоугольные плиты переменной толщины. Рассмотрены задачи деформирования свободно опертых плит, в которых нагрузка пропорциональна жесткости. Полученные результаты совпали с результатами других авторов.

Д.Ф. Демьяненко [9] использовал этот подход для решения задачи изгиба прямоугольной пластинки. Для решения полученной системы распадающихся дифференциальных уравнений использовалась конечно-разностная аппроксимация в сочетании с методом суммарных представлений Г.Н. Положего [22].

Статья А.И. Уздалева и Ю.И. Миндолина [17] посвящена сведению дифференциальных уравнений в частных производных четного порядка к системе уравнений Лапласа и Пуассона. Рассмотрим этот подход на примере уравнения шестого порядка:

$$a_0 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial x^6} + a_1 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial x^5 \partial y} + a_2 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial x^4 \partial y^2} + a_3 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial x^3 \partial y^3} + a_4 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial x^2 \partial y^4} + a_5 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial x \partial y^5} + a_6 \frac{\partial^6 F(x, y)}{\partial y^6} = 0. \quad (90)$$

Пусть  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6$  – корни характеристического уравнения. Введем оператор:

$$D_k = \frac{\partial}{\partial y} - \mu_k \frac{\partial}{\partial x}. \quad (91)$$

Тогда исходное уравнение можно переписать в виде:

$$D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 D_6 F(x, y) = 0. \quad (92)$$

Далее вводится новая система координат:

$$\begin{cases} u_k = a_k (x \cos \varphi_k + y \sin \varphi_k); \\ v_k = b_k (y \cos \varphi_k - x \sin \varphi_k), \end{cases} \quad (93)$$

с помощью которых уравнение сводится к системе уравнений:

$$\begin{cases} L_3 f_2(x, y) = 0; \\ L_2 f_1(x, y) = f_2(x, y); \\ L_1 F(x, y) = f_1(x, y), \end{cases} \quad (94)$$

где

$$L_k = \frac{\partial^2}{\partial u_k^2} + \frac{\partial^2}{\partial v_k^2}. \quad (95)$$

Полученные уравнения можно решать либо численно, либо аналитически.

Аналогичную процедуру, но для линейных, обыкновенных дифференциальных уравнений описал В.В. Улитин в книге [30]. Предложенный метод называется методом факторизации. Суть его в следующем: рассмотрим линейное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами:

$$L^{(n)}y = a_i y^{(i)} = a_i D^i y = f(x) , \quad (96)$$

где  $D^{(i)} = \frac{d^i}{dx^i}$ .

Предположим, что известно представление линейного оператора  $L^{(n)}$  в виде произведения операторов первого порядка.

$$L^{(n)} = L_1 L_2 L_3 \dots L_n , \quad (97)$$

где

$$L_k = D + b_k, \quad k = 1, 2, \dots, n . \quad (98)$$

Нетрудно убедиться, что коэффициенты при  $D$  будут равны 1, поскольку  $a_n=1$ . Представление (97) называется факторизацией оператора (96), поскольку он представлен в виде произведения сомножителей (факторов).

Обозначим правую часть (98) через

$$w_k = L_{k+1} L_{k+2} L_{k+3} \dots L_n y . \quad (99)$$

Положив  $k=1$  для определения  $w_1$  из (99), получим уравнение

$$L_1 w_1 = w_1' + b_1 w_1 = f(x) . \quad (100)$$

Решение этого уравнения известно и равно

$$w_1 = C_1 e^{-v_1} + e^{-v_1} \int_0^x e^{v_1} f(x) dx, \quad v_k = \int_0^x b_k dx . \quad (101)$$

Для  $k=2$  аналогично

$$L_2 w_2 = w_2' + b_2 w_2 = w_1 ,$$

$$w_2 = C_2 e^{-v_2} + C_1 e^{-v_2} \int_0^x e^{v_2 - v_1} dx + e^{-v_2} \int_0^x e^{v_2 - v_1} \left( \int_0^x e^{v_1} f(x) dx \right) dx . \quad (102)$$

Продолжая процедуру, получаем для  $k=n$  решение уравнения (96) в виде суммы  $n+1$  слагаемых, где первые  $n$  слагаемых представляют собой фундаментальную систему решений однородного уравнения, а последнее есть частное решение неоднородного.

Операция факторизации применяется для широкого круга линейных дифференциальных операторов. Далее в книге автор рассматривает вопрос о нахождении коэффициентов  $b_k$  для ряда конкретных задач с помощью итерационных процедур.

Статья Ю.А. Харченко [31] посвящена рассмотрению изгиба многослойных пластин, с учетом деформации поперечного сдвига. Расположение слоев симметрично, относительно срединной поверхности. Исходная задача сводится к решению двух уравнений типа Софи-Жермен и Пуассона.

Аналогичный прием рассмотрен в статье А. Arosio, S. Panizzi, M. Paoli [33]. Излагаются результаты исследования неоднородных эволюционных уравнений четвертого порядка в гильбертовом пространстве, которые являются аналогами уравнения для балки С.П. Тимошенко. Исходное уравнение сводится к системе двух волновых уравнений второго порядка, которые затем решаются методом Галеркина.

Методы понижения порядка, основанные на частичной алгебраизации исходных дифференциальных уравнений, рассмотрены в статьях В.Е. Шаманского [32] и Р.Е. Гейзена [5]. Рассмотрены уравнения, описывающие модели теории оболочек и пластин, а также плоской статической теории упругости. В некоторых случаях понижение порядка дифференциальных операторов компенсируется увеличением порядка алгебраических операторов.

#### 4. Методы, основанные на аналогиях

Особенный всплеск интереса к аналогии Прандтля виден с начала 50-х годов, когда для решения уравнения изгиба пластин начали использоваться методы, сводящие дифференциальное уравнение в частных производных четвертого порядка к системе уравнений второго порядка.

Ярким примером такого рода является статья Т. Nishihara и К. Tanaka [45], в которой задача об изгибе квадратной пластинки, находящейся под действием равномерно распределенной нагрузки, сводится к задаче об изгибе мембраны, т.е. уравнение четвертого порядка сводится к уравнению второго порядка. Авторами рассмотрены случаи шести типов граничных условий: 1) все края оперты; 2) все края заделаны; 3) три края оперты, один заделан; 4) два противоположных края оперты, два других заделаны; 5) два смежных края оперты, остальные заделаны; 6) один край оперт, остальные заделаны. Для каждого случая решены числовые примеры, показывающие достоверность предложенной методики.

Статья индийского ученого В.Р. Seth [52] посвящена изгибу пластины, имеющей форму тавра, под действием равномерной нагрузки. Дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\Delta \left[ \Delta w(x, y) - \frac{1}{4} k(x^2 + y^2) \right] = 0, \quad (103)$$

где  $k = \frac{p(x, y)}{D}$ .

Граничные условия свободного опирания:

$$\begin{cases} w(x, y) = 0; \\ \Delta w(x, y) = 0. \end{cases} \quad (104)$$

Вводя новую функцию  $\varphi(x, y)$  следующим образом:

$$\varphi(x, y) = \Delta w(x, y) - \frac{1}{4} k(x^2 + y^2), \quad (105)$$

получаем уравнение Лапласа:

$$\Delta \varphi(x, y) = 0. \quad (106)$$

Исходя из полученного уравнения, автор делает заключение о том, что функция  $\varphi(x, y)$  представляет собой функцию кручения стержня, в сечении имеющего тавр. Подставляя известное решение для функции напряжений в задаче кручения стержня в формулу для  $\varphi(x, y)$ , автор получает двумерное уравнение для нахождения прогибов пластинки.

Рассматривая первую краевую задачу теории упругости, R. Duffin и W. Noll [38] свели уравнения в перемещениях к двум уравнениям Стокса движения вязкой несжимаемой жидкости.

Аналогия Прандтля использована в статьях В. Roller [50] и F. Stüssi [53]. В первой изучаются деформации срединной поверхности плиты прямоугольной формы в случае свободного опирания. Дифференциальное уравнение четвертого порядка сводится к двум уравнениям второго порядка, каждое из которых преобразуется к уравнению Пуассона, характеризующему форму пленки, нагруженной поперечной силой и натянутой по периметру. Дальнейшее решение проводится с помощью метода конечных разностей. Во второй статье рассмотрена мембранная аналогия кручения стержней по теории Сен-Венана.

Двойная математическая аналогия использована в статье Ю.М. Почтмана и В.Д. Шайкевича [23] для расчета прямоугольных шарнирно-опертых пластин. Уравнения исходной задачи аналогичны уравнениям для определения углов поворота плоской рамы в виде прямоугольной решетки с заземленными стержнями. Далее используется электрическая модель на сопротивлениях.

Аналогия между уравнениями, описывающими различные задачи теории упругости и гидродинамики, рассмотрена в статье Chang I.-Dee и Finn R.[36].

ЛИТЕРАТУРА

1. Асадов Ф. К решению уравнения изгиба прямоугольных пластин переменной толщины / Ф. Асадов // Доклады АН Тадж. ССР. 1968. Т. 11. № 1. С. 16-19.
2. Асадов Ф. К расчету изгиба прямоугольных плит постоянной и переменной толщины / Ф. Асадов // Доклады АН Тадж. ССР. 1968. Т. 11. № 8. С. 6-9.
3. Буйвол В.Л. Полога сферична оболонка, ослаблена симетрично розташованими отворами / В.Л. Буйвол // Прикладная механика (Киев). 1963. Т. IX. Вып. 1. С. 52-58.
4. Воронко В.П. Об одном итерационном процессе решения бигармонического уравнения / В.П. Воронко // Численные методы решения задач теории упругости: материалы докл. VIII Всесоюз. конф. Новосибирск, 1984. С. 163-166.
5. Гейзен Р.Е. Об одном способе понижения порядка дифференциальных операторов и его применение к исследованию оболочек / Р.Е. Гейзен // Тр. Днепропетр. ин-та инж. ж-д. трансп. Днепропетровск, 1971. С. 165-173.
6. Гринберг Г.А. О решении плоской задачи теории упругости и задачи об изгибе тонкой плиты с закрепленным контуром / Г.А. Гринберг // Доклады АН СССР. 1951. Т. 76. № 5. С. 661-664.
7. Гринберг Г.А. Об одном возможном подходе к решению бигармонического уравнения  $\Delta^2 w = \Phi$  при различных краевых условиях на границе плоской или пространственной области / Г.А. Гринберг // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274. № 6. С. 1341-1344.
8. Гринберг Г.А. Метод решения общей гармонической задачи для прямоугольной области при задании на контуре значений функции и её нормальной производной / Г.А. Гринберг, Н.Н. Лебедев, Д.С. Уфлянд // Прикладная математика и механика. 1953. Т. 17. № 1. С. 73-86.
9. Демьяненко В.И. Об одном алгоритме решения краевых задач изгиба пластин / В.И. Демьяненко // Прикладная механика (Киев). 1973. Т. 9. № 12. С. 96-102.
10. Дородницын А.А. О некоторых подходах к решению стационарных уравнений Навье-Стокса / А.А. Дородницын, Н.А. Меллер // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1968. Т. 8. № 2. С. 393-402.
11. Евдокимов А.Е. К вопросу устойчивости эллиптической пластинки / А.Е. Евдокимов // Известия вузов. Машиностроение. 1961. № 2. С. 59-65.
12. Карасик М.И. Об одном шаговом методе решения нелинейных уравнений теории упругости / М.И. Карасик, В.И. Шалашилин // Прочность конструкций: сб. науч. статей. Уфа. 1976. № 1. С. 87-92.
13. Кобельков Г.М. Об одном подходе к решению бигармонического уравнения / Г.М. Кобельков, Е.В. Чижонков // Численные методы решения задач теории упругости: материалы докл. VIII Всесоюз. конф. Новосибирск, 1984. С. 154-162.
14. Колесников И.Ю. К расчету нагретых трехслойных пластин со смешанными граничными условиями / И.Ю. Колесников // Известия вузов. Авиационная техника. 1981. № 4. С. 86-93.
15. Лабазин В.Г. Об одном общем методе решения бигармонической задачи / В.Г. Лабазин, Г.М. Федорова // Записки Ленингр. горн. ин-та. 1964. Т. 43. № 3. С. 71-79.
16. Лалин В.В. Сведение бигармонического уравнения к системе уравнений второго порядка / В.В. Лалин // Сб. науч. тр. С.-Петербург. гос. техн. ун-та. 1996. № 456. С. 118-125.
17. Миндолин Ю.И. О преобразовании уравнения в частных производных четного порядка к системе уравнений Лапласа и Пуассона / Ю.И. Миндолин, А.И. Уздалев // Известия РАН. Механика твердого тела. 1993. № 2. С. 43-45.
18. Мотовиловец И.А. О численном решении уравнений, описывающих напряженное состояние пологих оболочек / И.А. Мотовиловец, А.М. Новикова // Тепловые напряжения в элементах конструкций. 1970. Вып. 10. С. 215-224.

19. Пальцев Б.В. О разложении задачи Дирихле и смешанной задачи для бигармонического уравнения в ряд по решениям распадающихся задач / Б.В. Пальцев // Журнал вычислительной техники и математической физики. 1960. Т. 6. № 1. С. 43-51.
20. Пальцев Б.В. Об условиях сходимости итерационных методов с полным расщеплением граничных условий для системы Стокса в круге и кольце / Б.В. Пальцев // Журнал вычислительной техники и математической физики. 1994. Т. 34. № 7. С. 1015-1037.
21. Петров Ю.П. Расчет на изгиб упругих прямоугольных пластинок дискретным методом / Ю.П. Петров // Тр. Харьков. авиац. ин-та. 1961. Вып. 18. С. 85-101.
22. Положий Г.Н. О расчетных формулах решения краевых задач для уравнений Гельмгольца и Пуассона методом суммарных представлений / Г.Н. Положий, П.И. Чаленко, А.А. Скоробогатенько // Вычислительная и прикладная математика. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1969. Вып. 5. С. 16-23.
23. Почтман Ю.М. Расчет шарнирно опертых пластин методом электрического моделирования / Ю.М. Почтман, В.Д. Шайкевич // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 2. С. 24-26.
24. Пшеничников Г.И. Метод декомпозиции решения уравнений и краевые задачи / Г.И. Пшеничников // Доклады АН СССР. 1985. Т. 282. № 4. С. 792-794.
25. Пшеничников Г.И. Поперечный изгиб растянутой прямоугольной пластинки с упругим контуром / Г.И. Пшеничников, В.И. Ульянова // Известия РАН. Механика твердого тела. 1995. № 1. С. 153-158.
26. Рафальсон З.Х. Об одном подходе к решению задачи об изгибе пластинки / З.Х. Рафальсон // Доклады АН СССР. 1949. Т. 64. № 8. С. 31-35.
27. Розин Л.А. Метод расчленения в теории оболочек / Л.А. Розин // Прикладная математика и механика. 1961. № 25. С. 921-926.
28. Роотс Л.Н. Нахождение критической нагрузки равномерно сжатых пластинок трапециевидного и треугольного очертания / Л.Н. Роотс // Сб. трудов конф. по теории пластин и оболочек. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1961. С. 306-311.
29. Трошин В.Г. Об одном методе решения задачи изгиба пластинки переменной жесткости / В.Г. Трошин // Проблема машиностроения. Киев. 1980. № 10. С. 40-43.
30. Улитин В.В. Итерационные алгоритмы решения краевых задач механики на ЭВМ / В.В. Улитин. СПб: Изд-во СПб. ун-та, 1991. 232 с.
31. Харченко Ю.А. Решение задач изгиба симметричных по толщине многослойных пластин / Ю.А. Харченко // Расчет пространственных строительных конструкций: сб. науч. статей. Куйбышев, 1974. Вып. 4. С. 211-215.
32. Шаманский В.Е. О численных методах решения статических задач теории упругости / В.Е. Шаманский // Тез. докл. 2-го Всесоюз. съезда по теоретической и прикладной механике. М., 1964. С. 230.
33. Arosio A. Temporally inhomogeneous Timoshenko beam equations / A. Arosio, S. Panizzi, M. Paoli // Mat. Pura ed appl. 1993. Vol. 163. P. 17-41.
34. Bazai D.K. Use of polar finite-difference approximation for solving by harmonic equation for plates / D.K. Bazai, J.H. Kissel // Int. J. Mech. Sci. 1970. Vol. 12. № 1. P. 51-60.
35. Bowie O.L. Application of partitioning to problem-solving in elasticity / O.L. Bowie // Proc. Int. Conf. Fract. Mech. and Technol., Hong Kong, 1977. Vol. 2. Alphen aun den Rijn. 1977. P. 1109-1126.
36. Chang I-Dee. On the solutions of a class of equations occurring in continuum mechanics, with application to the stokes paradox / I-Dee Chang, R. Finn // Arch. Mech. and Analysis. 1961. Vol. 7. № 5. P. 388-400.
37. Conway H.D. Application of the point-matching method to shallow-spherical-shell theory / H.D. Conway, A.W. Leissa // Trans ASME. 1962. Vol. 29. № 4. P. 745-747.
38. Duffin R. On exterior boundary value problems in linear elasticity / R. Duffin, W. Noll // Arch. Ration. Mech. and Analysis, 1958. Vol. 2. № 2. P. 191-196.

39. Norman de Grass. The stresses in foundation rafts / Norman de Grass, S.R. Thomas // Proc. Instn. Civil Engrs. 1960. № 15. P. 35-48.
40. Giangreco E. Sur le calcul des dalles a rigidite variable / E. Giangreco // Non-Homogeneity in Elasticity and Plasticity. London – New York – Paris – Los Angeles: Pergamon Press, 1959. P. 63-76.
41. Farooqui A.S. Traction problems in plane elasticity / A.S. Farooqui // Util. math. № 8. 1975. P. 29-33.
42. Han L.S. The buckling and deflection of isosceles-triangular plates / L.S. Han // Trans ASME. 1960. Vol. 27. № 1. P. 207-208.
43. Ille V. O metodă de calcul pentru placa oblică simplu rezemată pe două laturi puse / V. Ille // Bull. Stiint. Inst. Politehn. Cluj. 1964. № 7. P. 113-126.
44. Kaczkowski Z. Static's of non-homogeneous rectangular plates and disks / Z. Kaczkowski // Non-Homogeneity in Elasticity and Plasticity. London – New York – Paris – Los Angeles: Pergamon Press, 1959. P. 77-82.
45. Nishihara T. Deflection of laterally loaded square plates under various edge conditions / T. Nishihara, K. Tanaka // Mech. Fac. Engng, Kyoto Univ. 1953. Vol. 15. № 4. P. 197-212.
46. Nowacki W. Az ortotrop lemezek elemeltének néhány problémája / W. Nowacki // Magyar tud. Akad. műsz. tud. Oszt. Közl. 1953. Vol. II. № 1-2. P. 123-141.
47. Pracash D. Membrane stresses in elliptical paraboloids by relaxation and electrical analogy methods / D. Pracash // Cement and Concrete. 1963. Vol. 3. № 4. P. 16-25.
48. Reuss E. Some reflections on the relaxation of biharmonic differential equations in polar coordinates / E. Reuss, R. Iring, C. Yang // Period. Polytechn. Engng. 1961. Vol. 5. № 4. P. 335-344.
49. Richards T. Thermal stresses in a thick-walled tube. An experimental study by electrical analogy / T. Richards // Internat. J. Mech. Sci. 1965. Vol. 7. № 2. P. 103-113.
50. Roller B. Ortotrop lemezek alakváltozásainak numerikus számítása / B. Roller // Építőipari és Körlek. Műsz. Egyet, tud. Közl. 1961. Vol. 7. № 3. P. 93-104.
51. Sanders J. Toroidal membrane under internal pressure / J. Sanders, Jr. Lyell, A. Liepins // AIAA Journal. 1963. Vol. 1. № 9. P. 2105-2110.
52. Seth B.R. Bending of T-plate / B.R. Seth // Proc. 1<sup>st</sup> Congr. Theoret. And Appl. Mech. 1955. Kharagpur, Indian Inst. Technol., s.a. P. 87-90.
53. Stüssi F. Zur Prandtl'schen Membranalogie der Torsion / F. Stüssi // Z. angew. Math und Phys. 1958. Vol. 96. № 5-6. P. 661-667.

**Жигалов Максим Викторович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 624.04:539.3

**К.Ф. Шагивалеев**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ТРЕХ ЗАМКНУТЫХ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПО ОДНОЙ ЛИНИИ**

*Рассмотрена тонкостенная пространственная система, состоящая  
из трех связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек. На*

основе предлагаемой методики и имеющихся аналитических решений получены аналитические выражения для определения реактивных давлений, возникающих в местах контакта оболочек.

**K.F. Shagivaleev**

## STRESS - STRAINED ANALYSIS OF THE SPACE SYSTEM COMPOSED OF THREE ALIGNED CLOSED BARREL SHELLS

*A thin-walled space system composed of three closed barrel shells braced with each other was examined here. On the basis of the suggested methods and available analytical solutions the analytical forms for defining the reaction pressure at the points of the barrel shells contact were obtained.*

Тонкостенные пространственные конструкции, состоящие из большого числа связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек находят широкое применение в различных областях современной техники.

С точки зрения строительной механики такие системы являются сооружениями весьма сложными. Сложными как по конструктивному решению, так и по характеру действующих на них нагрузок и других воздействий. В состав внешней нагрузки каждой оболочки должны быть включены также реактивные давления, возникающие в местах их соединения с соседними оболочками. Определение величины и характера распределения этих давлений по соответствующим областям контакта смежных элементов представляет сложную задачу. Необходимо знать характер изменения реактивных давлений как по длине каждой линии (полосы) контакта, так и при переходе от одной линии (полосы) к другой, от одной оболочки к другой. Решению указанной проблемы и посвящена настоящая работа.

В статье рассмотрена тонкостенная пространственная конструкция, состоящая из трех связанных между собой одинаковых по своим геометрическим размерам замкнутых цилиндрических оболочек. Предполагается, что оболочки расположены в ряд и скреплены между собой по образующим на их срединной поверхности. Одна из оболочек находится под действием радиальной нагрузки  $q(\alpha, \beta)$ . Для каждой оболочки принята своя система координат (рис. 1).

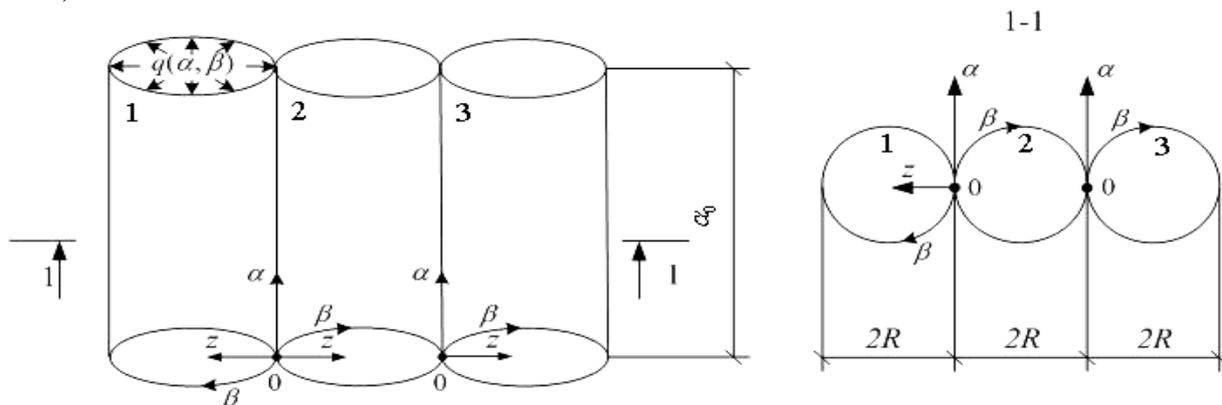


Рис. 1

Исходную систему представим в виде трех отдельных замкнутых цилиндрических оболочек (рис. 2, 3, 4).

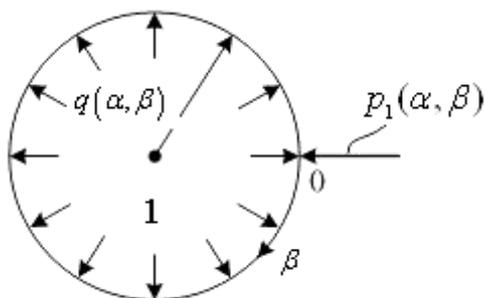


Рис. 2

На первую оболочку действуют радиальная нагрузка  $q(\alpha, \beta)$  и реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$ , возникающее в месте контакта оболочек (рис. 2).

Реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$  является неизвестной величиной. В рассматриваемом случае реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$  представляет собой нагрузку, сосредоточенную в кольцевом направлении и неравномерно распределенную вдоль образующей.

Представим  $p_1(\alpha, \beta)$  в виде произведения двух функций, каждая из которых зависит от одной переменной:

$$p_1(\alpha, \beta) = p_1(\alpha) \cdot Y_1(\beta). \quad (1)$$

Разложим нагрузку (1), сосредоточенную в кольцевом направлении, в тригонометрический ряд по переменной  $\beta$ :

$$p_1(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi R} p_1(\alpha) \times \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\beta \right]. \quad (2)$$

Зададимся  $p_1(\alpha)$  в виде:

$$p_1(\alpha) = a_0 + \sum_{i=1}^m \left( \frac{2}{\alpha_0} \right)^i a_i \left( \alpha - \frac{1}{2} \alpha_0 \right)^i, \quad (3)$$

где  $a_0, a_i$  – неизвестные параметры, которые зависят от геометрических размеров оболочек, модуля упругости, характера нагрузки и от ее расположения;  $\alpha_0 = \frac{L}{R}$ ;  $R$  – радиус срединной поверхности оболочки;  $L$  – длина оболочки.

На вторую оболочку действуют реактивные давления  $p_1(\alpha, \beta)$  и  $p_2(\alpha, \beta)$ , возникающие в местах контакта оболочек (рис. 3).

Реактивное давление  $p_2(\alpha, \beta)$  также является неизвестной величиной и представляет собой нагрузку, сосредоточенную в кольцевом направлении и неравномерно распределенную вдоль образующей.

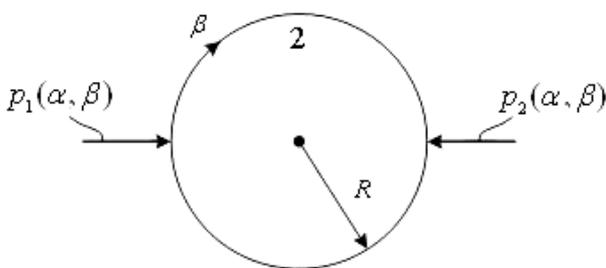


Рис. 3

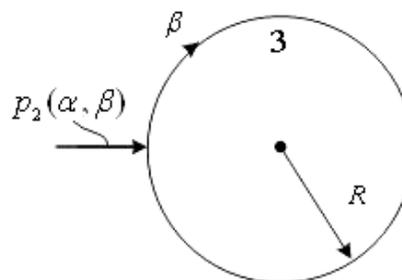


Рис. 4

Представим  $p_2(\alpha, \beta)$  в виде произведения двух функций:

$$p_2(\alpha, \beta) = p_2(\alpha) \cdot Y_2(\beta). \quad (4)$$

Разложим нагрузку, действующую на вторую оболочку (рис.3), в тригонометрический ряд по переменной  $\beta$ . Будем иметь:

$$\frac{1}{2\pi R} [p_1(\alpha) + p_2(\alpha)] + \frac{1}{\pi R} \left[ p_1(\alpha) \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\beta + p_2(\alpha) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos n\beta \right]. \quad (5)$$

$p_2(\alpha, \beta)$  зададимся в виде:

$$p_2(\alpha) = b_0 + \sum_{i=1}^m \left( \frac{2}{\alpha_0} \right)^i b_i \left( \alpha - \frac{1}{2} \alpha_0 \right)^i, \quad (6)$$

где  $b_0, b_i$  – неизвестные параметры, которые зависят от геометрических размеров оболочек, модуля упругости, характера нагрузки и от ее расположения.

На третью оболочку действует только реактивное давление  $p_2(\alpha, \beta)$  (рис. 4).

Разложим  $p_2(\alpha, \beta)$  в тригонометрический ряд по переменной  $\beta$ :

$$p_2(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi R} p_2(\alpha) \times \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\beta \right]. \quad (7)$$

Неизвестные параметры  $a_0, a_i, b_0, b_i$ , входящие в выражения (3) и (6), находим из условий сопряжения оболочек. По линиям контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны.

Таким образом, расчет исходной пространственной системы сводится к расчету отдельных замкнутых цилиндрических оболочек под действием различных нагрузок.

Большое количество аналитических решений для замкнутой цилиндрической оболочки при разных вариантах граничных условий при действии осесимметричных нагрузок приведено в работах [1, 2], при действии нагрузок, неравномерно распределенных по поверхности оболочки в работах [1, 3].

При решении контактных задач в соответствии с предлагаемой методикой появляется необходимость в получении новых аналитических решений.

В настоящей работе в основу расчета оболочек при действии нагрузок, неравномерно распределенных по поверхности оболочки, положено основное разрешающее уравнение приближенной теории оболочек в форме Гольденвейзера [4]:

$$\frac{\partial^8 \Phi}{\partial \beta^8} + 2 \frac{\partial^6 \Phi}{\partial \beta^6} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \beta^4} + \frac{1-\nu^2}{c^2} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^4} = \frac{R^4}{D} p(\alpha, \beta), \quad (8)$$

где  $\Phi$  – основная разрешающая функция;  $\alpha = \frac{x}{R}$ ;  $\beta = \frac{y}{R}$  – безразмерные координаты;  $x$  – расстояние вдоль образующей от начального поперечного сечения до какой-либо произвольной точки на срединной поверхности оболочки;  $y$  – расстояние по дуге окружности срединной поверхности оболочки от некоторой начальной точки до какой-либо произвольной точки на той же поверхности;

$$c^2 = \frac{h^2}{12R^2}; \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)};$$

$h$  – толщина стенки оболочки;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль упругости материала оболочки.

При решении дифференциального уравнения (8) (для определения основной разрешающей функции  $\Phi(\alpha, \beta)$ ) при действии различных нагрузок применено операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа.

Указанная методика расчета оболочек подробно изложена в [1, 3], поэтому все промежуточные операции не приводятся.

Ниже приведены некоторые новые решения для оболочки, имеющей шарнирные закрепления по концам, при  $n \geq 2$ , которые необходимы для решения контактных задач.

Для нагрузки  $p(\alpha, \beta) = p_0 \frac{16}{\alpha_0^4} \left( \alpha - \frac{\alpha_0}{2} \right)^4 \cos n\beta$ :

$$\Phi(\alpha, \beta) = \frac{p_0 R^2}{Eh} \cdot \frac{1}{4\chi^4} \left[ \frac{16}{\alpha_0^4} \left( \alpha - \frac{\alpha_0}{2} \right)^4 - \frac{96}{\chi^4 \alpha_0^4} + \frac{96}{\chi^4 \alpha_0^4} X_1 - X_1 - \frac{24}{\chi^2 \alpha_0^2} X_4 + d_1 X_2 + d_2 X_3 \right] \cos n\beta, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} X_1 &= \cos \chi \alpha \cdot \operatorname{ch} \chi \alpha; & X_2 &= \sin \chi \alpha \cdot \operatorname{ch} \chi \alpha; \\ X_3 &= \cos \chi \alpha \cdot \operatorname{sh} \chi \alpha; & X_4 &= \sin \chi \alpha \cdot \operatorname{sh} \chi \alpha; \end{aligned}$$

$$d_1 = \left( \frac{96}{\chi^4 \alpha_0^4} \sin \chi \alpha_0 + \frac{24}{\chi^2 \alpha_0^2} \operatorname{sh} \chi \alpha_0 - \sin \chi \alpha_0 \right) \cdot (\cos \chi \alpha_0 + \operatorname{ch} \chi \alpha_0)^{-1};$$

$$d_2 = \left( -\frac{96}{\chi^4 \alpha_0^4} \operatorname{sh} \chi \alpha_0 + \frac{24}{\chi^2 \alpha_0^2} \sin \chi \alpha_0 + \operatorname{sh} \chi \alpha_0 \right) \cdot (\cos \chi \alpha_0 + \operatorname{ch} \chi \alpha_0)^{-1};$$

$$4\chi^4 = \frac{n^4 (n^2 - 1)^2}{4\omega^4}; \quad 4\omega^4 = \frac{1 - \nu^2}{c^2}.$$

Для нагрузки  $p(\alpha, \beta) = p_0 \frac{32}{\alpha_0^5} \left( \alpha - \frac{\alpha_0}{2} \right)^5 \cos n\beta$ :

$$\begin{aligned} \Phi(\alpha, \beta) &= \frac{p_0 R^2}{Eh} \cdot \frac{1}{4\chi^4} \cdot \\ &\cdot \left[ \frac{32}{\alpha_0^5} \left( \alpha - \frac{\alpha_0}{2} \right)^5 - \frac{960}{\chi^4 \alpha_0^5} + \frac{480}{\chi^4 \alpha_0^4} (1 - X_1) + \frac{40}{\chi^2 \alpha_0^2} X_4 + X_1 + d_3 X_2 + d_4 X_3 \right] \cos n\beta, \end{aligned} \quad (10)$$

$$d_3 = \left( -\frac{480}{\chi^4 \alpha_0^4} \sin \chi \alpha_0 + \frac{40}{\chi^2 \alpha_0^2} \operatorname{sh} \chi \alpha_0 + \sin \chi \alpha_0 \right) \cdot (\cos \chi \alpha_0 - \operatorname{ch} \chi \alpha_0)^{-1};$$

$$d_4 = \left( -\frac{480}{\chi^4 \alpha_0^4} \operatorname{sh} \chi \alpha_0 - \frac{40}{\chi^2 \alpha_0^2} \sin \chi \alpha_0 + \operatorname{sh} \chi \alpha_0 \right) \cdot (\cos \chi \alpha_0 - \operatorname{ch} \chi \alpha_0)^{-1}.$$

Имея  $\Phi(\alpha, \beta)$ , можно по соответствующим формулам [4] определить перемещения, усилия и моменты.

В качестве примера рассмотрим пространственную систему из трех цилиндрических оболочек, имеющих следующие параметры: радиус срединной поверхности оболочек  $R=3$  м; толщина стенки оболочек  $h=0,16$  м; длина оболочек  $L=30$  м; коэффициент Пуассона  $\nu=0,2$ . Первая оболочка нагружена внутренним давлением  $q_0$ . Оболочки имеют на поперечных краях  $\alpha=0$  и  $\alpha=\alpha_0$  шарнирные закрепления:  $w=\nu=N_1=M_1=0$ .

Радиальные перемещения  $w(\alpha)$  в оболочке, нагруженной внутренним давлением  $q_0$ , по линии контакта со второй оболочкой определяем по формуле, приведенной в работе [1]. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

$\alpha$	0	$\frac{1}{8}\alpha_0$	$\frac{1}{4}\alpha_0$	$\frac{3}{8}\alpha_0$	$\frac{1}{2}\alpha_0$	$\frac{5}{8}\alpha_0$	$\frac{3}{4}\alpha_0$	$\frac{7}{8}\alpha_0$	$\alpha_0$
$-w \cdot \frac{E}{q_0 R}$	0	18,7383	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,7383	0

При расчете оболочек (при определении радиальных перемещений) на каждую составляющую реактивного давления  $p_1(\alpha, \beta)$  (2) удерживалось 20 членов тригонометрического ряда ( $n=20$ ).

Результаты расчетов для первой оболочки при  $\beta=0$  на реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$ , действующее по линии контакта оболочек, приведены в табл. 2.

Во второй и третьей строках табл. 2 приведены численные значения коэффициентов при неизвестных  $a_0, a_i$  из условия, что реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$  в точках  $\alpha=0, \alpha=\alpha_0$  равно 0. В последующих строках приведены численные значения коэффициентов при неизвестных  $a_0, a_i$  в выражениях для определения радиальных перемещений  $w(\alpha, \beta)$  в соответствующих точках.

Таблица 2

$\alpha$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
0	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,25	1874,96	-608,72	551,56	-296,35	277,42	-172,14	165,36	-109,46	108,27
2,5	3081,83	-651,52	662,67	-238,50	275,41	-116,16	147,36	-67,31	91,13
3,75	3779,50	-395,86	644,62	-117,32	253,57	-54,49	134,56	-31,42	83,53
5	4008,53	0,00	625,49	0,00	246,72	0,00	131,46	0,00	81,58
6,25	3779,50	395,86	644,62	117,32	253,57	54,49	134,56	31,42	83,53
7,5	3081,83	651,52	662,67	238,50	275,41	116,16	147,36	67,31	91,13
8,75	1874,96	608,72	551,56	296,35	277,42	172,14	165,36	109,46	108,27

Результаты расчетов для второй оболочки на реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$  при  $\beta=0$  совпадают с результатами, приведенными в табл. 2.

Результаты расчетов для второй оболочки при  $\beta=0$  на реактивное давление  $p_2(\alpha, \beta)$ , действующее по линии контакта второй и третьей оболочек, приведены в табл. 3.

Таблица 3

$\alpha$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$
0	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,25	566,502	-84,494	93,432	-29,730	36,383	-14,389	19,094	-8,361	11,696
2,5	1066,682	-128,620	190,803	-49,582	77,033	-25,534	41,236	-15,387	25,597
3,75	1422,723	-101,503	275,910	-44,201	116,092	-24,550	63,504	-15,524	40,230
5	1550,547	0	308,173	0	130,391	0	71,549	0	45,062
6,25	1422,723	101,503	275,910	44,201	116,092	24,550	63,504	15,524	40,230
7,5	1066,682	128,620	190,803	49,582	77,033	25,534	41,236	15,387	25,597
8,75	566,502	84,494	93,432	29,730	36,383	14,389	19,094	8,361	11,696

Во второй и третьей строках табл. 3 приведены численные значения коэффициентов при неизвестных  $b_0, b_i$  из условия, что реактивное давление  $p_2(\alpha, \beta)$  в точках  $\alpha=0, \alpha=\alpha_0$  равно 0. В последующих строках приведены численные значения коэффициентов при неизвестных  $b_0, b_i$  в выражениях для определения радиальных перемещений  $w(\alpha, \beta)$  в соответствующих точках.

Результаты расчетов для второй оболочки на реактивное давление  $p_1(\alpha, \beta)$  при  $\beta=\pi$  совпадают с результатами, приведенными в табл. 3, только вместо неизвестных  $b_0, b_i$  надо поставить  $a_0, a_i$ .

Результаты расчетов для второй оболочки на реактивное давление  $p_2(\alpha, \beta)$  при  $\beta=\pi$  совпадают с результатами, приведенными в табл. 2, только вместо неизвестных  $a_0, a_i$  надо поставить  $b_0, b_i$ .

Результаты расчетов для третьей оболочки при  $\beta=0$  на реактивное давление  $p_2(\alpha,\beta)$ , действующее по линии контакта второй и третьей оболочек, совпадают с результатами, приведенными в табл. 2. Только вместо неизвестных  $a_0, a_i$  надо поставить  $b_0, b_i$ .

Из условий равенства радиальных перемещений  $w(\alpha,\beta)$  в оболочках по линиям их контакта (в семи точках) и условия, что реактивные давления  $p(\alpha,\beta)$  при  $\alpha=0, \alpha=\alpha_0$  равны 0, составляем систему из 18 алгебраических уравнений, из которой находим неизвестные  $a_0, a_i, b_0, b_i$ :

$$\begin{aligned} a_0 &= 3,38 \cdot 10^{-4} q_0 R; & a_2 &= 324,29 \cdot 10^{-4} q_0 R; & a_4 &= -2557,9 \cdot 10^{-4} q_0 R; \\ a_6 &= 6624,82 \cdot 10^{-4} q_0 R; & a_8 &= -4394,6 \cdot 10^{-4} q_0 R; & & & \\ b_0 &= -11,9 \cdot 10^{-4} q_0 R; & b_2 &= 149,67 \cdot 10^{-4} q_0 R; & b_4 &= -725,7 \cdot 10^{-4} q_0 R; \\ b_6 &= 1232,16 \cdot 10^{-4} q_0 R; & b_8 &= -644,2 \cdot 10^{-4} q_0 R. & & & \end{aligned}$$

В силу симметрии нагрузки относительно середины длины оболочки  $a_1=a_3=a_5=a_7=b_1=b_3=b_5=b_7=0$ .

Выражение для определения реактивного давления  $p_1(\alpha)$  вдоль линии контакта первой и второй оболочек имеет вид:

$$p_1(\alpha) = q_0 R \cdot 10^{-4} \cdot [3,38 + 12,97(\alpha - 5)^2 - 4,1(\alpha - 5)^4 + 0,424(\alpha - 5)^6 - 0,01125(\alpha - 5)^8]. \quad (11)$$

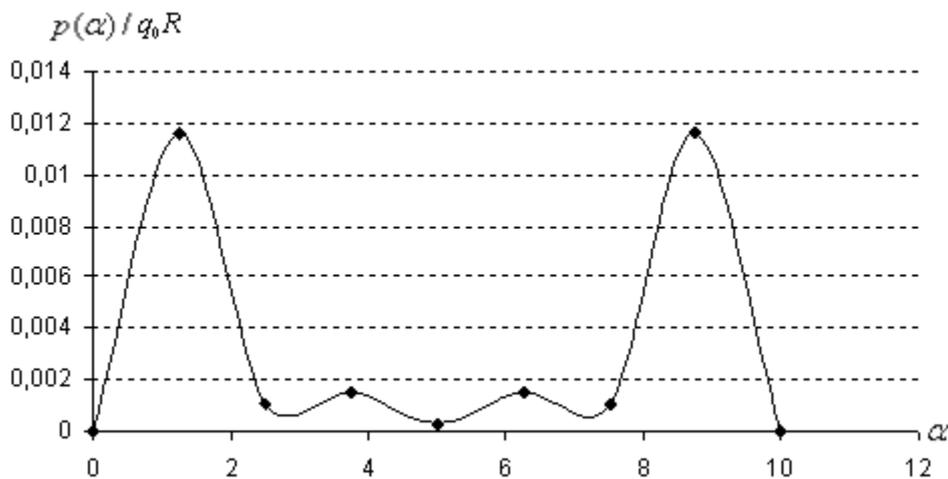


Рис. 5

В табл. 4 приведены значения реактивного давления в некоторых точках вдоль линии контакта первой и второй оболочек, а на рис.5 приведен график распределения реактивного давления вдоль линии контакта оболочек.

Таблица 4

$\alpha$	0	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10
$p_1/q_0$	0	0,01156	0,00109	0,00152	0,000338	0,00152	0,001	0,0116	0

Выражение для определения реактивного давления  $p_2(\alpha)$  вдоль линии контакта второй и третьей оболочек имеет вид:

$$p_2(\alpha) = q_0 R \cdot 10^{-4} \cdot [-11,926 + 5,987(\alpha - 5)^2 - 1,1611(\alpha - 5)^4 + 0,07886(\alpha - 5)^6 - 0,0016492(\alpha - 5)^8]. \quad (12)$$

В табл. 5 приведены значения реактивного давления в некоторых точках вдоль линии контакта второй и третьей оболочек, а на рис.6 приведен график распределения реактивного

давления вдоль линии контакта оболочек. Значения для  $p_2(\alpha, \beta)$ , приведенные в табл. 5, необходимо умножить на  $10^{-4}$ .

Таблица 5

$\alpha$	0	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10
$p_2/q_0R$	0	-2,54	-3,13	-5,11	-11,93	-5,11	-3,13	-2,54	0

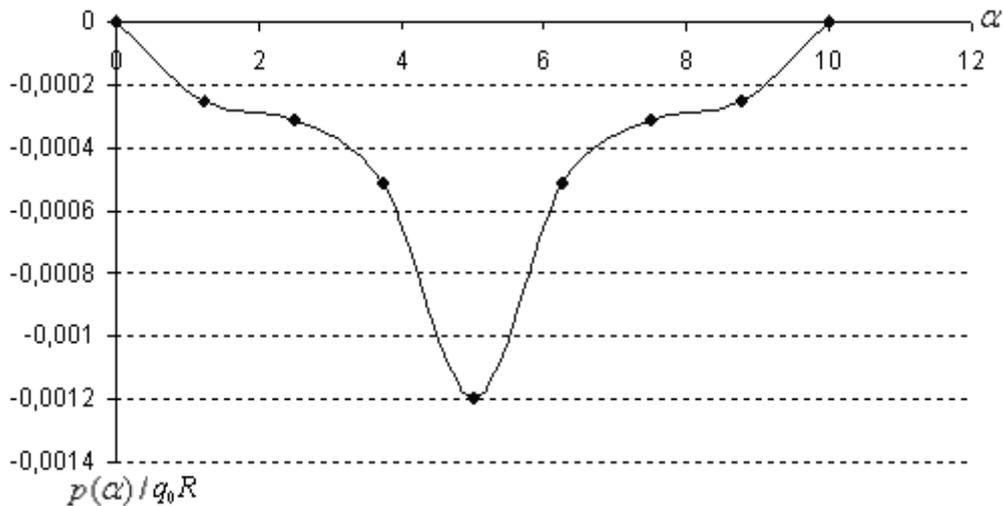


Рис. 6

Имея  $p_1(\alpha, \beta)$  и  $p_2(\alpha, \beta)$ , можно определить напряженно-деформированное состояние каждой оболочки.

На рис.7 и 8 показано распределение радиальных перемещений  $w(\alpha, \beta)$  в первой оболочке в двух разных по высоте поперечных сечениях: кривая 1 – при действии на оболочку только внутреннего давления  $q_0$ ; кривая 2 – при действии на оболочку внутреннего давления  $q_0$  и реактивного давления  $p_1(\alpha, \beta)$ .

В табл. 6 приведены значения реактивного давления вдоль линии контакта оболочек для пространственной системы, состоящей из двух замкнутых цилиндрических оболочек [5], имеющих те же геометрические параметры, что и рассматриваемая пространственная система из трех оболочек.

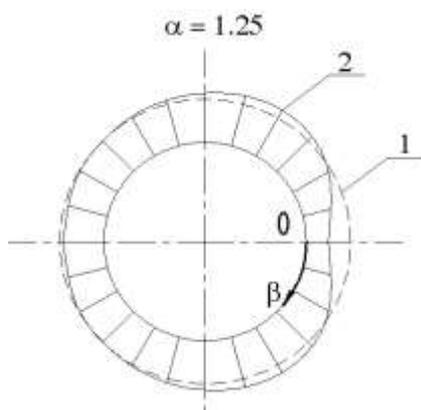


Рис. 7

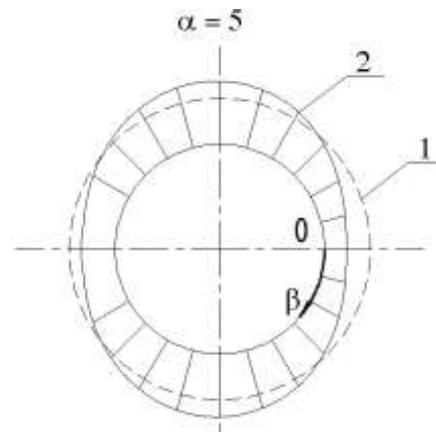


Рис. 8

Из сравнения результатов расчета (см. табл. 4 и 6) двух разных пространственных систем, состоящих из двух и трех оболочек, при одинаковых геометрических параметрах и при одинаковой внешней нагрузке видно, что влияние третьей оболочки на реактивное давление между первой и второй оболочками незначительно.

Таблица 6

$\alpha$	0	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10
$p_1/q_0$	0	0,01156	0,00101	0,00136	0,000286	0,00136	0,001	0,0116	0

Используя предлагаемый подход, можно рассчитать рассматриваемую пространственную систему, состоящую из замкнутых цилиндрических оболочек, имеющих как одинаковые, так и разные геометрические параметры оболочек  $R$  и  $h$ , и модули упругости  $E$ , практически на любую радиальную нагрузку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шагивалеев К.Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К.Ф. Шагивалеев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1991. 206 с.
2. Шагивалеев К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на различные осесимметричные нагрузки / К.Ф. Шагивалеев, Е.К. Сурнина; Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2005. 25 с. Деп. в ВИНТИ 14.09.05, № 1224.
3. Шагивалеев К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки по приближенной теории / К.Ф. Шагивалеев. Саратов: СГТУ, 2001. 164 с.
4. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек / А.Л. Гольденвейзер. М.: Наука, 1976. 512 с.
5. Крысько В.А. Расчет пространственной системы, состоящей из двух замкнутых цилиндрических оболочек / В.А. Крысько, К.Ф. Шагивалеев // Труды XXI Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. Саратов: СГТУ, 2005. С. 136-145.

#### **Шагивалеев Камиль Фатыхович –**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 677.4:658

**Г.Я. Шепс**

#### **К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СВЧ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОВОЛОКОН**

*Приводится математический анализ возможности использования объёмных резонаторов, работающих в диапазоне СВЧ, с целью оценки линейной плотности полимерных микроволокон.*

G.Ya. Sheps

## SOME ASPECTS OF USE OF THE SHF (SUPERHIGH FREQUENCY) TECHNOLOGIES FOR MEASURING THE LINEAR DENSITY OF POLIMERYC MICROFIBRES

*This article presents mathematical analysis of using the cavity resonators that operate within a SHF (super high frequencies) range for measuring the linear density of polymeric microfibres.*

При оценке механических параметров полимерных микроволокон необходимо измерить не только разрывное усилие испытываемого образца, но и площадь его поперечного сечения.

Обычно это осуществляется косвенно через оценку линейной плотности путем взвешивания образца эталонной длины на аналитических весах и последующих вычислений, что является сложной и достаточно трудоемкой задачей, учитывая микроскопические размеры объекта исследования.

В связи с этим ранее нами была проведена работа по решению этой задачи с помощью емкостных датчиков, работающих в радиодиапазоне с частотой до 30 МГц, которая в эксперименте дала положительные результаты.

В настоящей статье сделана попытка дать математическую оценку возможности решения поставленной задачи с помощью объемного резонатора, работающего в СВЧ-диапазоне.

### Постановка задачи

Для измерения параметров диэлектрических материалов целесообразно использовать метод смещения резонансной частоты объемного резонатора, простой в реализации и обладающий хорошей точностью.

Более всего для этих целей подходит цилиндрический резонатор, который легко изготовить и структура полей в котором может быть описана аналитическими методами. При этом применяется подход, основанный на рассмотрении полей в цилиндрическом волноводе, а затем он распространяется на резонатор.

Чтобы определить возможные типы электромагнитных волн в цилиндрическом волноводе, необходимо в обобщенной цилиндрической системе координат  $R, Z, \Psi$  (рис. 1) решить уравнение Максвелла:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = i \omega \varepsilon \bar{E} \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \bar{E} = -i \omega \mu \bar{H} \quad (2)$$

$$\operatorname{div} \bar{E} = \operatorname{div} \bar{H} = 0 \quad (3)$$

при граничных условиях  $\bar{E}_t = 0$  на  $S$ . Здесь  $\bar{E}$  и  $\bar{H}$  – компоненты электромагнитного поля в волноводе;  $\omega$  – круговая частота;  $\varepsilon, \mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемость среды,  $\bar{E}_t$  – касательная составляющая вектора  $\bar{E}$  на граничной поверхности волновода.

Преобразуем первое уравнение:  $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \bar{H} = i \omega \varepsilon \operatorname{rot} \bar{E}$ .

Тогда при условии  $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \bar{H} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \bar{H} - \nabla^2 \bar{H}$ , где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа, из уравнения (3) получим, что вектор удовлетворяет уравнению:

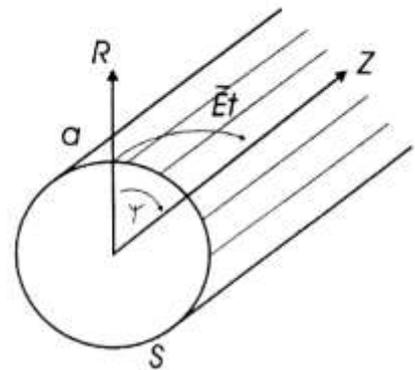


Рис. 1

$$\nabla^2 \bar{H} + K^2 \bar{H} = 0, \quad K^2 = \omega^2 \varepsilon \mu . \quad (4)$$

Аналогично из уравнения (2) получим:

$$\nabla^2 \bar{E} + K^2 \bar{E} = 0 . \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) выведены в предположении идеальной проводимости стенок волновода и однородной среды без сторонних источников. В уравнениях (4) и (5) поэтому  $\bar{E}$  и  $\bar{H}$  можно заменить на продольные составляющие векторов  $E_z$  и  $H_z$ , причем в цилиндрической системе координат Гельмгольца (5) запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} + k^2 E_z = 0 \quad (6)$$

с граничным условием  $E_z=0$  при  $r=a$ .

При решении этого уравнения методом разделения переменных положим:

$$E_z = R(r) \cdot \Psi(\varphi) . \quad (7)$$

После подстановки (7) в уравнение (6) последнее распадается на два уравнения:

$$\frac{d^2 \Psi}{d\varphi^2} + m^2 \Psi = 0 ; \quad (8)$$

$$\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR}{dr} + \left( k^2 - \frac{m^2}{r^2} \right) R = 0 . \quad (9)$$

Общее решение представляется в виде:

$$E_z = E_0 J_m(kr) \cos m\varphi e^{-\gamma z} + E_0 J_m(kr) \sin m\varphi e^{-\gamma z} . \quad (10)$$

Граничное условие  $E_z=0$  будет удовлетворено, если  $k = \frac{\chi_{mn}}{a}$ , где  $\chi_{mn}$  – корни уравнения:

$$J_m(\chi) = 0 (m = 0, 1, 2, \dots, n = 1, 2, \dots) , \quad (11)$$

а

$$\gamma_{mn} = \sqrt{\left( \frac{\chi_{mn}}{a} \right)^2 - k^2} . \quad (12)$$

Волна распространяется вдоль волновода, когда подкоренное выражение в (12) больше нуля. Критическая длина волны вычисляется из условия равенства его нулю:

$$\lambda_{кр} = \frac{2\pi}{\chi_{mn}} \cdot a . \quad (13)$$

Для удобства работы возьмем простейшую волну с минимальной частотой ( $m=0, n=1$ ), для которой значения  $\chi_{01}=2,405$  и  $\lambda_{кр}=2,661 a$ . В этом случае в волноводе реализуется поперечно-магнитная волна ТМ (магнитное поле имеет компоненту  $H_\varphi$ , перпендикулярную оси  $z$  волновода), вид которой представлен на рис. 2.

Компоненты поля  $E_z$  и  $H_\varphi$  запишутся для этой волны в виде:

$$E_z = E_0 J_0 \left( \frac{\chi_{01}}{a} r \right) ; \quad (14)$$

$$H_\varphi = -\frac{i\omega \varepsilon}{k} H_0 J_0' \left( \frac{\chi_{01}}{a} r \right) . \quad (15)$$

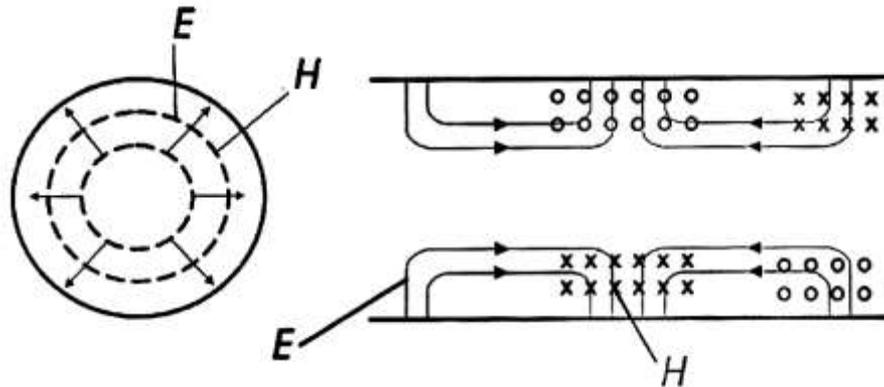


Рис. 2

Рассматривая цилиндрический резонатор как отрезок цилиндрического волновода, замкнутого на концах идеально проводящими плоскостями, можно утверждать, что поле в резонаторе может быть в общем случае либо полем поперечно-электрического типа (предполагается, что ось волновода совпадает с осью  $z$  резонатора) и распределение поля вдоль оси  $z$  резонатора в отличие от поля волновода будет иметь характер стоячих волн.

Электромагнитное поле в резонаторе может быть представлено в виде сумм волн  $TM_{01}$ , распространяющихся вдоль оси  $z$  в противоположных направлениях. Окончательно получим для компонента поля волны  $TM_{010}$  ( $E_{010}$ ) в резонаторе:

$$E_z = E_0 J_0 \left( \frac{\chi_{01}}{a} r \right); \quad (16)$$

$$H_\phi = i \frac{H_0}{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}} J_1 \left( \frac{\chi_{01}}{a} r \right). \quad (17)$$

Структура электромагнитного поля  $E_{010}$  приведена на рис. 3.

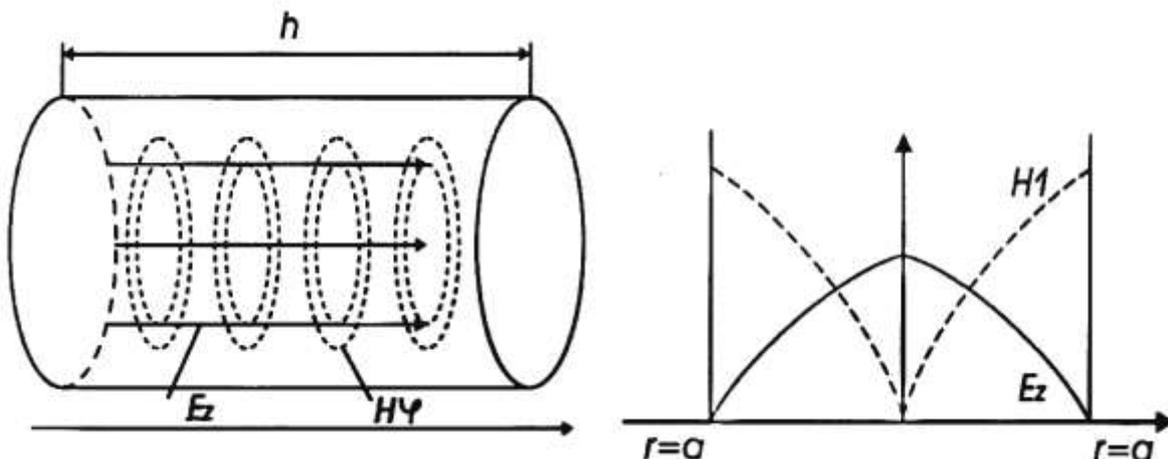


Рис. 3

Поскольку в резонаторах могут существовать различные типы волн, для того, чтобы исключить их возбуждение, например, ближайшего по частоте типа  $TM_{111}$ , высота резонатора  $h$  должна быть меньше  $2,03 a$ .

Структура поля  $E_{010}$  оказывается очень удобной для целей измерения.  $E$  компонента максимальна при  $r=0$  и не изменяется по высоте резонатора. Таким образом, размещая ди-

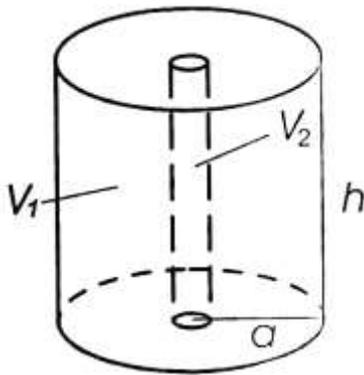


Рис. 4

электрический образец на оси резонатора, мы помещаем его в максимум электрического поля и влияние образца будет максимальным.

Рассмотрим, как влияет введение диэлектрического стержня на частоту собственных колебаний в резонаторе. Пусть резонатор с диаметром основания  $2a$  и высотой  $h$  (объем  $V_1 = \pi a^2 h$ ) заполнен средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$  и имеет частоту собственных колебаний  $\omega_s$  (рис. 4).

Если внутрь полости резонатора ввести малое тело объема  $V_2$ , которое характеризуется параметром  $\epsilon_2$ , то собственная частота возмущенного типа колебаний изменится и станет равной  $\omega_s'$ . Эту частоту можно определить методом малых возмущений:

$$\frac{\omega_s' - \omega_s}{\omega_s} = - \frac{\Delta \omega_\epsilon}{2W(V_2)} \quad (18)$$

Здесь  $W(V_1) = \frac{\epsilon_1}{2} \int_{V_1} E^2 dv$  – полная энергия электромагнитного поля, запасенная в объеме  $V_1$  невозмущенного резонатора;  $\Delta \omega_\epsilon = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2} \int_{V_2} E^2 dv$  – изменение энергии поля в объеме за счет внесения диэлектрика.

Вычислим энергию поля  $W(V_1)$ :

$$W(V_1) = \frac{\epsilon_1}{2} \int_{V_1} E^2 dv = \frac{\epsilon_1}{2} \iint_{z,s} E^2 dz ds \quad (19)$$

Так как  $E_z$  из (16) не зависит от координаты  $z$ , то  $\int_z dz = h$  – высоте резонатора,

$$\int_s ds = \int_s 2\pi r dr = 2\pi \int_0^a r dr \quad (19)$$

Подставим эти выражения в (19):

$$W(V_1) = \pi \epsilon_1 h \int_0^a E^2 r dr = \pi \epsilon_1 h \int_0^a E_0^2 J_0^2 \left( \frac{\chi_{01}}{a} r \right) r dr = \pi \epsilon_1 h E_0^2 J_1^2(\chi_{01}) \cdot \frac{a^2}{2} \quad (20)$$

где  $J_1$  – функция Бесселя первого порядка.

Тогда

$$W(V_1) = \frac{1}{2} \epsilon_1 E_0^2 V_1 J_1^2(\chi_{01}) \quad (21)$$

При вычислении  $\Delta \omega_\epsilon$  будем считать, что диаметр диэлектрического стержня мал по сравнению с диаметром резонатора и изменением поля  $E$  в пределах стержня можно пренебречь. Так как стержень размещается на оси резонатора, то при  $r=0$  и  $J_0(0)=1$  во всем объеме  $V_2$   $E_z=E_0$ . Тогда:

$$\Delta \omega_\epsilon = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2} \int_{V_2} E_0^2 dv = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2} E_0^2 V_2 \quad (22)$$

Подставляя (20) и (21) в (18) и учитывая, что  $\chi_{01}=2,405$  и  $J_1(2,405)=0,51911$ , получим:

$$\frac{\Delta \omega_\epsilon}{\omega} = - \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1) E_0^2 V_2}{2 \epsilon_1 E_0^2 J_1^2(\chi_{01}) V_2} = - \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1} \frac{V_2}{V_1} \frac{1}{2 J_1^2(\chi_{01})}$$

или

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = -1,85546(\varepsilon_2 - 1)\frac{V_2}{V_1} \quad (23)$$

при  $\varepsilon_1=1$ .

В формуле (23) в правой части стоят два параметра вносимого диэлектрика  $\varepsilon_2$  и  $V_2$ , поэтому для использования этой формулы необходимо знать один из них, определенный ранее каким-либо другим способом.

### Выводы

Показана принципиальная возможность использования объемных резонаторов, работающих в диапазоне СВЧ для измерения линейной плотности полимерных микроволокон и дана количественная оценка этой операции.

В дальнейшем необходима экспериментальная проверка полученных результатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Л.Д. Электромагнитные поля и волны / Л.Д. Гольдштейн, Н.В. Зернов. М.: Сов. радио, 1965. 639 с.
2. Фальковский О.И. Техническая электродинамика / О.И. Фальковский. М.: Связь, 1978. 430 с.
3. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн / В.В. Никольский. М.: Наука, 1973. 608 с.
4. Анго А. Математика для электро- и радиотренажеров / А. Анго. М.: Наука, 1965. 778 с.

**Шепс Георгий Яковлевич** –

кандидат технических наук,

докторант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»

Саратовского государственного технического университета

УДК 539.193/.194;535/.33.34

**М.Д. Элькин, А.Б.Осин**

### АНГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АДИАБАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ КОНФОРМЕРОВ ЛЮИЗИТА

*Методом DFT/B3LYP с базисными наборами 6-31G\*\*(\*\*) выполнен анализ адиабатических потенциалов конформеров люизита в ангармоническом приближении.*

**M.D. Elkin, A.B. Osin**

### ANHARMONIC ANALYSIS OF ADIABATIC POTENTIAL FOR CONFORMATIONS OF LEWISITES

*Analysis of adiabatic potential for conformations of lewisites is carried out by the method DFT/B3LYP/6-31G(d) in the anharmonic approximation.*

**Введение.** Одним из наиболее эффективных способов решения задач экологического мониторинга при анализе продуктов синтеза новых химических веществ и молекулярных загрязнений окружающей среды является использование методов оптической физики, в частности – колебательной спектроскопии. Особенно это касается таких органических соединений, как дихлорарсинзамещенные этилена (конформеры люизита), фенола, дифенила, практический интерес к которым в подтверждении не нуждается.

Предварительным этапом решения таких задач является моделирование адиабатического потенциала исследуемых соединений. Существуют два подхода. Первый связан с предположением о близости адиабатических потенциалов родственных по электронной структуре соединений. В этом случае заимствованный модельный потенциал (нулевое приближение) корректируется по набору экспериментальных данных в колебательных спектрах исследуемого соединения (решение обратных спектральных задач) [1]. Недостатки такого подхода общеизвестны. Требуется наличие надежной интерпретации спектров для базового соединения и его изотопозамещенных компонентов. Само же решение задачи практически ограничивается гармоническим приближением теории молекулярных колебаний. Да и предположение о сходимости адиабатических потенциалов весьма обременительно ввиду наличия дополнительных соотношений для естественных координат, используемых при решении прямых и обратных спектральных задач. Поэтому доминирующим в настоящее время является подход, связанный с прямыми расчетами адиабатического потенциала *ab initio* методами квантовой механики молекул – квантовой химии в ангармоническом приближении. Возникающие здесь трудности связаны с выбором метода расчета и сопровождающего метода базиса. Накопленный к настоящему времени обширный вычислительный эксперимент для различного класса соединений позволяет преодолеть указанные трудности.

Напомним, что под адиабатическим потенциалом  $U(q)$  в теории молекул понимается решение квантового уравнения для электронной подсистемы молекулы ( $x$  – координаты электронов,  $q$  – ядер)

$$H_e \psi(x, q) = U \psi(x, q) . \quad (1)$$

Найденный набор решений  $U_n(q)$  используется в качестве потенциальной части квантового уравнения для ядерной подсистемы

$$H_v \varphi(q) = E_v \varphi(q) . \quad (2)$$

Для анализа поверхности адиабатического потенциала и решения ангармонической колебательной задачи во втором порядке теории возмущения уравнение (2) заменяется модельным гамильтонианом, использующим криволинейные колебательные координаты, линейно связанные с естественными колебательными координатами [2]

$$H_v = \frac{1}{2} \left\{ [P_s^2 + (\omega_s q^s)^2] + [P_s G_r^{ss'} q^r P_s + F_{srt} q^s q^r q^t] + [P_s G_{rt}^{ss'} q^r q^t P_s + F_{srtv} q^s q^r q^t q^v] \right\} . \quad (3)$$

Здесь  $q^s$  – криволинейные колебательные координаты;  $P^s$  – соответствующие им операторы импульсов;  $F_{srt}$  – кубические,  $F_{srtv}$  – квартичные силовые постоянные;  $G_r^{ss'}$  и  $G_{rt}^{ss'}$  – коэффициенты кинематической ангармоничности. Если пренебречь этими коэффициентами, то указанный гамильтониан формально переходит в известное выражение [3]. Но в этом случае численные значения силовых постоянных изменятся. Алгоритм перехода к ангармоническим силовым постоянным в различных системах колебательных координат представлен в работах [4, 5]. В его основе лежит математический аппарат тензорной алгебры.

Следует отметить, что сравнение адиабатических потенциалов родственных соединений, выяснение их особенностей следует производить в системе естественных колебательных координат. Последние являются скалярными величинами, имеющими ясный физический смысл. Вместе с тем решение уравнения (1) осуществляется в системе декартовых координат, поэтому следующим шагом в анализе адиабатического потенциала является получение

кубических и квартичных силовых постоянных в системе естественных колебательных координат. Это можно сделать с помощью алгоритма из работы [6].

Решение уравнения (3) можно осуществить как методом контактных преобразований [3], так и методом вторичного квантования [7]. Первый удобнее, если, наряду с механической задачей теории молекулярных колебаний, решать и электрооптическую задачу. В любом случае выражение для колебательных уровней энергии принимает вид:

$$E^{(v)} = \omega_s (v_s + g_s / 2) + \chi_{sr} (v_s + 1/2)(v_r + 1/2)(1 + 1/2\delta_{sr}), \quad (4)$$

где  $\omega_s$  (в  $\text{см}^{-1}$ ) – частоты гармонических колебаний;  $\chi_{sr}$  (в  $\text{см}^{-1}$ ) – поправки ангармонического приближения;  $v_s$  – квантовые числа колебательного состояния. В выражении (2) предполагается суммирование по индексам  $s, r$ .

Явный вид выражений для коэффициентов  $\chi_{sr}$ , являющихся функциями гармонических частот колебаний, ангармонических силовых и кинематических постоянных, приведен в работах [8, 9]. Если в этих выражениях положить коэффициенты  $G_r^{ss'}$  и  $G_{rr}^{ss'}$  равными нулю, то получатся выражения для поправок  $\chi_{sr}$  из работы [3]. При использовании соотношения (2) возникает проблема учета резонансных выражений вида  $1/(\omega_s \pm \omega_r \pm \omega_t)$ , приводящих к так называемым резонансам Ферми. Этот вопрос подробно рассмотрен в работах [7-9].

Соотношение (4) позволяет сравнивать теоретические предсказательные расчеты ангармонических колебательных состояний с экспериментальными данными в спектрах инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния, подтверждая тем самым достоверность моделируемого адиабатического потенциала.

#### **Ангармонический анализ $\beta$ - хлорвинилдихлорарсина (люизита).**

Теоретический анализ колебательных спектров люизита в гармоническом приближении теории молекулярных колебаний в различных средах был предметом работ [10-11], где указывалось на необходимость учета ангармонизма колебаний ввиду сложностей, возникающих при исследовании низкочастотной части спектра. Именно это и учтено в предлагаемом анализе колебательных состояний конформеров люизита.

Для этого мы воспользовались известным программным комплексом «Gaussian» [12], который позволяет вычислять ангармонические силовые постоянные в системе декартовых координат и линейно с ними связанных нормальных координат метрики из монографии [3]. Для получения указанных молекулярных параметров в системе естественных колебательных координат можно воспользоваться соотношениями, предложенными в работе [6].

Результаты решения ангармонической механической задачи для всех конформеров люизита приведены в табл. 1-3. На их основании можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая модель адиабатического потенциала конформеров люизита является достоверной для рассматриваемого класса соединений (в том числе и галоидоэтиленов).

2. Учет влияния ангармонических поправок по схеме (4) приводит к лучшему согласию экспериментальных и вычисленных значений частот фундаментальных колебаний. Исключение составляет характеристическое колебание связи C = C для трансконформера люизита.

3. Для частот валентных колебаний связей C – N учет ангармонизма колебаний делает излишним использование для них масштабирующих множителей. Для этого достаточно модельного адиабатического потенциала.

4. Влияние ангармоничности в соответствующих дизамещенных этилена носит схожий характер, что свидетельствует о незначительном влиянии заместителя на силовое поле этиленового остова. Это подтверждается сравнением гармонических силовых постоянных  $F_{sv}$  исследуемых соединений [10-11].

5. Имеющиеся явные расхождения между опытными и вычисленными частотами можно объяснить заниженным барьером энергетической щели, принятым для оценки резонанса Ферми ( $\sim 10 \text{ см}^{-1}$ ).

Таблица 1

## Ангармонический анализ колебательных спектров люизита и дигалоидозтиленов

№	Тип сим.	Форма колеб.	Транс-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>			Транс-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>			Транс-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> AsCl <sub>3</sub>		
			$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$
1	A"(Au)	$\rho$	227	214	213	188	170	176	128	135	117
2	A'(Bu)	$\beta(\text{CCX})$	250	238	239	-	195	197	242	230	227
3	A'(Ag)	$\beta(\text{CCY})$	349	350	346	216	218	215	295	303	299
4	A'(Bu)	Q(C-X)	817	815	800	680	672	662	680	713	698
5	A"(Bg)	$\rho_2, \rho_1^*$	763	785	775	736	746	735	760	796	774
6	A'(Ag)	Q(C-Y)	844	851	838	746	763	748	805	808	793
7	A"(Au)	$\rho_1, \rho_2, \chi^*$	895	934	914	898	940	916	935	978	948
8	A'(Bu)	$\beta(\text{CCH})$	1200	1232	1212	1166	1188	1165	1140	1165	1147
9	A'(Ag)	$\beta(\text{CCH})$	1270	1310	1286	1249	1286	1259	1285	1334	1308
10	A'(Ag)	Q(C=C)	1576	1665	1615	1581	1646	1620	1610	1628	1657
11	A'(Bu)	q(C-H)	3070	3244	3104	3085	3249	3106	3023	3203	3051
12	A'(Ag)	q(C-H)	3080	3248	3091	3089	3254	3084	3048	3215	3057

№	Тип сим.	Форма колеб.	Транс-люизит			Цис-люизит			1,1-люизит		
			$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$
13	A"	$\chi_{\text{as}}^*$	-	44	38	-	53	51	-	44	42
14	A'	$\beta(\text{CAsCl})$	100	105	102	128	146	143	-	122	119
15	A'	$\gamma(\text{ClAsCl})$	160	158	156	160	155	153	-	164	162
16	A"	$\beta(\text{CAsCl})$	266	269	261	-	197	195	-	273	271
17	A"	Q(As-Cl)	368	377	375	368	367	362	368	381	377
18	A'	Q(As-Cl)	390	394	391	390	390	387	390	400	398

Окончание табл. 1

№	Тип сим.	Форма колеб.	Цис-С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> Сl <sub>2</sub>			Цис-С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>			Цис-С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> AsCl <sub>3</sub>		
			$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{расч}}(h)$	$\nu_{\text{расч}}(anh)$
1	A'(A1)	$\beta(\text{CCY})$	173	167	166	114	113	112	100	103	95
2	A"(A2)	$\rho_2, \chi$	406	420	414	369	383	376	390	394	387
3	A'(A1)	$Q(\text{C-X})$	711	709	697	580	580	565	–	483	472
4	A'(B2)	$\beta(\text{CCX})$	564	574	567	464	471	462	–	591	580
5	A"(B1)	$\rho_2, \rho_1$	697	715	707	671	695	685	680	697	679
6	A'(B2)	$Q(\text{C-Y})$	848	855	839	747	756	738	790	804	788
7	A"(A2)	$\rho_1, \rho_2, \chi$	876	899	878	866	899	873	910	954	926
8	A'(A1)	$\beta(\text{CCH})$	1179	1227	1205	1147	1180	1159	1160	1206	1180
9	A'(B2)	$\beta(\text{CCH})$	1294	1327	1299	1248	1284	1255	1303	1351	1311
10	A'(A1)	$Q(\text{C=C})$	1590	1671	1612	1568	1649	1621	1610	1632	1624
11	A'(B2)	$q(\text{C-H})$	3072	3222	3085	3059	3220	3082	3023	3149	3002
12	A'(A1)	$q(\text{C-H})$	3077	3242	3090	3085	3242	3085	3048	3211	3050
			1,1-С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> Сl <sub>2</sub>			1,1-С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>			1,1-С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> AsCl <sub>3</sub>		
1	A'(A1)	$\beta(\text{CCY})$	299	300	299	184	185	182	–	144	113
2	A'(B2)	$\beta(\text{CCX})$	375	389	377	322	323	321	292	292	290
3	A"(B1)	$\rho(\text{ClCX})$	458	470	467	405	414	408	–	444	437
4	A'(A1)	$Q(\text{C-X})$	601	598	591	467	463	454	–	485	481
5	A"(A2)	$\chi$	686	696	684	668	677	653	–	707	690
6	A'(B2)	$Q(\text{C-Y})$	788	772	757	696	687	677	–	768	748
7	A"(B1)	$\rho(\text{HCH})$	874	891	878	886	914	893	936	955	931
8	A'(B2)	$\beta(\text{CCH})$	1088	1104	1076	1080	1088	1047	–	1128	1095
9	A'(A1)	$\beta(\text{CCH})$	1391	1422	1407	1379	1426	1402	–	1437	1433
10	A'(A1)	$Q(\text{C=C})$	1616	1685	1650	1593	1674	1636	1610	1658	1627
11	A'(A1)	$q(\text{C-H})$	3035	3197	3059	3023	3188	3041	3023	3164	3026
12	A'(B2)	$q(\text{C-H})$	3130	3290	3140	3108	3277	3120	3048	3251	3100

Ангармонические постоянные  $\chi_{sr}$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) молекулы люизита

$\nu_{расч.}$		$i; j$	$\chi_{ij}$	$i; j$	$\chi_{ij}$	$\nu_{расч.}$		$i; j$	$\chi_{ij}$	$i; j$	$\chi_{ij}$
3215	Транс-люизит	1;1	-63	3;14	-3	3205	Цис-люизит	1;1	-62	3;5	-10
3203		1;2	-5	4;4	-6	3149		1;2	-19	3;6	53
1628		1;3	-20	4;6	-3	1630		1;3	-15	3;13	-8
1334		1;4	-4	5;5	-3	1340		1;4	-5	3;14	-12
1165		1;5	-13	5;14	3	1200		1;5	-4	4;4	-6
808		1;13	-9	6;6	-33	802		1;13	-13	4;5	-9
713		1;14	-8	6;7	-3	589		1;14	-5	4;6	-4
394		2;2	-65	7;7	-4	484		2;2	-61	4;7	-3
303		2;3	-12	13;13	-4	390		2;3	6	5;6	-3
230		2;4	-8	13;14	-9	197		2;5	-8	5;13	-2
158		2;13	-11	13;17	-4	155		2;6	-3	5;14	4
105		2;14	-7	14;17	-3	103		2;13	-8	6;6	-16
978		3;4	-13	17;17	-4	954		2;14	-12	6;8	-4
796		3;5	-9	17;18	-5	697		3;3	-3	13;13	-3
377		3;13	-5			395		3;4	-16	13;14	-5
269						367					
135					146						
44					53						

3205	1,1-люизит	1;1	-35	4;4	-3
3149		1;2	-112	4;6	-4
1630		1;4	-16	4;9	5
1340		1;5	-5	4;14	51
1200		1;13	-16	4;15	6
802		1;14	-4	5;6	-4
589		2;2	-30	5;9	-6
484		2;3	-7	5;14	-5
390		2;5	-6	5;15	-6
197		2;13	-9	6;6	-4
155		2;14	-5	6;7	-6
103		3;3	-3	6;9	-7
954		3;4	-20	7;9	5
697		3;5	-12	13;14	-6
395		3;6	7	13;15	-6
367		3;10	-2	14;14	-15
146	3;14	-7	14;15	3	
53					

Учесть количественно влияние резонанса Ферми для двух колебательных состояний  $E_i(\nu_i)$  и  $E_{jk}(\nu_j + \nu_k)$  [13], используя в качестве возмущения кубические силовые постоянные, можно с помощью соотношения:

$$E = \{(\nu_i + \nu_j + \nu_k) \pm (K_{ijk}^2 (1 + \delta_{jk}) / 2 + ((\nu_i - \nu_j - \nu_k)^2)^{1/2}) / 2\} . \quad (5)$$

Набор числа состояний, задающий размер векового определителя, определяется выбором величины энергетической щели между резонирующими колебательными состояниями. Для рассматриваемых молекул был проведен анализ влияния резонанса Ферми для двух значений энергетической щели 10 и 12  $\text{cm}^{-1}$ . В табл. 2 приведены результаты для первого значения, в табл. 3 –

для второго значения щели. В последнем случае удастся устранить явное расхождение между экспериментом и расчетом для характеристического колебания связи C = C в трансконформере люизита. Для остальных колебаний влияние резонанса Ферми несущественно.

Таблица 3

Резонанс Ферми в колебательных спектрах люизита и дигалоидоэтиленов  
(Пороговое значение энергетической щели – 12 см<sup>-1</sup>)

Номера колебаний ( <i>i</i> ; <i>j</i> ; <i>k</i> )	Δ (щель) в см <sup>-1</sup>	Значение $K_{ijk}$ (см <sup>-1</sup> )	Значение E1 (см <sup>-1</sup> )	Значение E2 (см <sup>-1</sup> )
Транс-форма люизита				
9;4;3	9,1	-0,47	1637,2	1628,1
15;14;5	7,5	4,54	1173,2	1165,0
16;13;7	4,1	4,36	982,6	977,4
18;16;10	5,6	10,02	276,6	267,5
6;6;3	11,3	103,322	1685,9	1558,9
11;5;4	11,1	3,76	1334,6	1323,2
17;16;8	10,3	3,25	403,9	393,4
18;16;9	10,9	6,60	314,2	302,3
Цис-форма люизита				
9;6;5	8,15	2,87	1199,8	1191,3
10;9;7	3,1	-3,43	589,9	585,8
12;8;7	2,4	-10,87	592,3	584,2
15;13;4	9,0	0,89	1349,2	1340,2
17;13;6	5,7	2,73	954,1	948,0
18;18;12	3,0	-27,68	121,8	87,7
15;15;6	11,2	9,19	804,2	788,3
Цис-форма люизита				
12;10;8	5,7	-4,40	400,8	394,2
14;13;3	4,3	15,07	1663,4	1651,9
17;16;7	9,3	-5,07	495,5	485,5
9;7;6	11,7	23,43	783,6	763,3
C2H2Cl2-транс				
5;3;2	5,3	-8,95	1666,7	1658,4
C2H2Cl2-1,1				
5;5;4	3,3	-6,09	603,3	595,2
C2H2Br2-1,1				
12;10;3	6,8	25,82	1418,6	1399,2

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1970. 550 с.
2. Элькин М.Д. Кинематическая ангармоничность в электронографических исследованиях геометрии молекул / М.Д. Элькин // Журнал структурной химии. 1986. Т. 27. Вып. 5. С. 42-48.
3. Браун П.А. Введение в теорию молекулярных спектров / П.А. Браун, А.А. Киселев. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 232 с.
4. Berezin V.I. Semiempirical models in theory of intensities of rotation-vibration molecules / V.I. Berezin, M.D. El'kin // J. Molecular Structure. 1992. Vol. 272. № 1. P. 95-109.

5. Элькин М.Д. Внутримолекулярная динамика и ее математическое описание в задачах молекулярной спектроскопии и газовой электронографии / М.Д. Элькин, Э.К. Костерина // Химическая физика. 1994. Т. 12. Вып. 3. С. 38-42.

6. Элькин П.М. Метрические соотношения для естественных колебательных координат в задачах оберточной спектроскопии / П.М. Элькин, В.И. Березин // Журнал прикладной спектроскопии. 2005. Т. 72. Вып. 5. С. 694-696.

7. Элькин М.Д. К вопросу об использовании функции плотности вероятности в ангармонической теории рассеяния электронов молекулами / М.Д. Элькин // Журнал структурной химии. 1989. Т. 30. Вып. 1. С. 31-36.

8. Элькин М.Д. Учет колебательно-вращательного взаимодействия в полуэмпирической теории интенсивностей многоатомных молекул / М.Д. Элькин, К.В. Березин // Журнал прикладной спектроскопии. 1994. Т. 35. Вып. 6. С. 38-43.

9. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 569 с.

10. Элькин П.М. Методы оптической физики в экологическом мониторинге  $\beta$ -хлорвинилдихлорарсина / П.М. Элькин, О.В. Пулин, В.Ф. Пулин // Журнал прикладной спектроскопии. 2004. Т. 71. Вып. 4. С. 539-542.

11. Элькин П.М. Структурно-динамические модели  $\beta$ -хлорвинилдихлорарсина / П.М. Элькин, В.И. Березин // Проблемы оптической физики. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2004. С. 122-128.

12. Frisch M.J. Gaussian 03. Revision B.03 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel et al. 2003. Pittsburg PA: Gaussian Inc.

13. Герцберг Г. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул / Г. Герцберг. М.: Наука, 1949. 647 с.

**Элькин Михаил Давыдович** –

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

**Осин Андрей Борисович** –

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

УДК 539.193/.194;535/.33.34

**П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, Е.А. Джалмухамбетова**

## **АНГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ ДИБЕНЗО-N-ДИОКСИНА**

*В рамках метода DFT/B3LYP/6-31G(d) выполнен анализ колебательных спектров 1,4-диоксина, антрацена и дибензо-п-диоксина в ангармоническом приближении.*

P.M. Elkin, V.F. Pulin, E.A. Djalmuhambetova

## INHARMONIC ANALYSIS OF VIBRATIONAL SPECTRA DIBENZO-N-DIOXIN

*Within the method of DFT/B3LYP/6-31G(d) the vibration spectrum analysis of 1,4-dioxin, anthracene and dibenzo-n-dioxin is carried out by the method in the inharmonic approximation.*

**Введение.** Исключительная опасность диоксиновых экотоксикантов сделала актуальной задачу разработки высокочувствительных методов обнаружения и количественного анализа этих соединений. Спектроскопические методы, обладая большими аналитическими возможностями, могут быть использованы при идентификации соединений, содержащих диоксиновые фрагменты в разных средах, для проведения количественного анализа, а также и для решения фундаментальной проблемы – установления связи между строением указанных соединений и их физико-химическими свойствами. Естественным представляется начать изучение молекул диоксинового ряда с базовых соединений – шестичленного циклического диоксина ( $C_4H_4O_2$ ) и дибензо-*n*-диоксина (DD) – ароматического циклического эфира, состоящего из двух бензольных колец, соединенных кислородными мостиками.

Авторы большинства спектроскопических исследований указанных молекул, опираясь на экспериментальные данные о геометрии молекулы, отдают предпочтение плоской конфигурации.

Как следует из обзора [1], имеющиеся экспериментальные данные по колебательным состояниям, взятые из колебательных спектров (ИК и КР) или тонкоструктурных спектров фосфоресценции, являются неполными, что создает известные трудности для интерпретации колебаний.

Теоретическая интерпретация колебательных спектров DD, приведенная в цитируемых работах из обзора [1], осуществлялась в гармоническом приближении теории колебаний с использованием масштабирующих множителей, позволяющих корректировать полученные расчетные данные до удовлетворительного согласия с экспериментом. По мнению самих авторов обзора, полученные данные не позволяют осуществить однозначного сопоставления интерпретаций колебаний.

Влияние ангармонических эффектов на колебательные состояния исследуемых соединений в цитируемых в обзоре источниках не обсуждалось.

**Анализ колебательных состояний дибензо-*n*-диоксина.**

Анализ ангармонических колебательных состояний 1,4-диоксина и DD-диоксина молекул осуществлялся в предположении их плоской конфигурации, обладающей симметрией  $D_{2h}$ .

Для достоверности предлагаемого нами отнесения частот колебаний DD-диоксина и выбора *ab initio* квантового метода расчета электронной структуры и колебательного спектра этого соединения был выполнен анализ ангармонических колебательных состояний молекулы антрацена, родственной по электронной структуре к молекуле DD-диоксина. Для антрацена и его дейтерозамещенных соединений имеется надежный экспериментальный материал по колебательным спектрам, а интерпретация фундаментальных колебаний является весьма устоявшейся и редко подвергается сомнению [2, 3].

Ангармонический анализ колебательных состояний 1,4-диоксина, антрацена и DD-диоксина осуществлялся в рамках ангармонической теории возмущения второго порядка [4] с учетом резонансов Ферми и Дарлинг-Деннисона [5, 6]. Схема такого численного эксперимента подробно описана в работе [7].

Результаты квантового *ab initio* расчета геометрической структуры центрального кольца молекул сопоставлены с экспериментальными данными в табл. 1. Для боковых колец отличие в углах не превышает 0,1°, в длинах связей 0,04 Å.

Таблица 1

Геометрические параметры центрального кольца в молекулах  
1,4-диоксина, антрацена, дибензо-п-диоксина

Длины связей(Å), углы(°)	1,4-диоксин	Антрацен [2]*	DD-диоксин [1]
R <sub>Ос/сс</sub>	1,39	1,40(1,40)	1,39(1,38)
R <sub>сс</sub>	1,33	1,45(1,44)	1,40
A <sub>сос/ссс</sub>	112,02	121,8(121)	116,43(116)
A <sub>оос/ссс</sub>	123,99	119,1(119,3)	121,78(122)
A <sub>ссн/ссс</sub>	112,61	118,6(118,4)	118,13(118)

В скобках приведены экспериментальные данные из [1,2]

Таблица 2

Интерпретация колебательного спектра 1,4-диоксина (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)

№	Тип сим.	Форма	V <sub>exp</sub>	V <sub>h</sub>	V <sub>anh</sub>	V <sub>m**</sub>	KP(Å <sup>4</sup> /a.е.м.)
1	AG	q <sub>сн</sub>	3121	3280	3139	3129	257,6
2	AG	Q <sub>со</sub> , γ <sub>сос</sub>	1686	1789	1747	1729	10,07
3	AG	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	1211	1253	1227	1217	23,90
4	AG	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	938	941	925	916	24,56
5	AG	γ <sub>сос</sub>	516	526	519	514	0,69
6	B1G	ρ <sub>сн</sub>	748	757	747	739	11,52
7	B2G	ρ <sub>сн</sub> , χ <sub>сс</sub>	857	869	853	847	0,34
8	B2G	ρ <sub>сн</sub> , χ <sub>сс</sub>	542	544	539	531	7,97
9	B3G	q <sub>сн</sub>	3121	3257	3139	3107	123,3
10	B3G	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	1312	1349	1317	1308	1,70
11	B3G	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	1078	1067	1034	1037	3,68
12	B3G	Q <sub>со</sub> , γ <sub>сос</sub>	697	705	698	687	5,32
13	AU	ρ <sub>сн</sub> , χ <sub>сс</sub>	–	876	861	853	0
14	AU	ρ <sub>сн</sub> , χ <sub>сс</sub>	–	443	439	433	0
15	B1U	q <sub>сн</sub>	3130	3260	3168	3110	004
16	B1U	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	1395	1443	1404	1398	4,69
17	B1U	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	990	1079	1057	1049	3,08
18	B1U	Q <sub>со</sub> , γ <sub>сос</sub>	901	911	894	887	123,1
19	B2U	q <sub>сн</sub>	3121	3277	3137	3126	21,37
20	B2U	Q <sub>со</sub> , γ <sub>сос</sub>	1640	1733	1673	1675	107,3
21	B2U	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	1201	1322	1291	1283	118,5
22	B2U	Q <sub>сс</sub> , β, γ <sub>ссс</sub>	1011	1043	1023	1014	101,8
23	B3U	ρ <sub>сн</sub> , χ <sub>сс</sub>	739	757	748	738	64,66
24	B3U	χ <sub>сс</sub>	124	89	95	87	23,87

\*\* С учетом масштабирующего соотношения.

При формировании табл. 1 учтено правило альтернативного запрета для интенсивностей колебательных переходов. Расчетным был выбран квантовый метод DFT/B3LYP/6-31G(d), хорошо зарекомендовавший себя в расчетах ангармонических состояний шестичленных циклических соединений. Заметим, указанный метод оказался наиболее приемлемым из апробированных нами и в монографии [3] квантовых методов для получения удовлетворительного согласия расчетных и опытных данных по колебательным спектрам в гармоническом приближении. Однако в рамках гармонического приближения для валентных и деформационных частот колебаний связей C – H имеют место значительные (~ 100-200 см<sup>-1</sup>) рас-

хождения между расчетными и экспериментальными данными, устранить которые можно процедурой масштабирования, предложенной в работах [8-10].

Результаты численного эксперимента для молекулы 1,4-диоксина и DD-диоксина сопоставлены с опытными данными в табл. 2, 3. Они явно свидетельствуют о наличии ангармонизма колебаний. Учет этого эффекта приводит к существенно лучшему согласию расчетных и экспериментальных данных, особенно для колебаний связей С – Н. Влиянием резонанса Ферми имеющиеся расхождения объяснить не представляется возможным. Согласно проведенным расчетам (при щели  $20 \text{ см}^{-1}$ ), этот резонанс имеет место для колебаний (5;3;2), (12;11;2), (18;16;5), (21;14;7) и дает сдвиг уровней соответственно на 16, 18, 5, 3  $\text{см}^{-1}$ . Это существенно меньше значений, полученных во втором порядке ангармонической теории возмущения.

Таблица 3

## Интерпретация колебательного спектра антрацена и DD-диоксина

№	Тип сим.	Форма колеб.	$\nu_{\text{экс}} [2]$	$\nu_{\text{h}}$	$\nu_{\text{ah}}$	КР	$\nu_{\text{экс}} [1,11]$	$\nu_{\text{h}}$	$\nu_{\text{ah}}$	КР
1	AG	$\nu_{\text{CH}}$	3088	3209	3077	755,4	–	3224	3081	575,1
2	AG	$\nu_{\text{CH}}$	3044	3183	3048	315,7	–	3209	3066	252,7
3	AG	$\nu_{\text{CH}}$	3044	3174	3027	44,18	–	–	–	–
4	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1561	1609	1573	86,20	1621	1673	1636	59,01
5	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1480	1535	1501	110,8	1500	1552	1521	5,70
6	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1414	1444	1408	737,8	–	1374	1341	16,98
7	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1261	1304	1281	52,13	1226	1259	1237	155,7
8	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1165	1200	1185	4,87	1154	1186	1171	7,88
9	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1007	1040	1026	49,73	1030	1060	1042	48,18
10	AG	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	755	766	755	60,37	726	742	733	18,70
11	AG	$\nu$	601	642	636	1,31	564	574	566	1,56
12	AG	$\nu$	396	399	395	25,45	398	399	395	28,49
13	B1G	$\nu_{\rho,\chi}$	949	958	953	0,28	–	929	925	3,10
14	B1G	$\nu_{\rho,\chi}$	755	776	764	10,37	748	765	757	2,54
15	B1G	$\nu_{\rho,\chi}$	480	489	480	0,64	450	458	452	2,02
16	B1G	$\nu_{\rho,\chi}$	217	239	234	6,38	278	274	270	11,86
17	B2G	$\nu_{\rho,\chi}$	986	991	975	0,23	–	963	964	0,02
18	B2G	$\nu_{\rho,\chi}$	894	920	899	3,65	–	–	–	–
19	B2G	$\nu_{\rho,\chi}$	848	851	836	3,30	–	858	849	10,84
20	B2G	$\nu_{\rho,\chi}$	755	783	771	12,50	–	696	709	0,37
21	B2G	$\nu_{\rho,\chi}$	577	591	582	0,10	–	556	553	0,08
22	B2G	$\nu_{\rho,\chi}$	255	273	267	0,25	223	232	230	4,32
23	B3G	$\nu_{\text{CH}}$	3044	3196	3053	251,2	–	3197	3063	112,5
24	B3G	$\nu_{\text{CH}}$	3044	3178	2969	10,72	–	3218	3072	71,44
25	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1634	1685	1648	1,69	–	–	–	–
26	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1596	1641	1608	8,75	1586	1639	1604	50,53
27	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1403	1428	1401	3,14	–	1496	1467	2,28
28	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1304	1308	1293	0,01	–	1303	1283	0,14
29	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1181	1223	1206	40,94	1192	1214	1192	11,49
30	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	1130	1135	1116	0,74	1094	1120	1100	0,70
31	B3G	$\nu_{\alpha,\beta,\gamma}$	929	928	918	0,17	–	904	895	4,47
32	B3G	$\nu$	523	534	532	11,31	534	543	540	5,63
33	B3G	$\nu$	369	394	393	4,06	–	442	440	2,76

№	Тип сим.	Форма	$v_{\text{экс}} [2]$	$v_h$	$v_{ah}$	ИК	$v_{\text{экс}} [1,11]$	$v_h$	$v_{ah}$	ИК
34	AU	$\rho_{\text{CH}}, \chi_{\text{CC}}$	979	989	975	0	–	962	964	0
35	AU	$\rho_{\text{CH}}, \chi_{\text{CC}}$	860	872	857	0	843	858	853	0
36	AU	$\rho_{\text{CH}}, \chi_{\text{CC}}$	778	759	748	0	700	681	713	0
37	AU	$\rho_{\text{CH}}, \chi_{\text{CC}}$	488	508	501	0	543	551	549	0
38	AU	$\chi_{\text{CC}}$	126	124	119	0	–	126	123	0
39	B1U	$q_{\text{CH}}$	3058	3196	3055	72,95	–	3218	3072	21,04
40	B1U	$q_{\text{CH}}$	3026	3179	3033	16,73	–	3197	3061	3,07
41	B1U	$q_{\text{CH}}$	3026	3172	3009	11,09	–	–	–	–
42	B1U	$Q, \beta, \gamma$	1623	1688	1651	6,85	1628	1687	1647	1,60
43	B1U	$Q, \beta, \gamma$	1462	1501	1472	1,22	1462	1517	1489	5,70
44	B1U	$Q, \beta, \gamma$	1316	1348	1329	4,22	1290	1321	1299	0,57
45	B1U	$Q, \beta, \gamma$	1269	1298	1283	8,22	–	1221	1202	9,29
46	B1U	$Q, \beta, \gamma$	1148	1182	1166	4,67	1120	1141	1125	21,59
47	B1U	$Q, \beta, \gamma$	906	918	908	1,73	854	862	850	19,98
48	B1U	$\gamma$	650	662	654	0,80	–	683	673	0,18
49	B1U	$\gamma$	234	235	234	1,29	242	241	236	1,51
50	B2U	$q_{\text{CH}}$	3058	3209	3066	77,44	–	3224	3082	18,19
51	B2U	$q_{\text{CH}}$	3040	3182	3050	0,00	–	3209	3075	28,99
52	B2U	$Q, \beta, \gamma$	1536	1597	1557	4,46	1590	1644	1605	43,49
53	B2U	$Q, \beta, \gamma$	1447	1501	1468	1,87	1495	1543	1508	655,3
54	B2U	$Q, \beta, \gamma$	1398	1433	1402	0,59	1305	1348	1318	98,59
55	B2U	$Q, \beta, \gamma$	1344	1394	1374	3,99	1300	1338	1308	557,5
56	B2U	$Q, \beta, \gamma$	1165	1200	1182	1,64	–	–	–	–
57	B2U	$Q, \beta, \gamma$	1126	1175	1163	1,32	1154	1186	1171	0,74
58	B2U	$Q, \beta, \gamma$	999	1036	1023	3,94	1030	1061	1044	9,54
59	B2U	$Q, \beta, \gamma$	811	826	816	0,00	830	855	841	51,88
60	B2U	$\gamma$	620	618	609	8,18	610	624	619	1,90
61	B3U	$\rho, \chi$	954	963	958	6,54	922	929	926	9,15
62	B3U	$\rho, \chi$	883	893	886	54,55	–	–	–	–
63	B3U	$\rho, \chi$	727	746	735	60,32	748	763	755	121,79
64	B3U	$\rho, \chi$	468	486	476	12,76	452	466	458	1,77
65	B3U	$\rho, \chi$	386	389	381	0,08	300	304	302	0,16
66	B3U	$\rho, \chi$	108	93	90	0,86	–	36	38	1,66

Для предварительной оценки ангармоничности фундаментальных колебательных состояний по данным теоретического расчета колебательного спектра 1,4-диоксина можно использовать масштабирующее соотношение  $v_{\text{анг}} = (0,9813 - 8,35 \cdot 10^{-6} v_{\text{гар}}) \cdot v_{\text{гар}}$ .

Теоретическая интерпретация обертоновых спектров 1,4-диоксина и DD-диоксина требует вычисления ангармонических постоянных  $\chi_{ij}$ . В табл. 4, 5 мы ограничились расчетными данными по  $\chi_{ij}$ , превышающими по абсолютной величине порог  $3 \text{ см}^{-1}$ , что для составных тонов и обертонов вносит поправку не менее  $5 \text{ см}^{-1}$  [7].

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Решение колебательной задачи в ангармоническом приближении хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными для фундаментальных частот колебаний. Как и следовало ожидать, ангармонизму в большей степени подвержены валентные и деформационные колебания связей C – H.

Таблица 4

Постоянные ангармоничности для молекулы 1,4-диоксина (в  $\text{см}^{-1}$ )<sup>\*</sup>

№	Тип сим.	$\nu_h$	$i, j$	$\chi_{ij}^{**}$	$i, j$	$\chi_{ij}$	$i, j$	$\chi_{ij}$
1	A1g	3273	1;1	-14,00	16;3	-4,02	19;19	-14,15
2		1787	3;1	-3,87	16;4	-3,34	20;1	-4,85
3		1248	4;2	-4,07	16;6	-14,22	20;2	-12,60
4		940	6;1	-3,94	16;7	-3,11	20;3	-3,05
5		526	7;4	3,31	16;9	6,26	20;10	-6,04
6	Au	879	8;1	-3,05	16;10	-18,57	20;15	-3,98
7		444	9;1	-57,11	16;11	-5,51	20;16	-9,14
8	B1g	758	9;2	42,63	16;12	-5,08	20;17	-3,15
9	B1u	3253	9;3	-4,66	16;13	-14,07	20;19	3,90
10		1436	9;6	-3,69	16;14	-4,56	21;2	-6,37
11		1078	9;9	-14,18	17;1	-3,28	21;4	-5,62
12		911	10;2	-47,20	17;2	-3,56	21;7	-3,15
13	B2g	872	10;3	-4,29	17;9	-4,36	21;8	-3,56
14		546	10;9	38,95	17;10	-3,89	21;11	-3,34
15	B2u	3270	11;2	-4,36	17;11	-2,13	21;13	-4,41
16		1731	12;2	-8,29	17;12	-3,59	21;16	-8,27
17		1319	13;1	-4,01	17;16	-3,19	21;17	-6,65
18		1041	13;6	10,24	18;2	-3,55	21;18	-6,28
19		B3g	3249	13;8	-3,85	18;10	-3,91	22;16
20	1343		13;9	-3,82	18;16	-3,66	23;21	-5,94
21	1065		14;2	-4,44	19;1	-57,54	24;2	-4,00
22	B3u	704	15;1	-56,19	19;2	9,14	24;3	-4,23
23		757	15;3	-4,15	19;3	-4,98	24;4	3,38
24		87	15;6	-3,90	19;6	-3,64	24;6	-6,15
			15;8	-3,04	19;9	-56,84	24;11	-5,56
			15;9	-57,68	19;10	10,22	24;14	-4,39
			15;13	-4,01	19;13	-3,72	24;21	7,67
			15;15	-14,03	19;15	-57,13	24;23	3,84
		16;1	-3,46	19;16	14,20	24;24	9,58	
		16;2	-10,95	19;17	-3,90			

\* Нумерация нормальных колебаний ( $i, j$ ) в табл. 4 соответствует нумерации первого столбца этой таблицы.

\*\* Приведены лишь ангармонические постоянные, превышающие по абсолютной величине  $3 \text{ см}^{-1}$ .

• Масштабирующее соотношение, используемое при анализе колебательных состояний в 1,4-диоксине, а ранее в других шестичленных ароматических соединениях [8-10], позволяет осуществлять предсказательные расчеты фундаментальных колебаний с учетом ангармонизма колебаний для данного класса соединений.

• Дублетное расщепление ряда линий в спектре DD-диоксина определяется наличием резонанса Ферми, что согласуется с выводами, сделанными в обзоре [1] на основании имеющихся литературных данных по теоретическому анализу колебательных спектров DD-диоксина.

Постоянные ангармоничности для молекулы DD-диоксина (в см<sup>-1</sup>)\*

$i, j$	$\chi_{ij}$						
1;1	-7,99	31;22	-3,03	40;4	-3,26	47;38	14,38
2;1	-30,52	32;21	-3,07	40;23	-6,29	47;39	-3,49
2;2	-8,02	33;12	3,55	40;24	-3,12	47;42	-3,36
3;2	-3,27	33;14	13,04	40;38	-5,28	47;46	-13,05
5;3	-5,76	33;31	3,17	40;39	-3,13	47;47	-12,47
14;12	4,89	35;30	-4,17	42;7	3,17	48;1	-6,93
14;13	3,68	36;1	-32,00	42;22	-3,38	48;4	-18,06
14;14	6,17	36;2	-30,56	46;1	-35,48	48;5	-4,79
15;14	4,30	36;4	4,00	46;2	-27,45	48;21	12,59
17;14	3,61	36;21	-35,40	46;4	14,56	48;22	9,92
21;1	-35,49	36;22	-27,69	46;13	-3,14	48;24	-5,73
21;2	-27,39	36;36	-7,99	46;21	-49,87	48;25	-3,28
21;4	-17,66	37;1	-30,55	46;22	-12,89	48;39	-25,46
21;13	-3,14	37;2	-32,09	46;23	-28,03	48;40	-4,22
21;21	-12,49	37;4	4,42	46;32	-3,06	48;46	16,49
22;1	-27,55	37;21	-27,52	46;36	-35,37	49;3	-17,78
22;2	-36,02	37;22	-35,92	46;37	-27,56	49;5	-3,60
22;7	-3,21	37;23	3,49	46;39	-30,77	49;22	7,26
22;12	-3,04	37;36	-30,59	46;46	-12,42	49;23	-6,58
22;21	-12,72	37;37	-8,01	47;1	-27,59	49;24	-6,66
22;22	-12,56	38;3	-3,11	47;2	-35,99	49;37	4,17
23;4	16,54	38;4	-7,80	47;3	14,08	49;38	-11,82
23;5	-3,96	38;5	-5,83	47;7	-3,21	49;47	13,93
23;21	-15,36	38;22	7,19	47;12	-3,03	49;48	-5,26
23;22	-3,42	38;24	-18,37	47;21	-12,89	50;23	-3,32
24;3	-3,78	39;4	-7,33	47;22	-50,11	50;48	-3,08
24;5	-3,58	39;21	10,16	47;23	-3,91	51;41	-4,44
24;23	-4,22	39;22	10,92	47;24	14,11	56;14	3,56
25;23	-3,68	39;23	30,04	47;31	-3,01	56;17	3,10
31;12	6,44	39;38	-4,23	47;36	-27,72	58;29	-3,15
31;14	4,72	40;3	-5,03	47;37	-35,88	59;10	-5,54

\* Нумерация нормальных колебаний соответствует тому же порядку следования по типам симметрии, как и в табл. 4.

- Имеет место сильное смешивание колебаний по форме как для плоских, так и неплюских колебаний. Деформационные колебания ароматических колец лежат в низкочастотной области спектра.

- Замена углеродного мостика на кислородный при переходе от антрацена к DD-диоксину несущественно сказывается на значениях частот фундаментальных колебаний молекулярного остова. Интенсивность линий в ряде случаев меняется значительно, что естественно связать с заменой атома углерода на атом кислорода в указанном мостике.

- Использование второго порядка ангармонической теории возмущения следует считать достаточным для надежной интерпретации фундаментальных колебаний антрацена и DD-диоксина. Отдельное рассмотрение резонансов Ферми и Дарлинг-Деннисона не приводит к лучшему согласию опытных и вычисленных частот фундаментальных колебаний, а

ограниченные экспериментальные данные по DD-диоксину не позволяют выяснить влияние ангармонических резонансов на обертоновые колебательные состояния.

**Заключение.** Проведен ангармонический анализ колебательных состояний молекул 1,4-диоксина, антрацена и дибензо-*n*-диоксина. Показано, что для данного класса молекул использование второго порядка ангармонической теории возмущения приводит к хорошему согласию экспериментальных и расчетных значений фундаментальных частот колебаний и может быть использовано для предсказательных расчетов колебательных спектров молекул, родственных по электронной структуре к исследуемым соединениям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оптические спектры и фотофизические свойства полихлорированных производных дибензо-*n*-диоксина / Е.А. Гаспилович, В.Г. Клименко, Н.В. Королькова, Р.Н. Нурмухаметов // Успехи химии. 2000. Т. 69. № 12. С. 1128-1148.
2. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1970. 559 с.
3. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 548 с.
4. Berezin V.I. Semiempirical models in theory of intensities of rotation-vibration of polyatomic molecules / V.I. Berezin, M.D. El'kin // Journal of Molecular Structure. 1992. Vol. 272. P. 95-109.
5. Amat G. Rotation-vibration of polyatomic molecules / G. Amat, Н.Н. Nielsen, G. Torgano. N.Y., 1971. 576 p.
6. Лисица М.П. Резонанс Ферми / М.П. Лисица, А.М. Яремко. Киев: Наукова думка, 1984. 250 с.
7. Элькин П.М. Ангармонический анализ колебательных состояний фенилдихлорарсина и фенилдихлорфосфина / П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, О.В. Пулин // Журнал прикладной спектроскопии. 2005. Т. 72. № 4. С. 557-559.
8. Березин К.В. Применение метода линейного масштабирования частот в расчетах нормальных колебаний многоатомных молекул / К.В. Березин, В.В. Нечаев, Т.В. Кривожижина // Оптика и спектроскопия. 2003. Т. 94. № 3. С. 398-401.
9. Элькин П.М. Структурно-динамические модели и колебательные спектры нитробензола и нитропиридинов / П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, Э.К. Костерина // Журнал прикладной спектроскопии. 2005. Т. 72. № 4. С. 450-453.
10. Березин К.В. Ангармонические резонансы в колебательных спектрах пиридазина / К.В. Березин, В.В. Нечаев, П.М. Элькин // Журнал физической химии. 2005. Т. 79. № 3. С. 508-517.
11. Излучательная дезактивация низшего триплетного состояния дибензо-*n*-диоксинов / Е.А. Гаспилович, Н.В. Королькова, В.Г. Клименко, С.А. Серов // Оптика и спектроскопия. 2002. Т. 93. № 2. С. 236-242.

#### **Элькин Павел Михайлович** –

кандидат физико-математических наук,  
ассистент кафедры «Техническая физика и информационные технологии»  
Энгельсского технологического института  
Саратовского государственного технического университета

#### **Пулин Виктор Федотович** –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Общая физика»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Джалмухамбетова Елена Азатуллаевна** –

аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии»  
Саратовского государственного технического университета

## НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

---

УДК 621.753.3

**А.Н. Васин**

### **ХАРАКТЕР УДАЛЕНИЯ ПРИПУСКА С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

*Рассмотрены механизм удаления припуска во времени и степень влияния технологических параметров на характер и величину съема припуска при механической обработке заготовок.*

**A.N. Vasin**

### **ALLOWANCE REMOVAL CHARACTER IN VIEW OF TECHNOLOGICAL SYSTEM ELASTIC DEFORMATION**

*Allowance removal technique in working time and influence of technological parameters on character and allowance removal size during working planks' machining.*

Эффективным направлением решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям в металлообработке является повышение коэффициента использования металла путем максимального приближения заготовки по размерам и форме к готовой детали. Это возможно в результате рационального уменьшения припусков на механическую обработку. Но малая величина припуска может не обеспечить получение поверхности заданной точности и качества, так как остается не удаленным дефектный слой материала, образовавшийся при изготовлении заготовки. В результате недостаточной величины припуска возрастает процент получения бракованных изделий, что повышает себестоимость изготовления продукции. В свою очередь, большие припуски вызывают перерасход материала при изготовлении деталей и необходимость введения дополнительных технологических переходов. Все это увеличивает трудоемкость процессов обработки, расход энергетических ресурсов, режущего инструмента и повышает себестоимость деталей. Кроме того, что особенно важно для обеспечения точности выпускаемой продукции, возникают большие погрешности при работе на предварительно настроенных станках из-за упругих отжатий в технологической системе. Поэтому установление оптимальной величины припусков имеет большое технико-экономическое значение.

Не менее важной задачей является раскрытие механизма удаления припуска с учетом возникающих в процессе резания различного вида погрешностей, влияющих на точность по-

лучаемых при обработке размеров и качество поверхности. Величина упругих деформаций, возникающих в технологических обрабатывающих системах, оказывает первостепенное значение на характер удаления припуска.

В целях достижения требуемого качества обработки необходимо на каждом выполняемом технологическом переходе предусматривать припуск, компенсирующий погрешности как предшествующей, так и выполняемой ступени обработки при последовательном приближении к заданному размеру. Такой метод достижения заданного размера называется многопроходной обработкой.

Дифференциальное уравнение удаления припуска в зависимости от влияющих факторов можно записать следующим образом:

$$\frac{dz}{d\tau} = S - \frac{dy}{d\tau},$$

где  $d\tau$  – элементарный промежуток времени;  $S$  – скорость перемещения инструмента;  $dy$  – элементарная упругая деформация технологической системы.

Номинальная фактическая скорость удаления металла

$$S_Z = S - S_y, \quad (1)$$

где  $S_y$  – скорость упругой деформации.

Известно [1], что

$$\left. \begin{aligned} J_{T.C.} &= \frac{P_y}{y}; \\ J_P &= \frac{P_y}{S_Z} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $J_{T.C.}$  – жесткость технологической системы;  $J_P$  – жесткость резания;  $P_y$  – нормальная сила резания;  $y$  – величина упругой деформации.

Из выражений (1) и (2)

$$y = S_Z \frac{J_P}{J_{T.C.}}$$

Дифференцируя это равенство по времени, получаем

$$S_y = \frac{dy}{dt} = \frac{J_P}{J_{T.C.}} \frac{dS_Z}{d\tau}. \quad (3)$$

С учетом равенства (3) выражение (1) примет вид

$$S_Z = S - \frac{J_P}{J_{T.C.}} \frac{dS_Z}{d\tau}. \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой линейное дифференциальное уравнение 1-го порядка.

Обозначим

$$S = a; \quad \frac{J_P}{J_{T.C.}} = c.$$

С учетом этих обозначений выражение (4) примет вид

$$S_Z = a - c \frac{dS_Z}{d\tau}. \quad (5)$$

Найдем интегрирующий множитель равенства (5)

$$\mu = e^{\int \frac{1}{c} dt} . \quad (6)$$

Начальными условиями выражения (6) являются

$$S_Z = 0 , \quad \tau_0 = 0 .$$

Тогда

$$\mu = e^{\int \frac{1}{c} dt} = e^{\frac{\tau}{c}} . \quad (7)$$

Общий интеграл имеет вид

$$S_Z = \frac{1}{\mu} \left[ \int_0^{\tau} a \mu d\tau + E \right] ,$$

где  $E$  – постоянное число, определяемое начальными условиями. Подставляя в это выражение значение интегрирующего множителя (7), получаем

$$S_Z = e^{-\frac{\tau}{c}} \left[ \int_0^{\tau} a e^{\frac{\tau}{c}} d\tau + E \right] .$$

Найдем значение интеграла

$$\int_0^{\tau} a e^{\frac{\tau}{c}} d\tau = a c e^{\frac{\tau}{c}} - a c .$$

Используя найденное значение интеграла, преобразуем предыдущее равенство

$$S_Z = e^{-\frac{\tau}{c}} \left( a c e^{\frac{\tau}{c}} - a c \right) + E .$$

Так как в начальный момент времени контакта режущей кромки с обрабатываемой поверхностью  $S_{Z_0} = 0$ ;  $\tau_0=0$ , то из полученного равенства можно определить, что  $E=0$ .

Раскрывая значения коэффициентов  $a$  и  $c$ , получим

$$S_Z = S \frac{J_P}{J_{T.C.}} \left( 1 - e^{-\frac{J_{T.C.}}{J_P} \tau} \right) . \quad (8)$$

Проинтегрировав выражение (8) по времени, несложно найти величину съема припуска за время  $\tau$

$$\begin{aligned} z_{\tau} &= \int_0^{\tau} S_Z d\tau = S \frac{J_P}{J_{T.C.}} \int_0^{\tau} \left( 1 - e^{-\frac{J_{T.C.}}{J_P} \tau} \right) d\tau = S \frac{J_P}{J_{T.C.}} \left( \tau - \int_0^{\tau} e^{-\frac{J_{T.C.}}{J_P} \tau} d\tau \right) = \\ &= S \frac{J_P}{J_{TC}} \left[ \tau - \frac{J_P}{J_{TC}} \left( 1 - e^{-\frac{J_{TC}}{J_P} \tau} \right) \right] . \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, выражение (9) показывает, что на характер и величину съема припуска при механической обработке заготовок наибольшее влияние оказывают скорость перемещения инструмента, время обработки, жесткость резания и жесткость обрабатываемой технологической системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васин А.Н. Влияние технологических факторов на величину припуска при однопроходной механической обработке / А.Н. Васин, А.В. Королев, А.А. Королев // Прогрессивные направления развития машиностроения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2004. С. 53-65.
2. Васин А.Н. Зависимость величины припусков от технологических факторов при многопроходной механической обработке / А.Н. Васин, А.В. Королев, А.А. Королев // Прогрессивные направления развития машиностроения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2004. С. 65-72.

**Васин Алексей Николаевич** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 531.7:621.9

**О.В. Захаров**

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕЙ ОКРУЖНОСТИ ПРОФИЛЯ  
ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ**

*Предложена методика расчета параметров средней окружности при измерении профиля цилиндрических поверхностей при больших эксцентриситетах между центром окружности и началом измерительной системы. В основу методики положен гармонический анализ профиля. Рассмотрены особенности практического применения при радиусном, координатном и разностном способах измерения.*

**O.V. Zakharov**

**MEAN CIRCLE PROFILE PARAMETER DETERMINATION  
AT SOLID SHAPE DEVIATIONS ROTATIONS MEASUREMENT**

*The measurement method for determination of a mean circle parameter at measurement of the profile for cylindrical surface with greater eccentricity of the center of circle and the center of measuring system is offered. This method is based on the harmonic analysis of profile. Features practical using is considered at round-nose, coordinate and differential methods of measurement.*

Статистика показывает, что более двух третей деталей машин и механизмов представляют собой тела вращения, от точности размеров и формы которых решающим образом зависит качество машины в целом. Поэтому в технике большое внимание уделяют вопросам контроля поверхностей этих деталей, что определило множество методов измерения, каждый из которых с очевидностью не может быть универсальным и имеет свою рациональную область применения. Известны способы радиусного, координатного и раз-

ностного измерений [1]. Реализация указанных методов предполагает использование разных измерительных приборов. Наибольшее распространение при контроле поверхностей и профилей тел вращения получили кругломеры с образцовым вращением шпинделя, координатно-измерительные машины (КИМ) и призмы с измерительными головками малых линейных перемещений.

Для нормирования точности формы в поперечном сечении ГОСТ 24642-81 предусматривает комплексный показатель – отклонение от круглости, показывающий, насколько проверяемый профиль отличается от некоторой базовой окружности, а также частные виды отклонений (овальность, огранка). Стандарты различных стран рекомендуют в качестве базы среднюю окружность, прилегающую окружность или зону минимальной ширины. В большинстве случаев за базовую окружность принимают среднюю окружность профиля [1-4].

Повышение точности измерений при радиусном и координатном методах достигается минимизацией эксцентриситета между центром средней окружности профиля и началом измерительной системы. Поэтому в первом случае деталь предварительно центрируют, а во втором – математически определяют положение центра средней окружности профиля. Метод разностного измерения дополнительно требует минимизации перемещений центра средней окружности при вращении детали относительно измерительного датчика.

Современные кругломеры оснащены точными механизмами центрирования (номинальная точность – до 0,01 мкм). При этом стандартная методика центрирования на кругломерах основана на минимизации функционала [1]:

$$G = \int_0^{2\pi} (r_j - e) d\varphi, \quad (1)$$

когда вначале находят длину  $e$  радиуса-вектора эксцентриситета, а затем соответствующие ему координаты  $(x, y)$  центра средней окружности, при которых  $G_{\min}$  принимает наименьшее значение.

Однако действительная точность центрирования по радиальному биению зависит, в первую очередь, от характера отклонений профиля измеряемой детали и от радиуса вращения датчика, который в общем случае не равен априорно неизвестному радиусу средней окружности профиля. Кроме того, предварительное центрирование, даже при автоматизации этой процедуры, занимает в несколько раз больше времени, чем собственно измерение.

Широкое применение в производственной практике получили формулы Спрегга [2] для расчета радиуса  $R$  и координат  $(x, y)$  центра средней окружности:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j, \quad x = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \quad y = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \quad (2)$$

где  $r_j$  – радиус  $j$ -й точки профиля;  $x_j, y_j$  – декартовы координаты  $j$ -й точки профиля (при равномерном угловом расположении);  $n$  – число измеренных точек профиля (рис. 1).

Известно [1-3], что формулы (2) дают хорошие результаты по точности только при выполнении условия  $e \ll R$ , т.е. при предварительном центрировании деталей на основе зависимости (1). Однако более строгие данные о погрешностях данных формул отсутствуют.

Основные положения для расчета параметров базовых окружностей при координатных измерениях приведены в РТМ 2 Н20-13-85. Математически строгое центрирование предполагает определение трех параметров – радиуса  $R$  и координат  $(x, y)$  центра средней окружности. Указанные параметры находят из условия минимума функционала, представляющего собой сумму квадратов расстояний от измеренных точек  $(x_j, y_j)$  до средней окружности [4]:

$$\Phi(x, y, R) = \sum_{j=1}^n \left( \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2} - R \right)^2. \quad (3)$$

Процедура минимизации функционала (3) реализуется итерационными методами, что обуславливает ее высокую трудоемкость. Поэтому данный метод получил применение преимущественно при измерении на КИМ.

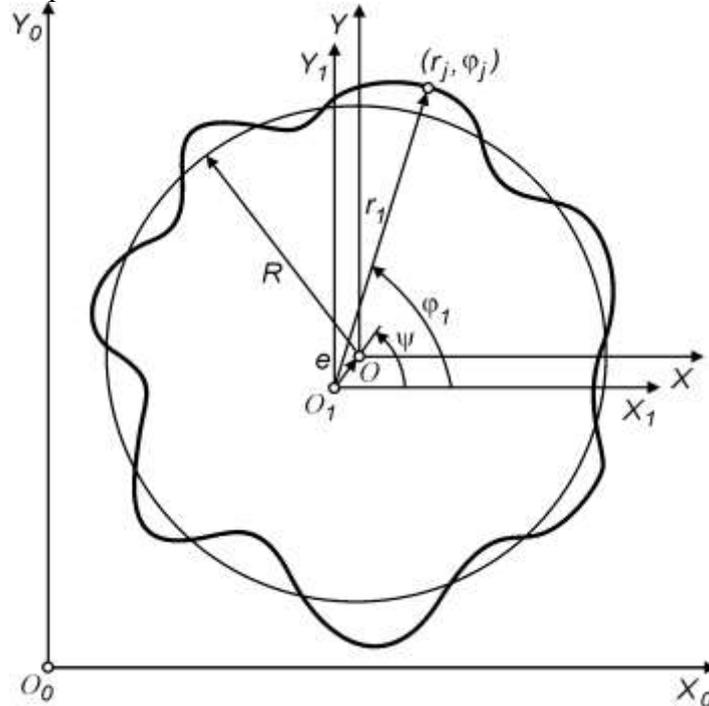


Рис. 1. Схема для расчета параметров средней окружности профиля

Приложение гармонического анализа для исследования профилей деталей в виде тел вращения получило широкую известность благодаря работе [5]. Сущность гармонического анализа заключается в установлении аналитического эквивалента профиля в виде тригонометрического полинома:

$$r = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i \cos(i\varphi - \psi_i) = a_0 + \sum_{i=1}^p (b_i \sin i\varphi + c_i \cos i\varphi), \quad (4)$$

где  $a_0$  – нулевая гармоника;  $a_i, \psi_i$  – амплитуда и начальная фаза  $i$ -й гармоники;  $b_i, c_i$  – косинусный и синусный коэффициенты  $i$ -й гармоники;  $p$  – наибольшее число гармоник.

Коэффициенты тригонометрического полинома (4) рассчитывают по формулам Бесселя [6]:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j, \quad b_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n r_j \sin i\varphi_j, \quad c_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n r_j \cos i\varphi_j, \quad (5)$$

где  $r_j$  – радиус  $j$ -й точки профиля;  $\varphi_j$  – полярный угол  $j$ -й точки профиля;  $n$  – число измеренных точек профиля.

Число  $n$  измеренных точек профиля и наибольшее число  $p$  гармоник тригонометрического полинома связаны зависимостью:

$$p \leq 2n + 1.$$

Высказанное в работе [5] предположение о том, что нулевая гармоника описывает радиус детали, первая гармоника – эксцентриситет, вторая гармоника – овальность и т.д., дол-

гое время не подвергалось сомнению и даже вошло в некоторые учебники по метрологии. Однако практическое применение этого подхода при измерении на кругломерах с образцовым вращением шпинделя не позволило отказаться от точного центрирования [1]. Таким образом, закономерно возник вопрос о корректности непосредственного гармонического анализа для расчета параметров средней окружности при условии больших эксцентриситетов средней окружности и начала измерительной системы координат.

Этот вопрос уже был поднят нами в работах [7, 8], где показано отличие уравнений, описывающих первую гармонику и эксцентрическую среднюю окружность. В настоящей статье дается методика для расчета параметров средней окружности профиля при наличии больших эксцентриситетов, а также раскрываются особенности применения данной методики при различных способах измерения.

Вначале обратим внимание на интересный факт – идентичность формул (2) и (5) для первой гармоники. Из него следует, что, с одной стороны, гармонический анализ обеспечивает наилучшее приближение измеренного профиля окружностью (средней окружностью) по методу наименьших квадратов, а с другой стороны, выявленные погрешности определения параметров средней окружности на основе гармонического анализа также справедливы и для формул Спрегга.

Уравнение эксцентрической окружности, полученное в работе [8], имеет вид:

$$r_1 = \sqrt{R^2 + e^2 + 2Re \cos \left\{ \varphi_1 - \psi + \arcsin \left[ \frac{e}{R} \sin (\varphi_1 - \psi) \right] \right\}} . \quad (6)$$

Гармонический анализ выражения (6) дает суперпозицию нулевой, первой и четных гармоник ( $p=1, 2, 4, \dots$ ) с амплитудами, быстро убывающими при увеличении их порядка. Значимыми можно считать амплитуды нулевой  $a_0$ , первой  $a_1$  и второй  $a_2$  гармоник. На рис. 2 приведен пример, иллюстрирующий гармонический анализ средней окружности радиуса  $R=10$  мм с эксцентриситетом  $e=5$  мм, где показаны характеризующие ее нулевая, первая и вторая гармоники. Первая гармоника однозначно определяет амплитуду  $e$  и начальную фазу  $\psi$  эксцентриситета, хотя при этом развертка эксцентрической окружности и отличается от синусоиды. Из гармонического анализа также следует, что амплитуда нулевой гармоники не равна радиусу средней окружности.

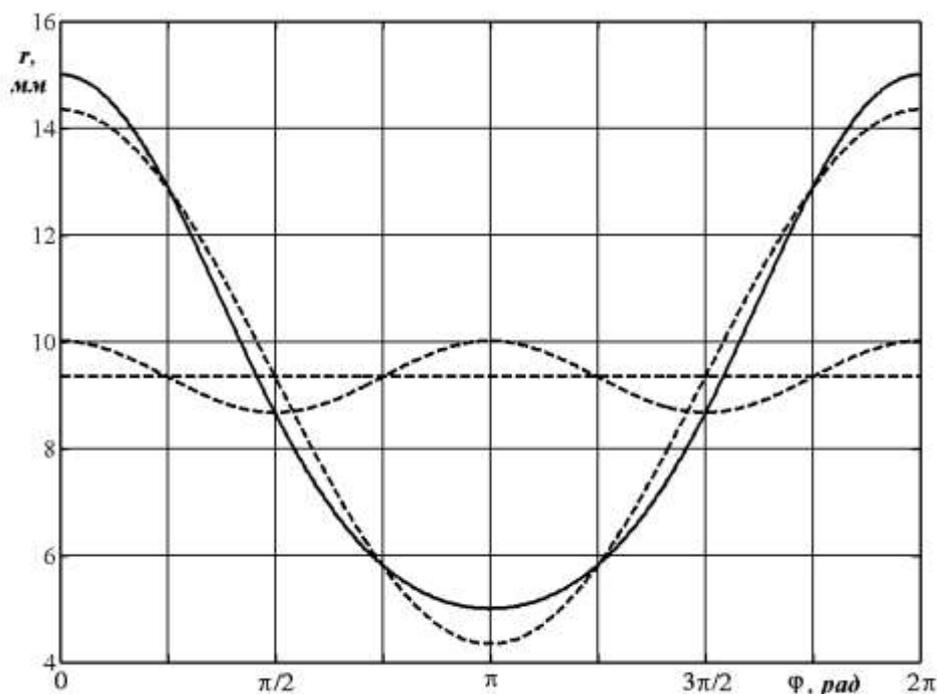


Рис. 2. Гармонический анализ средней окружности профиля:  
основная линия – средняя окружность профиля;  
штриховые линии – гармоники 0, 1, и 2-го порядков

Таким образом, координаты  $(e, \psi)$  центра средней окружности находят через первую гармонику  $(a_1, \psi_1)$ , а радиус приближенно рассчитывают как сумму нулевой гармоники  $a_0$  и амплитуды  $a'_2$  второй гармоники. Причем величины  $a_0, a_1, \psi_1$  определяют на основании гармонического анализа профиля детали по формулам (5), а величину  $a'_2$  – на основании гармонического анализа средней окружности по выражению (6).

Амплитуда второй гармоники нелинейно связана с амплитудой первой гармоники. Соотношение амплитуд  $a_2/a_1$  существенным образом зависит от отношения  $e/R$ . Так, например, максимальное значение  $a_2/a_1=0,42$  достигается при эксцентриситете, равном радиусу средней окружности. В диапазоне  $e/R \leq 0,1$  указанная величина составляет около 0,025. Если круглограмма анализируется графическим способом, где вместо радиуса детали рассматривается средний радиус записи, в большей степени соизмеримый с эксцентриситетом, то отклонения будут в несколько раз больше.

В зависимости от способа измерения рассмотренная методика имеет следующие особенности применения. При радиусном способе измерения для компенсации эксцентриситета  $e$  вводится корректирующий сигнал  $\Delta r(\varphi)$ . Вначале посредством кругломера находят радиусы точек профиля  $r_1(\varphi)$ , проводят гармонический анализ совокупности найденных радиусов  $r_j$  по выражениям (5), на основании которого определяют амплитуду  $a_1$  и начальную фазу  $\psi_1$  первой гармоники. Затем устанавливают амплитуду второй гармоники  $a'_2$  с помощью гармонического анализа средней окружности профиля с радиусом  $a_0$  и эксцентриситетом  $(a_1, \psi_1)$ . Далее формируют корректирующий сигнал  $\Delta r(\varphi)$  по выражению:

$$r(\varphi) = r_1(\varphi) - \Delta r(\varphi) = r_1(\varphi) - a_1 \cos(\varphi - \psi_1) - a'_2 \cos(2\varphi - \psi_1).$$

Радиус средней окружности профиля определяют по выражению:

$$R = a_0 + a'_2.$$

Методика обеспечивает либо уменьшение погрешности измерения, либо увеличение производительности за счет снижения требований к точности центрирования детали [9].

При координатном способе измерения представляется целесообразным вместо стандартной методики использовать следующую [10]. С помощью КИМ находят координаты точек поперечного профиля в системе координат  $(X_0; Y_0)$  измерительной машины, приближенно выбирают центр  $O_1$  средней окружности профиля. За приближенный центр  $O_1$  средней окружности принимают, например, центр прямоугольника  $ABCD$ , охватывающего профиль детали (рис. 3, а). Также за приближенный центр  $O_1$  средней окружности можно принять точку, делящую пополам каждый из двух взаимно перпендикулярных отрезков  $KM$  и  $LN$ , ограниченных противоположащими точками  $K, M, L, N$  профиля (рис. 3, б). При этом отрезки  $KM$  и  $LN$  не обязательно параллельны осям  $X_0, Y_0$ .

Далее проводят гармонический анализ координат  $(r_j, \varphi_j)$  точек профиля в системе координат  $(X_1; Y_1)$ , на основании которого получают радиус  $R$  и уточненное положение центра  $O$  средней окружности профиля, определяемое координатами  $(e; \psi)$ . Затем координаты  $(x_i; y_i)$  точек профиля пересчитывают по известным формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= r_j \cos \varphi_j + e \cdot \cos \psi; \\ Y_1 &= r_j \sin \varphi_j + e \cdot \sin \psi. \end{aligned} \right\}$$

При этом последующее неравномерное угловое расположение точек на профиле при анализе отклонений формы значения не имеет.

В условиях разностных измерений при равномерном вращении детали относительно измерительного датчика, если эксцентриситет имеет постоянное значение, то расчет параметров средней окружности проводят аналогично радиусному способу [11]. Дополнительно предложенная методика позволяет компенсировать биение шпинделя измерительного прибора или погрешности базирования при бесцентровом измерении. Целесообразно использование такого подхода при измерении на обрабатывающем оборудовании без предварительного центрирования деталей [7].

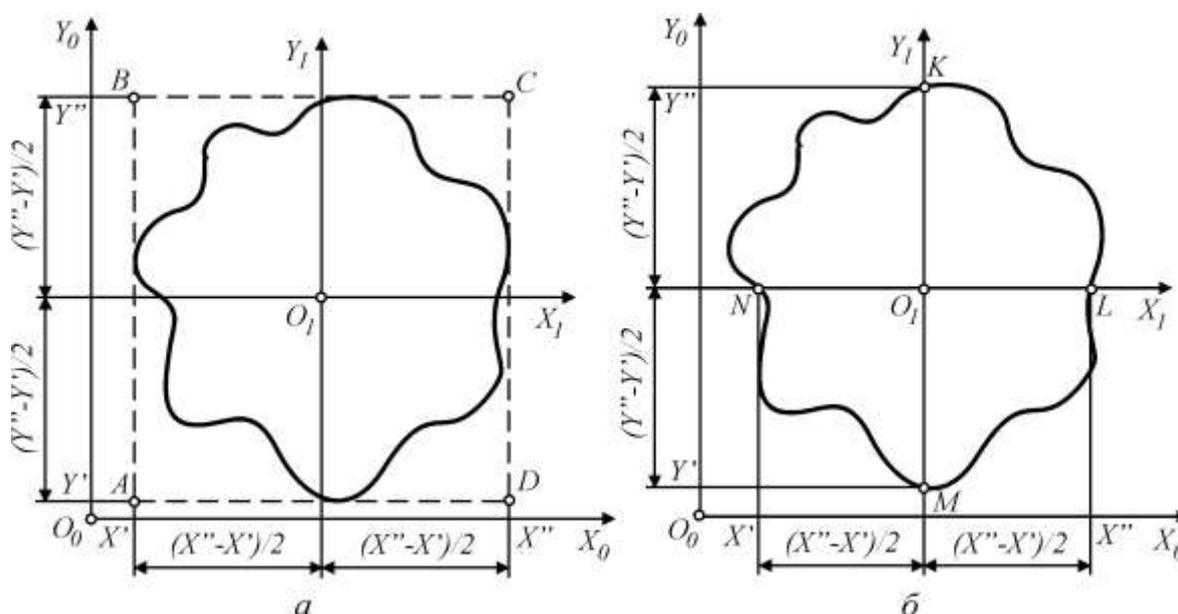


Рис. 3. Приближенный выбор центра средней окружности профиля при координатном методе измерения

Разработанная методика прошла апробацию при измерении диаметра и отклонения от круглости цилиндрических поверхностей различных деталей на приборах КИМ-750 (*Ланик*, Россия), на кругломерах *Talyrond 73* (*Taylor Hobson*, Великобритания) и на прецизионных токарных станках модели ТПК-125ВН2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдулов А.Н. Контроль и оценка круглости деталей машин / А.Н. Авдулов. М.: Изд-во стандартов, 1974. 176 с.
2. Spragg R.C. Accurate calibration of surface texture and roundness measuring instruments / R.C. Spragg // Proc. Instr. Mech. Engrs., 1967-1968. P. 32.
3. Сысоев Ю.С. Координатные методы определения параметров средней окружности при анализе профиля реальной поверхности / Ю.С. Сысоев // Измерительная техника. 1995. № 10. С. 22-25.
4. Курносенко А.И. Об алгоритмах обработки координатных измерений круглых профилей и сферических поверхностей / А.И. Курносенко // Измерительная техника. 1992. № 1. С. 25-27.
5. Ляндон Ю.Н. Основы взаимозаменяемости в машиностроении / Ю.Н. Ляндон. М.: Машгиз, 1951. 142 с.
6. Серебренников М.Г. Гармонический анализ / М.Г. Серебренников. М.: Огиз, 1948. 504 с.
7. Захаров О.В. Метод измерения круглости детали на основе гармонического анализа / О.В. Захаров, А.В. Кочетков, Д.А. Сысуев // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 10. С. 40-42.
8. Захаров О.В. Методические основы гармонического анализа круглограмм / О.В. Захаров, В.В. Погораздов, А.В. Кочетков // Метрология. 2004. № 6. С. 3-10.
9. Пат. RU № 2243499 МПК G 01 В 5/20. Способ измерения поверхностей вращения на кругломере / О.В. Захаров, А.В. Кочетков, В.В. Погораздов // Изобретения. Полезные модели. 2004. № 36.
10. Пат. RU № 2240496 МПК G 01 В 5/008. Способ измерения поперечного профиля изделия / О.В. Захаров, А.В. Кочетков // Изобретения. Полезные модели. 2004. № 32.
11. Пат. RU № 2239785 МПК G 01 В 5/20, 5/08. Способ разностного измерения отклонения от круглости / О.В. Захаров, А.В. Кочетков, Д.А. Сысуев // Изобретения. Полезные модели. 2004. № 31.

**Захаров Олег Владимирович –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 621.747

А.А. Землянский

**ТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И СИСТЕМА  
АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ  
РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

*Представлены принципы организации мониторинга и системы активного управления техническим состоянием резервуаров большого объема с пассивным и активным режимом работы на базе использования динамических экспертных систем.*

**A.A. Zemlyanskiy**

## **TECHNICAL MONITORING AND OPERATIONAL RELIABILITY OF GREAT VOLUME VESSELS ACTIVE CONTROL SYSTEM**

*Principles of organization of monitoring and the system of active control over the technical state of vessels of great volume with passive and active work regime on the basis of use of dynamic expert systems are presented in this article.*

Необходимость создания в третьем тысячелетии крупных баз стратегического запаса углеводородного сырья требует значительного повышения эффективности и безопасности хранения всей номенклатуры углеводородов, что невозможно без разработки крупногабаритных резервуаров нового поколения с управляемой эксплуатационной надежностью. Создание управляемых и интеллектуально-разумных зданий и сооружений является в настоящее время абсолютно закономерным этапом эволюции различных строительных объектов и отражает современное стратегическое направление развития инженерных сооружений, имеющее важное значение для энергетической и экологической безопасности страны.

Анализ существующих систем автоматического управления показал, что в отличие от традиционного проектирования, когда любая несущая строительная конструкция или сооружение проектируются на самые невыгодные комбинации расчетных нагрузок, возникающие крайне редко – в управляемых объектах, всегда имеется практическая возможность эффективно управлять их напряженно-деформируемым состоянием с поддержанием эксплуатационной надежности исследуемого сооружения на заданном проектном уровне.

В настоящее время существует множество самых различных систем автоматического управления технологическими процессами, либо технически сложными промышленными объектами [1, 2, 3, 4], в частности:

- системы робастного управления;
- системы оптимального управления по критерию минимума анизотропной нормы;
- самоорганизующиеся адаптивные системы управления;
- самонастраиваемые адаптивные системы управления;
- многообъектные и многокритериальные системы управления, основанные на методах «угроз и контругроз»;
- динамические экспертно-интеллектуальные системы управления;
- нейтронные системы управления.

Детальный анализ рассматриваемых систем по эффективности и устойчивости работы позволил установить, что для управления эксплуатационной надежностью технически сложных и экологически опасных объектов, таких как крупногабаритные резервуары вертикальные стальные (РВС), возможно использование либо адаптивных систем управления либо динамических, экспертно-интеллектуальных систем управления, упрощенная схема которых представлена на рис. 1.

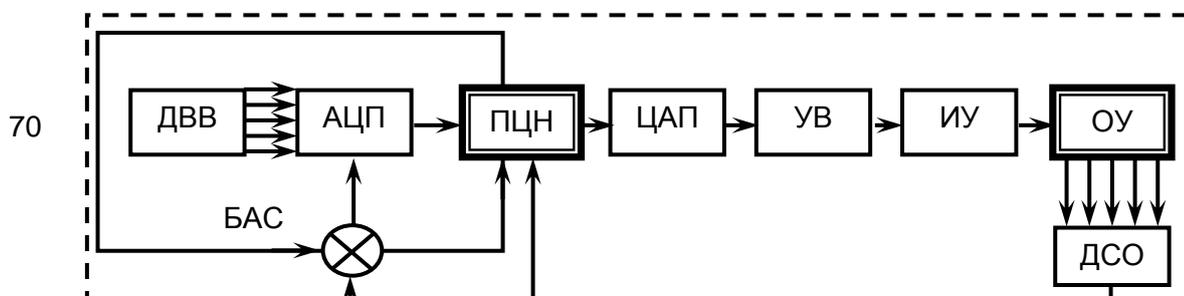


Рис.1. Структурная схема управления технически сложным объектом:  
 ДВВ – датчики внешних воздействий; АЦП – аналого-цифровой преобразователь;  
 ПЦН – процессор целевого назначения; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;  
 УВ – блок управляющих воздействий; ИУ – блок исполнительных устройств;  
 ОУ – объект управления (РВС); ДСО – датчики состояния объекта; БАС – блок анализа  
 и сравнения уровня фактического состояния объекта с уровнем допустимого уменьшения  
 эксплуатационной надежности исследуемого объекта

Представленная схема свидетельствует о том, что практически все указанные системы управления имеют в своем составе девять рабочих блоков, от надежности работы которых зависит и эффективность всей системы управления. Если считать, что в настоящее время вся архитектура и элементная база традиционных систем управления существует и многократно проверена на различных промышленных объектах при управлении различными технологическими процессами, то для создания активной системы управления эксплуатационной надежностью РВС необходимо создание и использование эффективных датчиков внешних воздействий, а также датчиков определения состояния объекта управления. А для управления эксплуатационной надежностью корпуса РВС нужен дополнительно и буферный элемент, активно воздействующий на управляемый объект с целью поддержания его напряженно-деформированного состояния на заданном проектном уровне. При этом, в нашем случае в качестве указанного элемента, мы можем успешно использовать систему активного кольцевого армирования грунта. В ходе выполнения настоящей работы все указанные условия были промоделированы и апробированы в соответствующих натуральных условиях, что позволило автору объективно оценить эффективность рассматриваемой системы управления.

Рассмотрим принципы организации мониторинга и систем управления техническим состоянием резервуаров большого объема на практике. Любая система управления имеет два крайних режима управления: ручной режим, с «пассивным» управлением и автоматический режим, с «активным» управлением.

При создании эффективной системы автоматического управления весь ожидаемый фронт работ можно условно разделить на 4 этапа:

На **I этапе** создается база электронных данных на основе организации мониторинга воздействия внешней среды и ожидаемого состояния управляемого объекта.

На **II этапе** – создается математическая модель управления эксплуатационной надежностью исследуемого объекта.

На **III этапе** – разрабатывается электронная система автоматического управления состоянием объекта при различных вариантах интенсивности внешних воздействий.

На **IV этапе** – производится экспериментальное апробирование и техническая настройка разработанной системы управления.

Создание на I этапе только эффективной системы мониторинга состояния объекта позволит на практике организовать «пассивную» систему управления с ручным режимом поддержания эксплуатационной надежности объекта на проектном уровне, либо за счет уменьшения скорости загрузки РВС, либо за счет оперативной разгрузки объекта с целью

максимального снижения его напряженно-деформированного состояния и повышения общей эксплуатационной надежности.

**Система мониторинга внешних воздействий** на РВС, исходя из выполненных обследований натуральных объектов и анализа имеющейся априорной информации, теоретически должна включать в себя следующие активные системы измерения:

– прежде всего, систему высокоточного измерения абсолютных и относительных деформаций грунтового основания, днища и окраек соответственно в пределах рабочей зоны размещения резервуара, созданную на основе использования либо лазерной технологии, либо применения типовых электронных датчиков перемещения, рабочую базу которых следует размещать в недеформируемой зоне грунтового основания. При этом указанную систему необходимо размещать по периметру резервуара с шагом 6 метров, как это регламентируется в действующей нормативной литературе [7, 8];

– систему измерения температуры окружающей среды и хранимого нефтепродукта, корпуса и днища эксплуатируемого резервуара на основе использования типовых полупроводниковых датчиков температуры и систем электронной обработки полученных результатов;

– систему определения высоты налива нефтепродукта в РВС на основе использования типовых поплавковых, ультразвуковых или радиоволновых датчиков уровня хранимого продукта;

– систему мониторинга атмосферных осадков на плавающую крышу с целью последующего удаления указанных осадков либо за счет нагревания хранимого нефтепродукта, или за счет нагревания абсолютно гибкой мембраны плавающей крыши (ПК) с помощью электропрогрева, либо за счет пропускания через капилляры настила незамерзающей жидкости, нагретой до  $+5 \div +10^{\circ}\text{C}$ .

**Система мониторинга состояния объекта**, в нашем случае резервуара, может также потенциально включать в себя:

– мониторинг напряженно-деформированного состояния корпуса резервуара в самой нижней, перегруженной зоне вертикальной стенки, за счет использования нового активного датчика, созданного автором настоящей работы на основе использования эффекта Форстера, позволяющего добиться высокой надежности и чувствительности при измерении «действующих» и «остаточных» нормальных напряжений в стальном корпусе РВС, вплоть до предела текучести металла;

– мониторинг измерения толщины рабочей стенки резервуара в результате коррозии последней, также в самой перегруженной нижней зоне корпуса, на основе использования ультразвуковой диагностической базы;

– мониторинг напряженно-деформированного состояния кольцевого понтона и абсолютно гибкой плавающей крыши.

Детальный анализ представленного материала в идеально-формализованном виде позволил установить, что если отбросить все второстепенные факторы и выделить главные доминирующие факторы, оказывающие максимально активное влияние на устойчивость и эффективность рассматриваемой системы управления, то можно наглядно увидеть, что на эксплуатационную надежность РВС самое серьезное влияние оказывает только уровень напряженно-деформируемого состояния (НДС) корпуса резервуара, особенно в месте сопряжения вертикальной стенки с крайками.

Именно поэтому созданный высокочувствительный прибор, позволяющий организовать эффективный мониторинг НДС корпуса резервуара, создает все условия для организации действующей системы автоматического управления эксплуатационной надежностью РВС, за счет появившейся в настоящей работе практической возможности дискретно управлять несущей способностью грунтового основания, соответственно по всему периметру эксплуатируемого резервуара.

Одновременно, при внимательном рассмотрении полученной информации можно легко увидеть, что мониторинг только НДС корпуса резервуара позволяет за счет этого очень важного параметра автоматически учесть влияние на эксплуатационную надежность РВС и всех нижеперечисленных факторов:

- воздействие температуры окружающей среды и хранимого нефтепродукта;
- уменьшение рабочей толщины стенки резервуара за счет коррозии;
- влияние уровня неравномерных деформаций грунтового основания под резервуаром, а также высота загрузки РВС нефтепродуктом.

На практике все указанные факторы оказывают очень большое косвенное влияние на НДС корпуса резервуара, именно поэтому активный мониторинг НДС корпуса объекта позволяет на практике комплексно и практически всесторонне учесть все потенциально возможные доминирующие факторы, оказывающие значительное влияние на эксплуатационную надежность исследуемого объекта.

Разработка новых поколений интеллектуальных систем (ИС) вызвала к жизни и новые принципы организации автоматизированных систем управления на основе использования так называемых динамических экспертных систем в управлении сложными и экологически опасными объектами.

В настоящее время современные интеллектуальные системы способны сами синтезировать и корректировать цели управления, прогнозировать значение параметров результата действия управляющих сигналов и сопоставлять их с реально необходимыми действиями, образуя гибкую обратную связь с последующей корректировкой в случае необходимости. Во всех интеллектуальных системах всегда присутствуют два крупных рабочих блока: блок синтеза цели и блок реализации цели.

В **первом блоке**, в результате активного обмена информацией, полученной от системы первичных датчиков, в процессоре синтезируется цель и принимается решение к действию.

Во **втором блоке** динамической экспертной системы (ДЭС), также на основании текущих сведений о внешнем воздействии и собственном состоянии управляемого объекта, осуществляется экспертная оценка и принимается решение об управлении, прогнозируются результаты действия и вырабатываются сигналы управления. Объект управления, получая сигнал от исполнительных устройств, входит в определенную стадию НДС исследуемого объекта, результаты которого, представленные в цифровом виде по цепи обратной связи, поступают в ДЭС, где сравниваются с прогнозируемыми. В результате систематической оценки полученного результата на практике может возникнуть ситуация, когда цель достигнута, но результат не удовлетворяет предъявленным требованиям. Если же цель достигается по всем параметрам, то сигнал управления просто утверждается. В противном случае происходит коррекция сигнала управления. Когда же цель становится недостижимой, то она корректируется в нужном направлении. Одновременно при внештатных изменениях состояния окружающей среды или объекта управления также возможен синтез новой цели и разработка нового сценария ее достижения.

В рассматриваемую интеллектуальную систему управления на практике всегда входит три базы знаний: концептуальная, алгоритмическая и фактуальная.

При этом концептуальная база знаний включает в себя математическую модель управления, алгоритмическая база включает в себя программную систему и, наконец, фактуальная часть является электронной базой исходных и текущих данных.

Структура динамической экспертной системы (ДЭС) представлена на рис. 2.

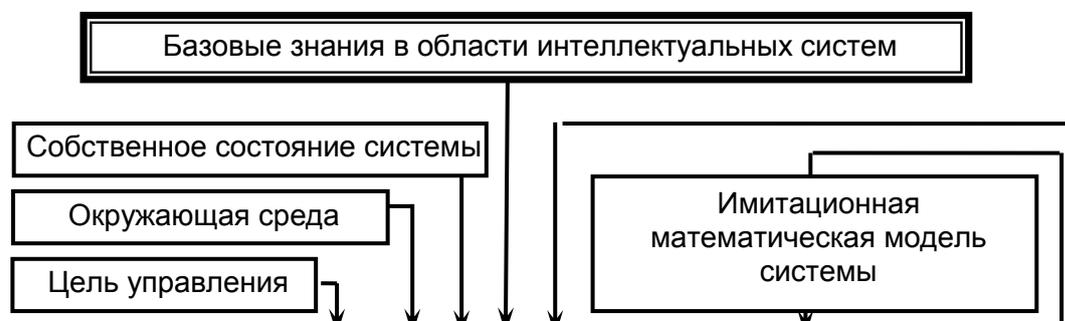


Рис. 2. Структура динамической экспериментальной системы первого типа

Динамические экспертные системы основаны на использовании жестких математических моделей управления в соответствии с поставленными целями управления. Полученные в ходе исследования объекта результаты используются для получения экспертной оценки и принятия решения об уровне и оперативности управления объектом. Только после этого на основе принятого алгоритма управления, имеющегося в базе знаний, формируется управляющее воздействие на исполнительные устройства. Но прежде чем управляющее воздействие поступит на управляемый объект, эффективность и адекватность этого воздействия оценивается в ДЭС с помощью имитационной математической модели. При этом указанная оценка должна выполняться в нашем случае намного быстрее реальных процессов управления конкретным объектом, в частности РВС. Учитывая значительную инерционность процессов загрузки и разгрузки РВС большого объема рассматриваемая динамическая экспертная система просто не требует разработки и применения в ДЭС каких-либо скоростных режимов работы.

Выполненные априорные и экспериментальные исследования динамических экспертных систем управления позволили разработать структурную схему управления эксплуатационной надежностью РВС большого объема, представленную на рис. 3 и отраженную в работах [5, 6].

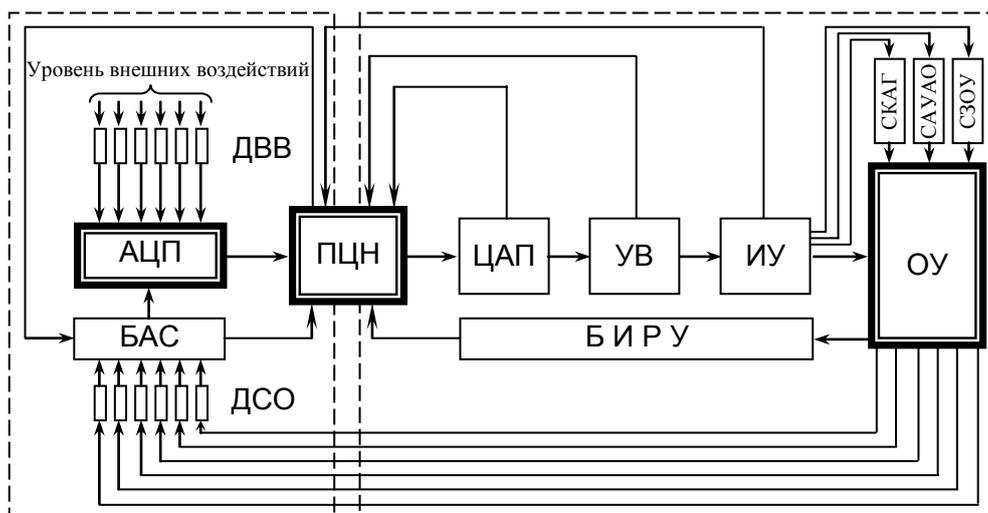


Рис. 3. Структурная схема управления эксплуатационной надежностью резервуаров большого объема: ДВВ – датчики внешних воздействий; ДСО – датчики состояния объекта; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПЦН – процессор целевого назначения; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; УВ – блок управляющего воздействия; ИУ – блок исполнительных устройств; ОУ – объект управления; БИРУ – блок интерпретации результатов управления; СКАГ – система кольцевого армирования грунта; САУАО – система автоматического удаления атмосферных осадков; СЗОО – система загрузки объекта управления; БАС – блок анализа и сравнения уровня фактического состояния объекта с уровнем допустимого уменьшения эксплуатационной надежности исследуемого объекта

Формально указанная интеллектуальная управляющая система описывается следующими нижеприведенными выражениями

$$\left. \begin{aligned} T_i \times X \times S &\xrightarrow{\alpha_1} M \times T_i; \\ T_i \times X \times S &\xrightarrow{\alpha_2} G \times T_i; \\ C \times T_i \times X \times S &\xrightarrow{\alpha_3} R \times T_i; \\ T \times X &= \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; \\ T_i \times Y &= \{D \times T\} X \times T_i; \\ T_i \times R \times Y &\xrightarrow{\alpha_4} C \times T \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $T_i$  – множество моментов времени;  $X, S, M, C, R$  и  $Y$  – множество состояний системы, окружающей среды, мотивации, цели, прогнозируемого и реального результата;  $A, B$  и  $D$  – рабочие матрицы технических параметров объекта управления;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  и  $\alpha_4$  – интеллектуальные операторы преобразования.

В указанном описании в аналитическом виде представлен объект управления в виде множества технических состояний, характеризующихся различным уровнем напряженно-деформированного состояния эксплуатируемого объекта.

Учитывая, что в ходе эксплуатации РВС доминирующее влияние на НДС корпуса резервуара оказывают его большие абсолютные и неравномерные осадки в пределах рабочего днища, то в нашем случае математическую модель управления можно представить в виде корреляционного уравнения

$$y_{cp} = 2,838 + 1,123X_1 - 0,246X_2 + 0,266X_3 - 0,927X_4 - 0,121X_1X_3 - 0,315X_1X_4 + 0,593X_2X_3 - 0,288X_2X_4 - 0,480X_3X_1 - 0,393X_2X_3,$$

где  $X_1, X_2, X_3$  и  $X_4$  – соответственно интенсивность внешней нагрузки, интенсивность преднапряжения системы кольцевого армирования грунта, величина удаления кольцевого армирования грунта от дневной поверхности и высота кольцевой системы армирования грунта.

Представленная на рис. 3 схема управления эксплуатационной надежностью РВС большого объема на практике, по мнению автора – должна работать в двухстадийном режиме.

Сначала, в период гидравлических испытаний, за счет системы кольцевого армирования грунта, максимально полно выбираются все ожидаемые осадки РВС с ограничением их неравномерности по периметру резервуара, с помощью синхронной подачи рабочего давления в соответствующие секции кольцевой системы армирования, соответственно с обяза-

тельным опережением давления преднапряжения в кольцевой системе армирования грунта по отношению к вертикальной загрузке РВС. При этом на I стадии управления возможно одновременное эффективное выравнивание скорости нарастания осадок РВС за счет:

- уменьшения скорости загрузки РВС;
- полного прекращения загрузки РВС на некоторых этапах;
- оперативной разгрузки РВС при необходимости стабилизации возникающей неравномерной осадки резервуара.

После выбора всех ожидаемых проектных осадок РВС, состояние системы кольцевого армирования грунта следует застабилизировать за счет стабилизации уровня преднапряжения кольцевой системы армирования относительно окружающего грунта. И только после этого, все последующее управление эксплуатационной надежностью РВС может перейти во вторую стадию, когда стабилизированная система кольцевого армирования грунта полностью исключается из последующего сценария управления, а управление НДС резервуара производится только лишь за счет:

- регулировки скорости загрузки РВС нефтепродуктом;
- полного прекращения загрузки РВС при необходимости стабилизации НДС резервуара;
- оперативной разгрузки РВС, при необходимости выхода из любой предаварийной ситуации.

При этом I стадия управления направлена на стабилизацию ожидаемых осадок РВС, а II стадия управления связана с предотвращением любых предаварийных и аварийных ситуаций РВС.

### Выводы

1. Установлено, что для управления эксплуатационной надежностью крупногабаритных РВС нового поколения следует использовать адаптивную или динамическую экспертно-интеллектуальную систему управления, способную учесть весь спектр доминирующих факторов, оказывающих активное влияние на уровень технической и экологической надежности исследуемого объекта.

2. Доказано, что активный мониторинг напряженно-деформированного состояния корпуса резервуара позволяет эффективно учесть влияние на эксплуатационную надежность РВС воздействия температур окружающей среды и хранимого нефтепродукта, уменьшения рабочей толщины стенки резервуаров, возникшего за счет коррозии металла, а также влияние уровня неравномерных деформаций грунтового основания и высоты загрузки РВС нефтепродуктом.

3. Выявлено, что использование в динамическо-экспертной системе управления концептуальной, алгоритмической и фактуальной баз данных позволяет корректировать цели управления, прогнозировать результаты действия управляющих сигналов и сопоставлять их с реально необходимыми действиями, образуя гибкую обратную связь с возможностью ее корректировки в случае необходимости.

4. Показано, что разработанная система автоматического управления эксплуатационной надежностью РВС большого объема на базе динамических экспертных систем может активно работать в режиме максимальной стабилизации ожидаемых осадок резервуаров и предотвращения любых предаварийных и аварийных ситуаций с РВС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абовский Н.П. Управление конструкциями с использованием ЭВМ: учеб. пособие / Н.П. Абовский, Г.А. Залялеева, В.И. Палагушкин. Красноярск: КИСИ, 1995. 94 с.

2. Абовский Н.П. Разработка конструкций нового типа с автоматическим управлением напряженно-деформированным состоянием / Н.П. Абовский, В.И. Палагушкин // Пространственные конструкции в Красноярском крае: сб. науч. тр. Красноярск: КрасГАСА, 1998. С. 35-47.
3. Система автоматизации зданий / Д. Дитрих, В. Кастнер, Т. Саутер, О.Е. Назамутдинов; пер. с нем. под ред. О.Е. Назамутдинова, М.В. Гордеева. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2001. 378 с.
4. Бесекерский В.А. Руководство по проектированию систем автоматического управления / В.А. Бесекерский. М.: Высшая школа, 1983. 293 с.
5. Землянский А.А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния нефтеналивных резервуаров / А.А. Землянский // Современные аспекты организации неразрушающего контроля качества продукции на промышленном предприятии: II науч.-практ. конф. Турция: Сиде, 2004. С. 12-15.
6. Землянский А.А. Управление эксплуатационной надежностью фундаментных конструкций резервуаров нового поколения / А.А. Землянский // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2005. № 6. С. 12-14.
7. СНиП 2.09.03-85. Сооружение промышленных предприятий / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1986. 56 с.
8. СТО 0030-2004. Стандарт организации «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродукта». Правила технического диагностирования расчета и реконструкции. М.: Изд-во ЗАО ЦНИИПСК, 1986. 65 с.

**Землянский Анатолий Адреевич –**

кандидат технических наук, доцент,  
директор Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.924.93: 621.92 061.62

**С.Г. Мchedlov**

**ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
ПОД ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ ПРИ ИХ УПРОЧНЕНИИ  
И ВОССТАНОВЛЕНИИ**

*Представлен новый способ активации рабочей поверхности деталей машин под газотермическое покрытие при их упрочнении и восстановлении, основанный на тангенциальной сухой струйно-абразивной обдувке поверхности свободным абразивом.*

**S.G. Mchedlov**

**AN EFFECTIVE WAY OF MASHINE PARTS SURFACES PREPARATION  
FOR GAS-THERMAL COVERING AT THEIR STRENGTHENING AND RESTORATION**

*A new method of activation of parts' working surfaces for gas-thermal covering at their strengthening and restoration based on tangential dry abrasive jet blowing of the surface with free abrasive is proposed in this article.*

Основным критерием качества газотермического покрытия (ГТП) является его прочность сцепления с основой – адгезионная связь –  $\sigma_{сц}$ . Обеспечение прочности сцепления ГТП с основой прежде всего обусловлено степенью активации поверхностного слоя детали. Неправильно подготовленная поверхность детали не обеспечит прочную адгезионную связь ГТП с основой. Даже местное незначительное точечное по площади наличие адсорбций, не удаленных с этой поверхности, может привести к браку – ГТП при остывании начнет отслаиваться по всей поверхности покрытия. В таких случаях деталь вновь подвергают всем технологическим операциям подготовки поверхности под ГТП, что, естественно, приводит к производственным потерям (дополнительный расход материалов, финансовые затраты и др.).

Одним из распространенных способов подготовки поверхности деталей машин под ГТП в настоящее время является сухая струйно-абразивная обработка поверхности детали с использованием свободного абразивного агента (крошка, дробь и др.).

Технология сухой струйно-абразивной обработки поверхности деталей машин (ССАОПДМ) предусматривает наличие основных позиций:

- специальной камеры для абразивной обработки деталей машин;
- системы сжатого воздуха (0,4...0,6 МПа);
- сопла-пистолета, через который формируется поток воздушно-абразивной струи;
- специального абразивного материала (крошка, дробь и др.);
- системы приточно-вытяжной вентиляции;
- специальной оснастки (приспособлений) для удержания или вращения деталей в момент их абразивной обработки.

Обобщая известный опыт, а также полученные результаты от проведенных исследований по технологии ССАОПДМ под ГТП [3], следует выделить основные показатели, активно влияющие на качество абразивной подготовки рабочей поверхности детали под ГТП:

- химико-физико-механические свойства материала детали (твердость и др.) –  $X_1$ ;
- химико-физико-механические свойства материала абразивного агента (твердость, стойкость к диспергированному разрушению и др.) –  $X_2$ ;
- геометрические параметры абразивного агента (размер зерен, их форма и др.) –  $X_3$ ;
- качество обезжиривания и обезвоживания поверхности детали –  $X_4$ ;
- угол атаки абразивной струи при обдуве поверхности детали –  $\alpha$ ;
- скорость движения абразивного агента в струе –  $V$ ;
- дистанция обдува поверхности детали –  $\ell$ ;
- линейная скорость перемещения участка (пятна) обдуваемой поверхности детали –  $V_{\omega}$ ;
- образующая шероховатость поверхности детали после ее обработки абразивной крошкой –  $R$ ;
- направленность шероховатости на поверхности после ее обработки абразивной крошкой –  $\beta$  (на схеме не показана) и др.

Указанное выше можно представить в следующем виде:

$$\sigma_{сц} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \alpha, V, \ell, V_{\omega}, R, \beta, \dots, y_1, y_2, y_3, \dots), \quad (1)$$

где  $y_1, y_2, y_3, \dots$  – технологические показатели, характеризующие процесс напыления покрытия (режимы напыления, обработка поверхности и др.) – здесь не рассматриваются.

Как видно из (1), получить высококачественное газотермическое покрытие весьма проблематично, что нередко можно наблюдать на практике [3].

Процесс механического взаимодействия между абразивными частицами (зернами) и обрабатываемой поверхностью детали весьма сложен. Характер взаимодействия абразивных частиц с обрабатываемой поверхностью детали с учетом свойств материалов, а также некоторых технологических параметров содержит следующие процессы [1, 2, 3, 6, 7]:

- микрорезание (при  $\frac{h}{r} \geq 0,5$ );
- пластическое отслоение (при  $0,01 < \frac{h}{r} < 0,5$ );
- упругое оттеснение (при  $\frac{h}{r} < 0,01$ ),

где  $h$ ,  $r$  – соответственно означают: глубину внедрения частиц, радиус скругления режущей кромки абразивной частицы, мм.

Проведенный анализ опубликованных работ по вопросам сухой струйно-абразивной активации поверхности деталей машин под ГТП, а также выполненные экспериментально-теоретические исследования [3] позволили установить, что традиционно применяемый способ ССАОПДМ под ГТП носит тенденциозный характер – абразивную струю стремились направлять к обрабатываемой поверхности детали под углами атаки  $\alpha$ , близкими к  $60 \dots 90^\circ$ , вероятно, полагая, что в этих случаях более эффективно используется кинетическая энергия абразивных зерен

$$W_a = 0,5 \sum_{i=1}^n m_i V_i^2, \quad (2)$$

где  $i$  – индекс абразивной частицы;  $n$  – число абразивных частиц, попавших на обрабатываемую поверхность детали;  $m_i$  – масса абразивной частицы;  $V_i$  – скорость абразивной частицы.

Считается, что абразивная частица, интенсивно разрушающая поверхность (что не вызывает возражений), более эффективно активировывает обрабатываемую поверхность детали.

Однако такое движение абразивного агента на обрабатываемую поверхность детали приводит к ряду существенных недостатков, к основным из которых следует отнести [3]:

- неизбежно происходит шаржирование обрабатываемой поверхности детали продуктами разрушения, как абразивных зерен, так и материала детали, что впоследствии в точках шаржирования не обеспечивает прочной связи ГТП с основой;
- в результате прямого удара абразивных частиц о поверхность на последней образуется «наклеп» и впоследствии «перенаклеп» (сгустки дислокаций), что позже, ввиду значительных внутренних напряжений, приводит к отслоению наружного слоя обрабатываемой поверхности детали;
- развитие (рост) амплитуды шероховатости происходит циклично, то есть вначале она увеличивается, достигая максимального значения, а затем плавно снижается, поэтому строго регулировать этот процесс практически не представляется возможным - контроль шероховатости производится оператором «визуально».

Для исключения указанных выше негативных явлений традиционного метода обдувки поверхности детали, когда угол атаки  $\alpha$  лежит в диапазоне  $60 \dots 90^\circ$  – разработан и внедрен новый способ ССАОПДМ под ГТП. Новизна технического решения подтверждена авторскими свидетельствами на изобретения [3,4,5].

Новый способ ССАОПДМ под ГТП предусматривает (содержит) предварительное тщательное удаление всех видов адсорбций с поверхности детали, в том числе тщательное обезжиривание и обезвоживание, кроме окисных пленок, которые впоследствии удаляются абразивной струей. Затем деталь помещают в закрытую электропечь (исключая при этом по-

падание масел и пр. на обработанную поверхность), где выдерживают ее не менее одного часа при постоянной температуре в диапазоне 105...115°C, после чего деталь перемещают в камеру для абразивной обработки, устанавливают в соответствующее приспособление и производят абразивную обработку рабочей поверхности детали.

Положительный эффект при подготовке поверхности детали под ГТП в новом способе достигается за счет исключения шаржирования, наклепа и перенаклепа обрабатываемой поверхности детали путем формирования пакета абразивно-воздушной смеси через щелевое сопло, который тангенциально (по касательной) направляется на обрабатываемую поверхность детали, при этом перед деталью устанавливают экран-отражатель, который закрепляют на уровне верхней кромки щелевого сопла, а детали придают вращение в сторону потока абразивной струи.

На рисунке показана схема обработки детали с цилиндрической рабочей поверхностью.

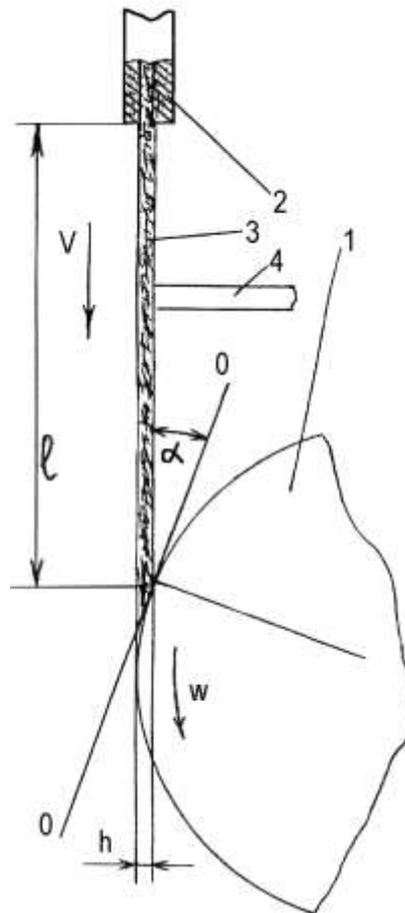


Схема микросъема металла при тангенциальной обработке цилиндрической поверхности сухой абразивной струей через щелевое сопло при вращении детали в сторону движения абразивной струи:

- 1 – деталь с цилиндрической рабочей поверхностью;
- 2 – щелевое сопло; 3 – абразивный агент;
- 4 – экран-отражатель; 0-0 – плоскость сдвига;
- $\alpha$  – угол атаки абразивной струи;
- $h$  – текущий микросъем металла;  $l$  – дистанция обдува;
- $V$  – скорость абразивного зерна в струе (средняя величина);  $\omega$  – частота вращения детали

Общий характер разрушения обрабатываемой детали с цилиндрической рабочей поверхностью пакетом абразивных зерен высокой плотности через щелевое сопло при наличии специального экрана-отражателя по существу является резанием внедряющимся клином, так как струя подается тангенциально (по касательной) к обрабатываемой поверхности.

Из расчетной схемы, представленной на рисунке, имеем:

$$\frac{dh}{d\tau} = c(H - h) , \quad (3)$$

где  $c$  – коэффициент разрушения;  $H$  – допустимый съем металла;  $\tau$  – время;  $h$  – текущий съем металла.

Коэффициент разрушения  $c$  определяется эмпирически и зависит: от скорости движения абразивных зерен в струе, площади следа абразивных зерен, массы абразивных зерен, критического напряжения при разрушении материала основы, температуры поверхности и других факторов.

Учитывая начальные условия

$$h = 0; \quad \tau = 0, \quad (4)$$

решая (3), получим:

$$h = H(1 - \exp(-c\tau)) . \quad (5)$$

Полученное решение (5) с учетом технологических особенностей обработки детали позволяет предварительно принимать основные параметры для получения конечных результатов [3,6].

### Выводы

Предложенный новый способ сухой струйно-абразивной обработки поверхности деталей машин под газотермическое покрытие (газопламенное, плазменное, электродуговое, детонационное) принципиально меняет условия активации обрабатываемой поверхности. Исключаются шаржирование, наклеп и перенаклеп, которые снижают прочность сцепления покрытия с основой. Сформированный воздушно-абразивный поток через щелевое сопло с использованием экрана-отражателя приближает абразивную струю к лезвийному инструменту, обладающему большой разрушающей силой, которой можно управлять как режущей кромкой лезвийного инструмента, при этом регулируется величина микросъема металла, что обеспечивается упорядоченным потоком абразивных зерен.

Указанные преимущества способствуют повышению прочности сцепления ГТП с основой, которое в основном обусловлено механическим зацеплением частиц покрытия с наклонными выступами шероховатой поверхности детали (эффект анкерного зацепления, анкер-якорь).

Новый способ ССАОПДМ под ГТП был эффективно применен в технологии изготовления поршневых колец номинального диаметра:  $\varnothing 61,75$  мм;  $\varnothing 100$  мм;  $\varnothing 355$  мм. Абразивный агент – дробь чугунная колотая ДЧК08 ГОСТ 11964-81. Материал для газотермического (плазменного) покрытия – порошок грануляции 40...100 мкм плакированной конструкции, химической системы  $(Ni) - (Al)$  – ядро алюминия в никелевой оболочке [3, 4, 5].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Золотогоров М.Г. Выбор режимов струйно-абразивной обработки рабочей поверхности поршневых колец под нанесение износостойкого газотермического покрытия / М.Г. Золотогоров, В.А.Красный // Двигателестроение. 1983. № 5. С. 32-33.
2. Лясников В.Н. Плазменное напыление покрытий в производстве электронной техники / В.Н. Лясников, В.С. Украинский, Г.Ф. Богатырев. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1985. 200 с.
3. Мчедлов С.Г. Совершенствование технологии изготовления поршневых колец на основе применения тангенциальной обработки свободным абразивом поверхности под упрочняющее плазменное покрытие: дис. ... канд. техн. наук / С.Г. Мчедлов. Саратов, 2002. 173 с.
4. А.с. 1215967 СССР. Способ абразивной обработки наружной поверхности / С.Г. Мчедлов. Б.И. 1986. № 9. 2 с.
5. А.с. 1635080 СССР. Образец для определения прочности сцепления газотермических покрытий с основным материалом / С.Г. Мчедлов. Б.И. 1989. № 29. 2 с.
6. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. Киев: Техника, 1989. 272 с.
7. Хасуй А. Техника напыления: пер. с яп. / А. Хасуй. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.

**Мчедлов Сурен Георгиевич** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета



---

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 678.674.524

**Р.А. Абдуллаев, Г.П. Овчинникова, С.Е. Артёменко**

### **ПЛАСТИФИКАЦИЯ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ДЛЯ ЕГО ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Рассматривается модификация вторичного полиэтилентерефталата различными пластификаторами для улучшения их физико-химических и физико-механических свойств. Также рассматривается совместимость пластификаторов с полимером. Показана эффективность пластификации для вторичного полиэтилентерефталата.*

**R.A. Abdullayev, G.P. Ovchinnikova, S.E. Artyomenko**

### **PLASTICIZERS OF WASTE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) FOR ITS REPEATED USE**

*The work describes modification of waste PET in different plasticizers for improve its physical, chemical, physical and mechanical properties. The compatibility of plasticizers with polymers is studied here as well. The article shows at the repeated use waste polymers require modification by plasticizers. The affectivity of plasticizers for waste PET is proved here as well.*

Объём перерабатываемых бытовых полимерных отходов в РФ едва достигает 3%, в то время как их выбрасывается в окружающую среду до 30% [1]. Следовательно, весьма актуальна разработка технологии переработки бытовых полимерных отходов. Весомая доля среди них принадлежит полиэтилентерефталату (ПЭТФ).

Существует несколько методов переработки отходов ПЭТФ. Одним из методов является глубокая химическая переработка вторичного ПЭТФ с получением диметилфталата (ДМФ) в процессе метанолиза или терефталевой кислоты и этиленгликоля в ряде гидролитических процессов [2]. Однако такие способы переработки имеют существенный недостаток – дороговизну процесса деполимеризации. Поэтому в настоящее время чаще применяются довольно известные и распространенные механо-химические способы переработки, в процессе которых формируются из расплава полимера изделия различного назначения. Особенно эффективной является переработка модифицированного вторичного полимера.

Целью наших исследований являлась модификация вторичного ПЭТФ с улучшением его свойств путём пластификации.

Объектами исследования были вторичный ПЭТФ (бутылки из-под напитков), в качестве модификаторов дибутилфталат (ДБФ) и полиэтилсилоксановая жидкость (ПЭС-5). Испытания проводились по методикам в соответствии с ГОСТ 4648-71, ГОСТ 4651-82, ГОСТ 11262-80.

Нами показано, что при своём повторном использовании вторичный ПЭТФ требует пластификации. Наиболее распространенными пластификаторами являются сложные эфиры о-фталевой кислоты, применяемые в разнообразных полимерных композициях [3] (табл. 1).

Перечень пластификаторов, рекомендованных в настоящее время рядом стран к применению в полимерах, приведён в табл. 1. Из этих данных видно, что в некоторых западно-европейских странах и США фталаты применяются для полимерных материалов, контактирующих с пищевыми продуктами (упаковочная плёнка, шланги, тара для хранения и транспортирования продовольственных товаров).

Таблица 1

Пластификаторы, рекомендуемые рядом стран для применения в полимерах, соприкасающихся с пищевыми продуктами

Пластификатор	США	Англия	Германия	Нидерланды
Диметил-о-фталат	–	+	–	+
Диэтил-о-фталат	+	–	–	+
Ди-н-бутил-о-фталат	–	+	–	+

При применении пластификаторов особенно важно отсутствие токсичности в полимерных материалах. На основании совместимости пластификаторов с полимерами был использован ряд упрощенных методов. Так, пластифицированный образец полимера расстилают на ровной поверхности, сверху на неё помещают лист белой бумаги и, прижимая его рукой, вытирают поверхность листа. Если на бумаге появляется жирное пятно, то это свидетельствует о несовместимости пластификатора с полимером. Отсутствие пятна на бумаге свидетельствует о совместимости с полимером. Нами обнаружено совмещение вторичного ПЭТФ с ДБФ и ПЭС-5.

По второму методу совместимость вторичного ПЭТФ с пластификатором определяли капиллярным методом. Для этого между двумя параллельными пластинками вкладывали фильтровальную бумагу. В круглое отверстие верхней пластинки диаметром 9 мм помещали смесь, изготовленную из вторичного ПЭТФ и пластификатора. Смесь готовили путём перемешивания и выдерживали при 20°C в течение 3 часов. Вокруг отверстия образовалось пятно правильной формы. Через 2 часа измеряли диаметр пятна, образованного пластификатором [3].

Согласно этому методу, ДБФ относится к умеренно сольватирующим пластификаторам.

По механизму действия молекулы пластификатора могут распределяться между макромолекулами полимера или между их надмолекулярными образованиями.

При исследовании установлены следующие данные (табл. 2).

Как видно из табл. 2, при введении 40% ДБФ увеличивается разрушающее напряжение при сжатии и относительное удлинение, в то время как разрушающее напряжение при изгибе и растяжении остаётся примерно одинаковым, как и при введении 10% ДБФ. Самые лучшие свойства были выявлены при введении 10% ПЭС-5. Увеличивается разрывная нагрузка с 14,4 до 17,5 МПа, относительное удлинение с 3 до 3,4%, разрушающее напряжение при изгибе с 16,6 до 18,2 МПа и ПТР с 24 до 28 г/10 мин.

Так как температура плавления первичного ПЭТФ составляет порядка 248-250°C, то нам удалось отлить образцы из вторичного ПЭТФ (бутылки измельченные из-под напитков) при температуре 140-150° С. Это свидетельствует о том, что перерабатываемость вторичного

ПЭТФ в присутствии модификатора улучшается. Первичный ПЭТФ является очень сложным для переработки в различные изделия из-за высокой температуры плавления и высокой вязкости расплава. Также из табл. 2 видно, что в несколько раз уменьшена вязкость расплава вторичного ПЭТФ и поэтому модификация ПЭС-5 является эффективным способом для различных наименований изделий широкого спектра использования.

Таблица 2

## Физико-механические свойства вторичного ПЭТФ

№ п/п	Полимер	Температура плавл., °С	Плотность, г/см <sup>3</sup>	ПТР, г/10 мин	Разр. напр. при разр., МПа	Отн. удли., %	Разр. напр. при изгибе, МПа	Разр. напр. при сжат., МПа
1.	ПЭТФ первичный	248	1455	8.3*	50	2-4	70	–
2.	ПЭТФ вторичный	140-150	918	24**	14,4	3	–	39,9
3.	ПЭТФ вт. +10% ДБФ	140-150	918	-	12,1	1,94	16,6	29,9
4.	ПЭТФ вт. +40% ДБФ	140-150	918	20**	12,9	2,9	15,5	34,8
5.	ПЭТФ вт. +10% ПЭС-5	140	918	28***	17,5	3,4	18,2	–

Примечание: определено при 265°С; \*\* 260°С; \*\*\* 250°С.

Таким образом, экспериментально показано:

- предел совместимости пластификатора в полимере зависит в первую очередь от химического состава пластификатора, метода переработки и условий эксплуатации пластифицированного полимера;
- пластификация осуществляется на молекулярном уровне и наблюдается при наличии большого термодинамического сродства пластификатора к полимеру;
- при модификации полимера пластификатором уменьшается характеристическая вязкость;
- введение пластификатора во вторичный ПЭТФ улучшает физико-химические свойства;
- технология переработки пластифицированного вторичного ПЭТФ позволяет получать ряд изделий технического или бытового назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пластмассовые отходы, их сбор, сортировка, переработка, оборудование: Промышленный обзор по материалам семинара // Пластические массы. 2001. № 12. С. 3-9.
2. Кузнецов С.В. Вторичные пластики: переработка отходов ПЭТФ бутылок / С.В. Кузнецов // Пластические массы. 2001. № 9. С. 3-7.
3. Барштейн Р.С. Пластификаторы для полимеров / Р.С. Барштейн, В.И. Кирилович, Ю.Е. Носовский. М.: Химия, 1982. 200 с.

**Абдуллаев Равшан Амонуллаевич** – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

**Овчинникова Галина Петровна** –

кандидат химических наук, доцент кафедры «Химическая технология»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Артёменко Серафима Ефимовна** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

УДК 678.5:665.9

**Н.Е. Ковалева, В.И. Бешапошникова, С.Г. Калганова, И.Г. Полушенко,  
Е.В. Жилина, О.Л. Спиридонова, В.А. Лаврентьев**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Изучено влияние СВЧ электромагнитного поля на адгезионное взаимодействие полимерных волокнистых материалов. Установлена зависимость прочности и надежности клеевого соединения текстильных материалов от параметров СВЧ обработки. Определена эффективность применения СВЧ обработки в зависимости от природы полимерного связующего.*

**N.E. Kovaleva, V.I. Beshaposhnikova, S.G. Kalganova, I.G. Polushenko,  
E.V. Zhilina, O.L. Spiridonova, V.A. Lavrentiev**

### **SUPER-HIGH FREQUENCY INFLUENCE ON STRENGTH OF GLUE JOINT OF POLYMER FIBROUS MATERIALS**

*The influence of super-high frequency radiation on adhesive interaction of polymer fibrous materials was studied here. The dependence of strength and reliability of glue joint of textile materials on parameters of super-high frequency treatment was established. The efficiency of super-high frequency treatment depending on nature of polymer binder was defined in this article.*

Большинство исследований в области повышения прочности клеевых соединений полимерных волокнистых материалов различными связующими направлены на разработку разного рода воздействий на структуру и свойства субстрата и адгезива [1, 2]. Исследования в этой области проводятся по нескольким направлениям, в том числе: применение поверхностно-активных веществ, плазменной обработки, воздействие токами высокой частоты, индуцированной энергии УФ, ИК и лазерного излучений, с целью повышения сродства и взаимодействия адгезива с субстратом [3, 4].

Для повышения прочности клеевого соединения изучались возможность и целесообразность применения сверхвысокочастотного электромагнитного поля (СВЧ ЭМП), которое,

как известно, широко применяется при тепловой обработке различных материалов, в том числе текстильных.

Объектами исследований являлись: в качестве ткани верха одежды – костюмная полшерстяная ткань арт. 22722; основа термоклеевого прокладочного материала (ТКПМ) – хлопчатобумажная ткань арт. 7067; сополиамидная паутинка (СПА); акриловая пленка АК-622; полиэтилен высокого давления (ПЭ) в виде порошка дисперсностью 0,2-0,5 мм.

Модификацию образцов осуществляли на модульной конвейерной установке комбинированного СВЧ и теплового воздействия с регулировкой уровня и продолжительности процесса обработки, которая позволяет:

- исследовать влияние режимов модифицирующего СВЧ воздействия электромагнитного поля на объекты разного агрегатного состояния и формы (жидкие, вязкие, твердые, в том числе сыпучие, ленточные, объемные и др.);
- фиксировать изменение характеристик технологических свойств исследуемого объекта при тепловом, нетепловом и комбинированном воздействии;
- проводить сопоставление последствий теплового, конвективного, лучистого и СВЧ воздействий на исследуемый диэлектрик [5].

Комплексное исследование модифицирующего воздействия СВЧ электромагнитных колебаний дает возможность определить не только наличие специфического нетеплового воздействия СВЧ излучения на конкретные диэлектрики, но и спрогнозировать его применение в технологических процессах промышленного масштаба.

Исследовано влияние времени СВЧ воздействия на адгезионное взаимодействие полимерных материалов при параллельной ориентации образцов относительно линий напряженности электрического поля  $E$  электромагнитной волны. Воздействие СВЧ ЭМП на объект осуществляли двумя способами: обрабатывали ткань верха арт. 22722, а затем ее дублировали ТКПМ; обрабатывали пакет материалов, то есть ткань верха арт. 22722 + адгезив + х/б ткань арт. 7067, а затем их дублировали на прессе.

Результаты исследований показали, что прочность клеевых соединений зависит от природы полимера адгезива, способа обработки, времени СВЧ воздействия и мощности СВЧ ЭМП (рис. 1-3).

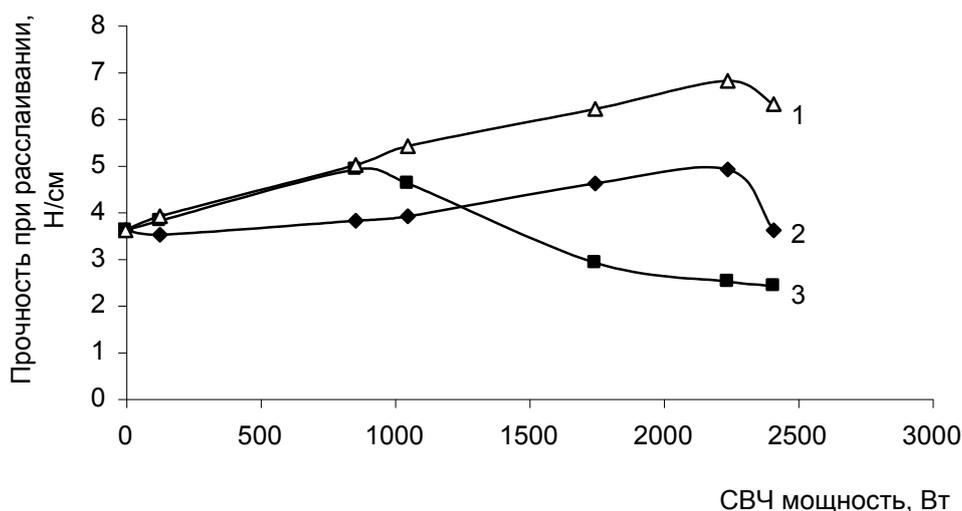


Рис. 1. Зависимость прочности клеевого соединения (СПА паутинкой) от мощности СВЧ ЭМП и способа обработки: 1 – ткань арт. 22722 + СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 5$  с); 2 – ткань арт. 22722 + СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 10,4$  с); 3 – ткань арт. 22722 + СПА паутинка + ткань арт. 7067 одновременно обработаны СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 5$  с).

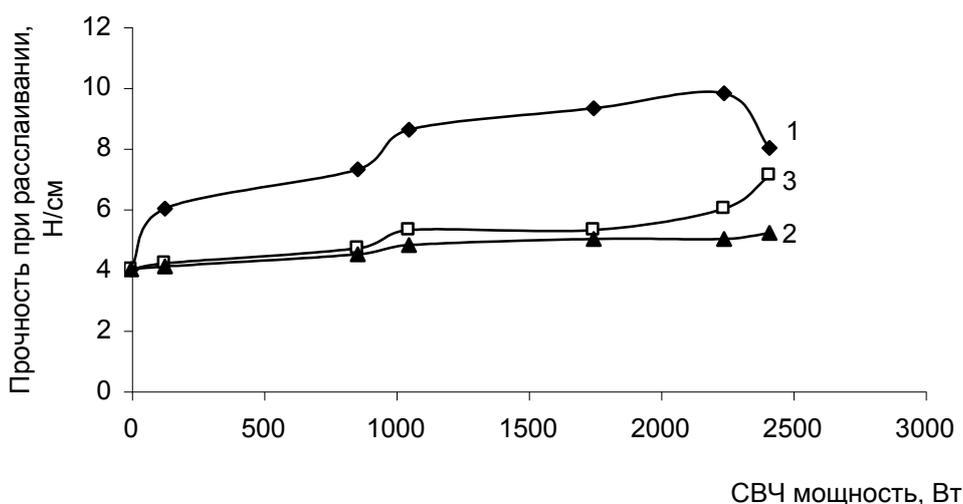


Рис. 2. Зависимость прочности клеевого соединения (АК-622) от мощности СВЧ ЭМП и способа обработки: 1 – ткань арт. 22722 + СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}}=5$  с); 2 – ткань арт. 22722 + СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}}=10,4$  с); 3 – ткань арт. 22722 + связующее АК-622 + ткань арт. 7067 одновременно обработаны СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 5$  с)

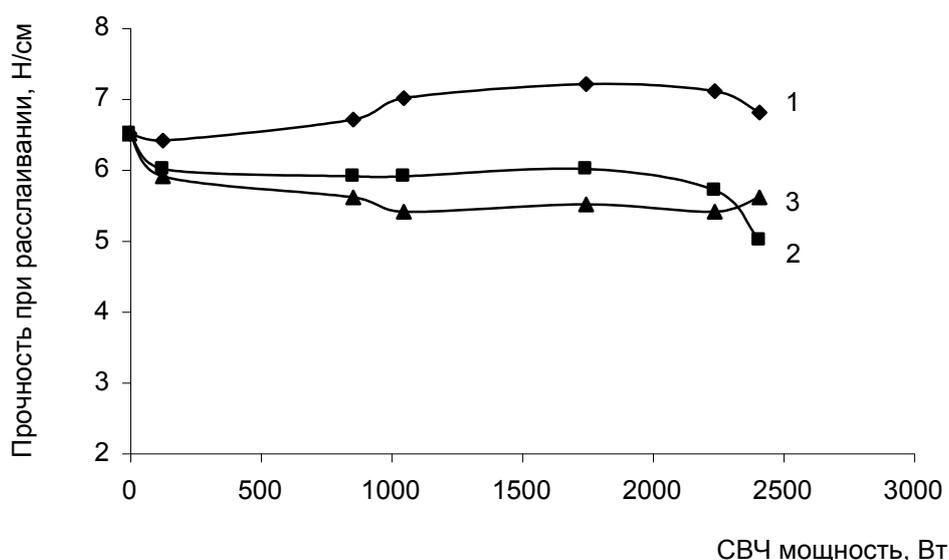


Рис. 3. Зависимость прочности клеевого соединения (ПЭ порошок) от мощности СВЧ ЭМП и способа обработки: 1 – ткань арт. 22722 + СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 5$  с); 2 – ткань арт. 22722 + СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 10,4$  с); 3 – ткань арт. 22722 + ПЭ связующее + ткань арт. 7067 одновременно обработаны СВЧ ( $\tau_{\text{СВЧ}} = 5$  с)

Установлено, что с увеличением мощности СВЧ ЭМП прочность клеевого соединения возрастает и имеет экстремум при 2241 Вт для СПА и АК-622 и 1050 Вт – для ПЭ порошка.

Предварительная обработка СВЧ ЭМП текстильного материала ткани арт. 22722 в течение 5 с, а затем ее дублирование исследуемыми адгезивами приводят к повышению прочности при расслаивании клеевого соединения на 88% для СПА паутинки, в 2,4 раза при дублировании пленкой АК-622 и на 9% при соединении текстильных материалов ПЭ порошком.

С увеличением времени обработки в 2 раза, то есть до 10,4 с, при одинаковой генерируемой мощности СВЧ обработки прочность клеевого соединения для ПЭ порошка снижается с 6,5 до 5 Н/см, для АК-622 прочность возрастает лишь на 77%, а для СПА на 36%. Выявленные различия в прочности адгезионного взаимодействия при обработке в СВЧ ЭМП в течение 5 и 10,4 с можно интерпретировать следующим образом. При воздействии СВЧ ЭМП в течение 5 с значительное повышение прочности клеевого соединения может быть обусловлено удалением адсорбционной влаги из структуры текстильного материала, за счет разрыва водородных связей между молекулами воды и С=О и другими полярными группами текстильного материала, и появлением на его поверхности освободившихся реакционноспособных групп, которые взаимодействуют с химически активными группами адгезива. Удаление адсорбированной влаги подтверждается уменьшением массы образцов после СВЧ воздействия.

Дальнейшее повышение времени СВЧ ЭМП обработки до 10,4 с приводит к снижению достигнутого эффекта (по-видимому, за счет того, что освободившиеся активные центры приобретают энергию, которая способствует образованию межмолекулярных связей в волокнообразующем полимере), то есть к дополнительному структурированию. Об этом свидетельствует повышение прочности ткани после СВЧ ЭМП воздействия на 17%. В результате количество активных центров, способных взаимодействовать с адгезивом, снижается, поэтому и прочность клеевого соединения уменьшается, по сравнению с обработанным в течение 5 с.

Уменьшение прочности клеевого соединения, при предварительной обработке СВЧ ЭМП в течение 5 с пакета одежды, состоящего из ткани верха арт. 22722, адгезива и прокладочной ткани арт. 7067, может быть обусловлено структурированием, то есть дополнительным сшиванием структуры адгезива и уменьшением его текучести. Показатель текучести расплава в результате воздействия СВЧ ЭМП снижается на 30-40%.

Высокая эффективность применения СВЧ ЭМП при дублировании СПА и АК-622 по сравнению с ПЭ, по-видимому, обусловлена наличием большого числа полярных групп в их макромолекуле, которые легко взаимодействуют с активными центрами текстильного материала.

### Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена высокая эффективность обработки поверхности текстильных материалов в СВЧ ЭМП с целью повышения адгезионного взаимодействия с полимерными клеями, применяемыми в производстве одежды для придания формоустойчивости.

Определены параметры СВЧ обработки объектов: генерируемая мощность 2241 Вт, продолжительность обработки 5 с, при которых прочность клеевого соединения текстильных материалов значительно возрастает. Отмечено влияние на прочность клеевого соединения природы адгезива и адсорбированной влаги в структуре текстильного материала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев В.Е. Теоретическое обоснование и разработка процессов склеивания текстильных материалов: дис. ... д-ра техн. наук / В.Е. Кузьмичев. Иваново, 1995. 329 с.
2. Бабарина Е.Е. Совершенствование технологии клеевого соединения / Е.Е. Бабарина, В.В. Веселов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2003. № 1. С. 86-88.
3. Гускина Н.Е. Исследование влияния лазерного излучения на прочность клеевого соединения полимерных волокнистых материалов / Н.Е. Гускина, В.И. Бешапошникова, И.Г. Полушенко // Доклады Междунар. симпозиума Восточно-азиатских стран по полимерным композиционным материалам и передовым технологиям (Композиты XXI века). Саратов, 2005. С. 185-188.

4. Лобов В.И. Улучшение адгезионных свойств синтетических тканей в результате воздействия на них низкотемпературной плазмы / В.И. Лобов, А.П. Стенюшин, С.М. Резинова // Современные проблемы текстильной и легкой промышленности: тез. докл. межвуз. науч.-техн. конф. М., 2000. Ч. 2. С. 115.

5. Калганова С.Г. Модульная автоматизированная конвейерная установка комбинированного СВЧ и теплового воздействия на исследуемые материалы / С.Г. Калганова // Перспективы и тенденции развития электротехнического оборудования: труды Междунар. симпозиума «Элмаш – 2004». М., 2004. С. 75-78.

**Ковалева Надежда Евгеньевна –**

аспирантка, ассистент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Бешапошникова Валентина Иосифовна –**

кандидат технических наук, доцент,  
докторант кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Калганова Светлана Геннадьевна –**

кандидат технических наук, доцент,  
докторант кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы»  
Саратовского государственного технического университета

**Полушенко Ирина Гарьевна –**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Жилина Елена Владимировна –**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Спиридонова Ольга Леонидовна –**

старший преподаватель кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Лаврентьев Владимир Александрович –**

ассистент кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы»  
Саратовского государственного технического университета

---

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 681.5

С.А. Игнатъев, И.В. Нестерова, А.А. Игнатъев

## МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*Рассматривается вопрос управления производственной системой на основе введения автоматизированного учета фактического динамического состояния оборудования и возможности корректировки технологического процесса.*

S.A. Ignatyev, I.V. Nesterova, A.A. Ignatyev

## METHODICAL ENSURING OF MACHINE TOOLS DYNAMIC CONDITION AUTOMIZED ESTIMATION IN THE MONITORING SYSTEM FOR ADJUSTING A MASTER SCHEDULE

*The question of running of the industrial system on an introduction base of an actual condition automatized registration of the equipment and possibility of a master schedule adjusting is considered in this article.*

Качество продукта планируется при разработке как самого продукта, так и технологического процесса (ТП) его изготовления. Этот этап создания с заданным потребителем требованиями соответствует в производстве разработке конструкторско-технологической документации. После этого производитель в процессе изготовления старается воспроизвести продукт с запланированными значениями параметров качества, которые называются показателями качества. Когда в процессе производства начинают воплощать качество, намеченное в технических условиях и, в свою очередь, запрограммированное в конструкторской документации, иногда случается, что изделие не удастся изготовить в точном соответствии с этой документацией. Если рассмотреть партию изделий, то в ней обнаружится разброс значений в выходных показателях качества. На многих предприятиях различных стран успешно функционируют системы управления качеством выпускаемой продукции, такие как SQC (Statistical Quality Control), TQC (Total Quality Management), ISO 9000 и PI (Product Innovation) и ряд других [1]. Тем не менее, в выпускаемой продукции наблюдаются вариации качества деталей и повторяющиеся случаи дефектов одного рода, высокие издержки на поддержку качества, недостаточная надежность и сложность оборудования.

Качество продукции машиностроения, в том числе в подшипниковом производстве, определяется качеством ТП, который должен обладать высокой степенью надежности и гарантированно обеспечивать параметры изготавливаемых изделий. Наиболее важной составной частью ТП являются автоматизированные металлорежущие станки (МРС), технический уровень которых определяет возможности предприятия по выпуску конкурентоспособной продукции и эффективность производства [2].

Одним из способов управления качеством шлифования является мониторинг ТП. В ОАО «Саратовский подшипниковый завод» впервые в подшипниковой промышленности используется новый метод статистического управления процессами – мониторинг технологических процессов шлифования. Понятие мониторинга, сформулированное А.В. Пушем, включает диагностику, идентификацию, прогнозирование и управление состоянием станочной системы на основе анализа информации, а также принятие решения о корректировке [3]. Мониторинг процесса шлифования направлен на обеспечение качества деталей технологическими средствами, когда результаты измерений определяющих параметров способствуют предупреждению появления брака вместо его фиксирования. Одной из актуальных задач является разработка метода автоматизированной оценки технического состояния шлифовального оборудования по виброакустическим колебаниям (ВА), а также корректировка на основе полученных данных маршрута технологического процесса колец подшипников в системе механообработки [4].

Качество обработки при шлифовании во многом определяется уровнем и спектром относительных колебаний абразивного круга и заготовки. Наиболее мощным источником вибраций в зоне резания является дисбаланс круга, непрерывно изменяющийся во времени обработки и вызывающий вынужденные колебания на частоте вращения круга и кратных ей частотах. Результаты измерений уровня вибраций шлифовального станка SWaAGL-50 № 438 при различных значениях дисбаланса круга и точности обработки колец подшипников 46109.02 (отклонение от круглости, волнистость) приведены на рис. 1.

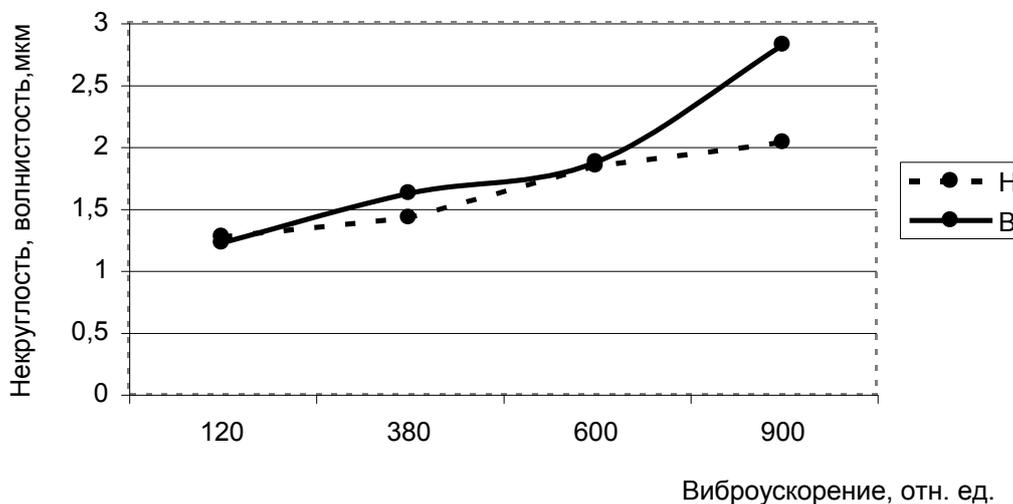


Рис. 1. Зависимость точности обработки колец подшипников от уровня вибраций

Соответственно, в условиях производства (в частности – многономенклатурного), необходимо оперативно решать ряд взаимосвязанных технических и технологических задач, связанных с оценкой технического состояния прецизионного оборудования, автоматизацией измерений, обработки и формирования корректирующих воздействий в систему планирования ТП в рамках АСУ ТП.

Для организации мониторинга ТП производства подшипников потребовались разработка и внедрение новых автоматизированных технических средств – виброизмерительного комплекса и приборов вихретокового контроля [5]. Однако помимо аппаратного, метрологи-

ческого, информационного обеспечения мониторинга ТП, немаловажным является и методическое обеспечение.

Методика мониторинга технологического оборудования и ТП шлифовальной обработки основана на результатах научных исследований, выполненных в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» в цехах, изготавливающих кольца подшипников. В качестве показателей динамического состояния шлифовальных станков и реализуемых ими технологических процессов выбран спектр вибрации жесткой опоры обрабатываемого кольца, а также размерная точность, точность формы шлифованных поверхностей (отклонение от круглости, гранность, волнистость, шероховатость) и физико-механические свойства поверхностного слоя обработанных деталей [6].

Методическое обеспечение системы мониторинга ТП (СМТП) и системы планирования ТП, представленное на рис. 2, подразделяется на четыре блока. Основу структуры системы мониторинга шлифовального оборудования и ТП обработки колец подшипников составляет группа контрольно-измерительных операций – автоматизированный контроль динамического состояния каждого станка до и в процессе обработки по уровню вибраций шпиндельных узлов (ШУ), автоматизированный контроль однородности структуры поверхностного слоя дорожек качения колец вихретоковым методом, измерение волнистости, отклонения от круглости дорожек качения.

В ОАО «Саратовский подшипниковый завод» в комплексе с автоматизированным вихретоковым контролем физико-механических свойств поверхностного слоя шлифованных деталей успешно применяется экспериментальный образец прибора активного контроля, функции которого расширены и позволяют автоматически контролировать динамическое состояние станка путем анализа вибраций жесткой опоры детали с помощью встроенного датчика [7].

Для получения электронной карты диагностирования станков (общий уровень вибрации (ОУВ) в контрольных точках) с помощью виброизмерительной аппаратуры проводится обучающий эксперимент (блок 1). По результатам обучающего эксперимента формируется эталонное (номинальное) значение динамических характеристик ШУ узлов для каждого станка (*i*-го) и выбирается эталонный станок в каждой из групп оборудования. Помимо этого формируется балльная оценка станка и балльная оценка качества обработанной поверхности [8].

Обучающий эксперимент проводился на шлифовальных станках-автоматах моделей SIW-5 и SWaAGL-50 с помощью датчиков ДН-4, фиксирующих виброускорение в диапазоне 1...4000 Гц, и компьютера типа Notebook. Вибродатчики устанавливались с помощью магнитных опор вблизи зоны резания на ШУ инструмента и опоре кольца как наиболее информативных точках, выявленных в процессе предварительных экспериментов.

Уровень вибрационных характеристик остальных станков, участвующих в обучающем эксперименте, таких как SIW-5 № 242, № 243, № 249 (цех 15), SIW-4 № 295 (цех 26м), SWaAGL-50 № 105, № 106, № 81, № 241 (цех 13), превышает указанные в 2...5 раз. С учетом полученных данных сформирована таблица соответствия общего уровня вибрации на опоре кольца и баллов для станков моделей SWaAGL (см. таблицу).

Соответствие уровня вибрации на опоре кольца и баллов для моделей SWaAGL

Баллы по динамическому состоянию	ОУВ вибрации на опоре кольца, 1отн. ед.= $10^{-3}$ мс <sup>-2</sup>	Неоднородность поверхностного слоя (баллы)	Допуск формы, мкм	Квалитет точности размера
	Круглошлифовальные станки мод. SWaAGL			
4	до 300	8-9	1,6	3
3	до 700	6-7	2,5	4
2	до 1200	4-5	4	5
1	до 1800	2-3	6	6

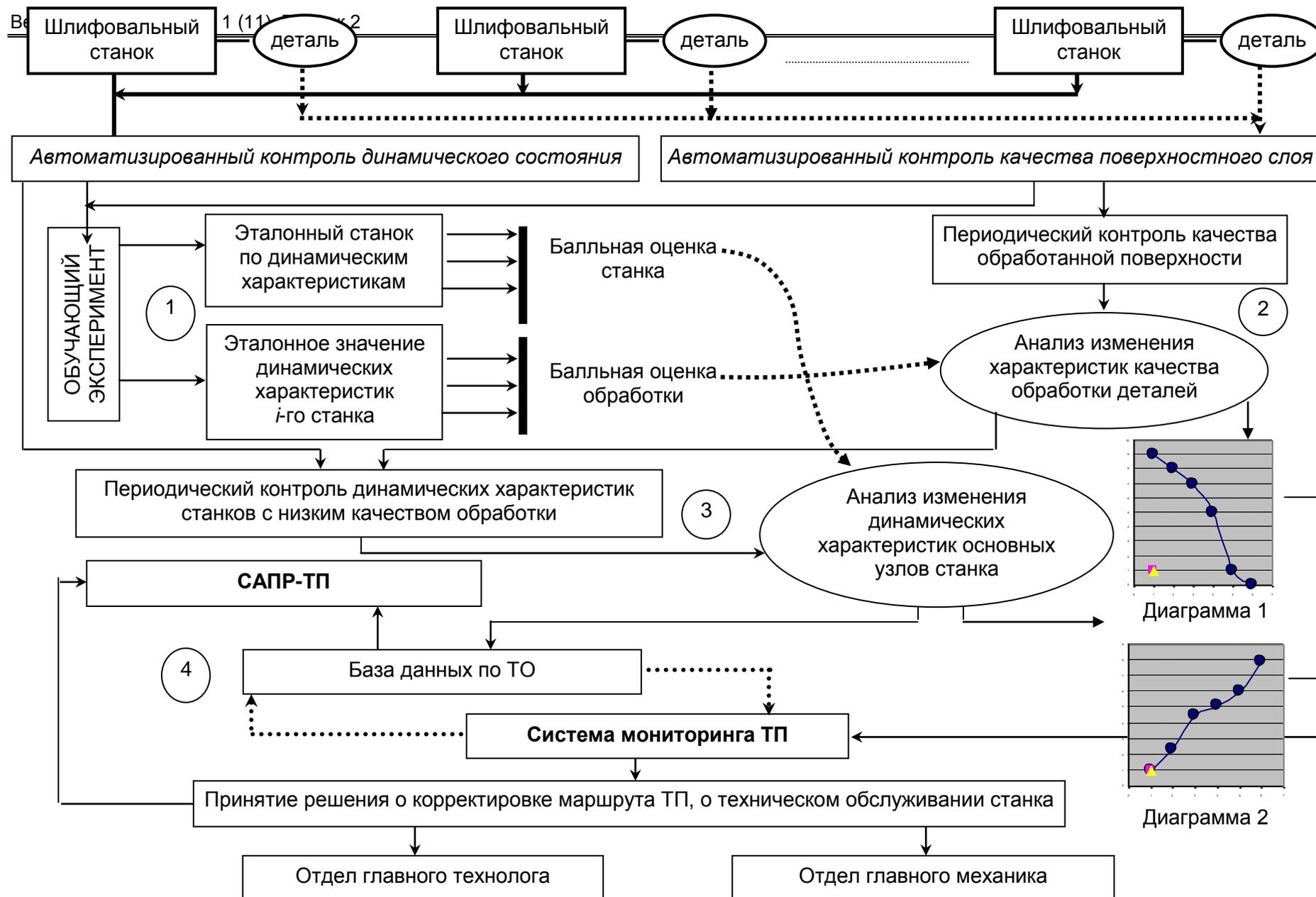


Рис. 2. Методическое обеспечение системы мониторинга ТП и системы планирования ТП

В таблице для наружных колец  $\varnothing 50 \dots 80$  мм содержатся баллы по динамическому состоянию, ОУВ вибрации на опоре кольца, неоднородность поверхностного слоя (в баллах), допуск формы, качество точности размера. Подобная система балльной оценки может быть сформирована для других моделей станков, а также может уточняться по мере совершенствования системы мониторинга.

Разработанная четырехбалльная система оценки позволяет в автоматизированном режиме характеризовать возможность станка обеспечить заданные параметры качества поверхности и является определяющим моментом в формировании корректирующего воздействия в базу знаний системы планирования для дальнейшей корректировки маршрута ТП [9]. Оценка качества поверхностного слоя производится по вихретоковому образу в виде разверток сканируемых поверхностей, на которых яркостью и цветом выделяются локальные и периодические неоднородности поверхностного слоя детали, а также в виде девятибалльной оценки неоднородности поверхностного слоя. Значения системы балльной оценки по каждой группе оборудования хранятся в базе данных по технологическому оборудованию (БДТО).

Сравнение и анализ изменения характеристик качества обработки деталей, полученных при периодическом контроле качества обработанной поверхности, с балльной оценкой станков, полученной с помощью обучающего эксперимента, позволяет выявить станки, не обеспечивающие требуемое качество обработки (блок 2).

Далее проводится периодический контроль динамических характеристик станков с низким качеством обработки (блок 3) с помощью разработанного метода автоматизированной оценки динамического состояния шлифовальных станков. Принципиально возможны два подхода для контроля динамического состояния станков по ВА колебаниям. Первый подход базируется на периодическом контроле выбранного информационного параметра и сравнении его значения с пороговым, полученным на стадии обучающего эксперимента. Этот способ рекомендуется использовать для однотипных станков. Вторым подходом является в постоянном контроле изменений значений выбранного информационного параметра, характеризующего изменение динамического состояния станка и его узлов. Использование второго подхода предполагает оснащение системы активного контроля встроенными вибродатчиками и позволяет регистрировать и накапливать результаты измерений в СМТП.

Для достоверности автоматизированной оценки динамического качества станка необходимо обрабатывать результаты измеренных амплитуд вибраций станков и точности изготовленных деталей в реальном масштабе времени. Алгоритм автоматизированной оценки динамического состояния шлифовальных станков представлен на рис. 3.

Посредством встроенного датчика прибора активного контроля фиксируется ОУВ на опоре кольца в диапазоне до 4 кГц. Программным способом посредством фильтрации полученного сигнала выделяется также уровень вибрации на частоте вращения шпинделя круга (УВЧВ). Данные с регистрируемыми в автоматическом режиме ВА колебаниями станков хранятся в базе данных по технологическому оборудованию (БДТО) системы мониторинга и сравниваются с ВА колебаниями, полученными в результате обучающего эксперимента. После выявления факта изменения (уменьшения) балла для данного станка учитываются баллы поверхностного слоя колец подшипников. В случае, если качество поверхностного слоя колец подшипников остается нормальным (7-9 баллов), то продолжается в автоматическом режиме регистрация ОУВ на опоре кольца. В противном случае (1-6 баллов) необходимо производить автоматизированный контроль вибраций внешними средствами на ШУ круга и ШУ детали и рекомендовать станок с повышенным уровнем колебаний к диагностированию с возможным техническим обслуживанием, а также формировать из БДТО корректирующее воздействие в базу знаний системы планирования для дальнейшей корректировки маршрута ТП.

Использование метода автоматизированной оценки динамических характеристик станка по ВА колебаниям в комплексе с автоматизированным вихретоковым контролем неоднородности поверхностного слоя шлифованных деталей не просто увеличивает объем ин-

формации о ТП, но и позволяет повысить эффективность управления шлифованием за счет корректировки базы знаний системы планирования [10].

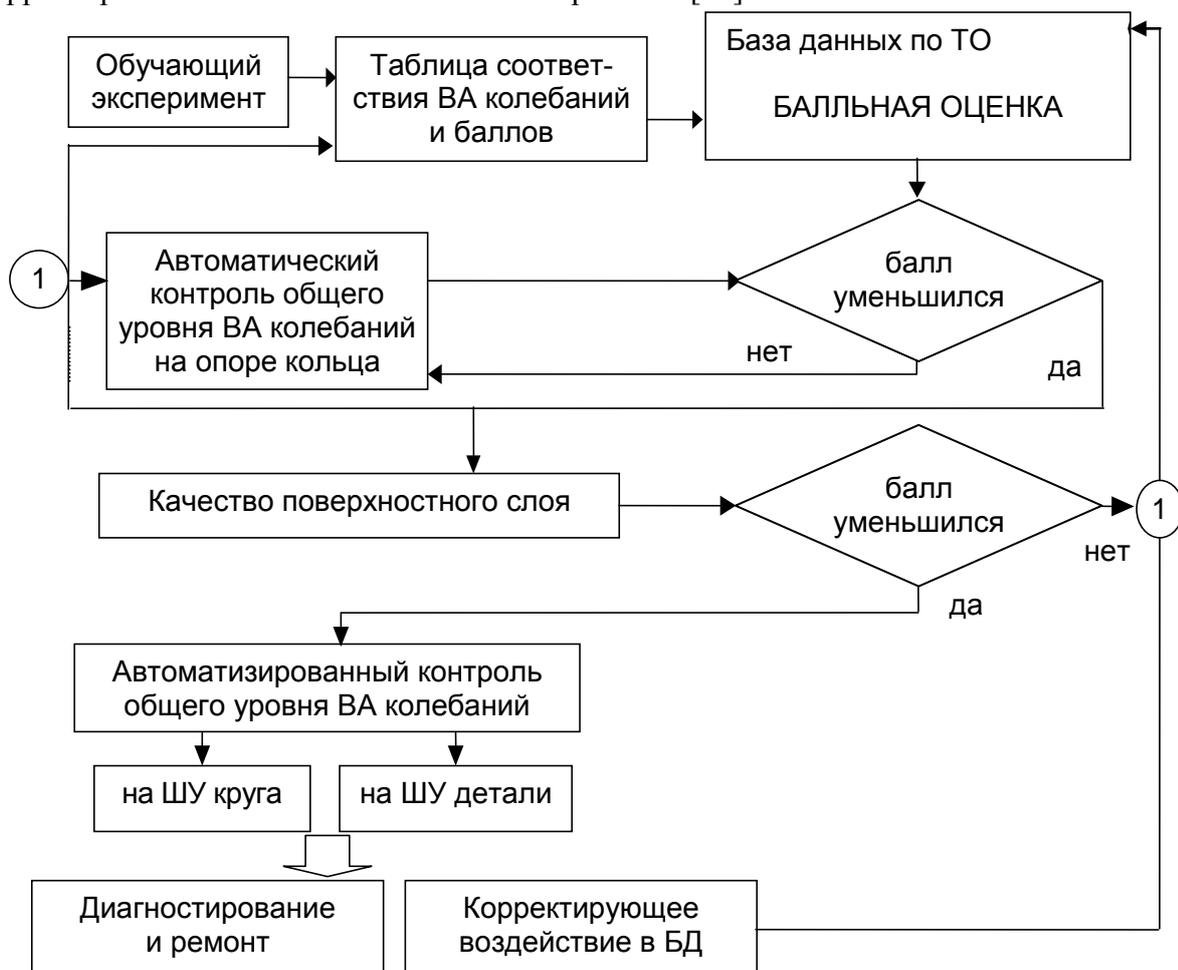


Рис. 3. Алгоритм автоматизированной оценки динамического состояния шлифовальных станков

Результаты сравнения и анализа изменения динамических характеристик, полученных при периодическом контроле в выбранных точках, и балльная оценка станков сохраняются в базе данных по технологическому оборудованию (БДТО). Современные возможности микропроцессорной и компьютерной техники с учетом статистической обработки информации из СМТП позволяют формировать диаграммы качества обработанных поверхностей и ОУВ колебаний станков в реальном масштабе времени (диаграмма 1, диаграмма 2). Систематизация накопленных результатов системы мониторинга дает возможность оценивать реальное динамическое состояние станков и давать рекомендации для ремонта по текущему состоянию станков, а также корректировать маршрут обработки в САПР ТП путем обновления данных базы знаний системы планирования (блок 4).

Использование метода автоматизированной оценки динамического состояния шлифовального станка по уровню ВА колебаний, автоматически снимаемых в информативных точках контроля, позволяет связать качество обработки с уровнем вибрации основных формообразующих узлов станка для принятия решения о его дальнейшем использовании в ТП, что обеспечивает максимальную загрузку оборудования в соответствии с его техническим состоянием, и соответственно снижает число бракованных деталей.

Интеграция САПР и АСУ ТП требует глубокой перестройки всей организации, пересмотра взаимоотношений между отдельными обслуживающими подразделениями, кардинального совершенствования управления материальными и информационными потоками, а также переподготовки инженерно-технического персонала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. М.: Радио и связь, 1999. 600 с.
2. Игнатъев А.А. Совершенствование системы управления качеством продукции на основе системы мониторинга технологического процесса / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, С.А. Игнатъев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2005. С. 81-87.
3. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков и станочных систем / А.В. Пуш // СТИН. 2000. № 9. С. 12-20.
4. Бочкарев П.Ю. Автоматизированный выбор технологического оборудования в АСУТП при шлифовании деталей / П.Ю. Бочкарев, И.В. Нестерова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-18: сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. Казань: Казан. гос. ун-т, 2005. С. 62-65.
5. Автоматизированная система вихретокового контроля деталей подшипников / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, С.И. Зайцев, С.А. Игнатъев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2005. № 2 (7). С. 114-122.
6. Игнатъев А.А. Управление точностью и производительностью обработки колец подшипников на шлифовальных автоматах / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, О.В. Горбунова // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1999. С. 66-69.
7. Игнатъев А.А. Мониторинг технологического процесса на основании автоматизированного контроля динамических характеристик станков / А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, С.А. Игнатъев // СТИН. 2005. № 7. С. 3-7.
8. Игнатъев А.А. Оценка технологического состояния шлифовального станка посредством балльной системы / А.А. Игнатъев, И.В. Нестерова // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2004. С. 113-116.
9. Нестерова И.В. Корректировка технологического маршрута с учетом технического состояния станков / И.В. Нестерова, С.А. Игнатъев // Теплофизические и технологические аспекты управления качеством в машиностроении: тр. Всерос. конф. Тольятти: ТГУ, 2005. С. 296-298.
10. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.

**Игнатъев Станислав Александрович –**

кандидат технических наук,  
ассистент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Нестерова Илона Викторовна –**

аспирантка кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Игнатъев Александр Анатольевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

---

УДК 004.415.2

**Е.А. Черткова**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ**

*Рассматривается технология объектно-ориентированного анализа и проектирования компьютерных обучающих систем в контексте использования языка моделирования UML и процесса разработки Rational Unified Process. Приводятся результаты визуального моделирования системы с использованием CASE-средства Rational Rose.*

**E.A. Chertkova**

### **ANALYSIS AUTOMATION AND COMPUTER TEACHING SYSTEMS DESIGN**

*A technology of object-oriented analysis and projecting of computer education systems is depicted. It is done in the context of modeling language UML and Rational Unified Process program. Results of visual modeling using Case-tools of rational Rose are reviewed as well.*

#### **Введение**

Развитие современных информационных технологий определяет постоянное возрастание сложности программного обеспечения автоматизированных систем, в том числе и компьютерных обучающих систем. Современные крупные проекты в этой области характеризуют, как правило, следующие особенности:

- сложность описания (большое количество функций, процессов, элементов данных и сложные взаимосвязи между ними), требующая тщательного моделирования и анализа данных и процессов;
- наличие совокупности взаимодействующих информационных и программных компонентов (модулей) компьютерной обучающей системы, имеющих локальные задачи и цели функционирования (например, модуль генерации учебно-тренировочных заданий, модуль представления моделей обучаемых и протоколов их работы) и т.д.

Стратегические проблемы, поставленные развивающимися компьютерными технологиями обучения, могут быть решены с помощью объектно-ориентированного подхода к анализу и проектированию программных и информационных компонентов электронных средств

обучения с использованием современного языка моделирования, CASE-средств и соответствующего им процесса разработки.

Выбор средств поддержки автоматизированного проектирования компьютерных обучающих систем должен быть продиктован целями, потребностями и ограничениями будущего проекта (включая квалификацию участвующих в процессе проектирования специалистов). При этом определяющим фактором выбора инструментария являются используемые методы и технологии проектирования.

Язык моделирования, дополненный руководящими принципами для использования системы обозначений, методологическими основами их применения, процедурами для решения вопросов моделирования предметной области и требований, становится методом анализа и проектирования систем. Таким языком является UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования), разработанный компанией Rational Software Corporation для унификации лучших свойств, которыми обладали более ранние методы и способы нотации.

Для автоматизации проектирования компьютерных обучающих систем представляется целесообразным выбор CASE-средства Rational Rose, основанного на языке UML. При этом в качестве технологии программной инженерии, обеспечивающей определенную структуру жизненного цикла проекта, рекомендуется процесс Rational Unified Process, – итеративный, архитектурно-центрический и основанный на прецедентах процесс.

Предложенный подход должен обеспечить использование преимуществ объектно-ориентированных методов на уровне анализа и проектирования и, соответственно, заложить прочные основы для применения языка моделирования и объектно-ориентированных технологий в управлении учебным процессом.

### Технологический процесс анализа и проектирования

По определению Р. Ходгсона, процесс разработки системы – это процесс осмысления изобретения и реализации, в соответствии с которым предметная область осмысливается и постигается через феномен, понятия, сущности, действия, роли и утверждения [1]. Это осмысление полностью соответствует анализу.

Однако понимание предметной области также влечет за собой одновременно осмысление структуры, компонентов, вычислительных моделей и других интеллектуальных построений, которые учитываются в области допустимых решений. Эта изобретательская деятельность полностью тождественна процессу проектирования.

В соответствии с концепциями, положенными в основу инженерии программного обеспечения, на технологическом этапе анализа и проектирования компьютерных обучающих систем осуществляется перевод системных требований в технические инструкции, указывающие, как реализовать систему. Для этого следует понять требования и преобразовать их в проект системы, выбрав при этом лучшую стратегию реализации.

Для технологического процесса анализа и проектирования компьютерных обучающих систем на основе Rational Unified Process реализуются две фазы процесса: *Начало* и *Уточнение* [2]. На начальной фазе создания проекта анализируется предметная область с точки зрения проектируемой системы. Свойства системы исследуются на высоком уровне и документируются. Затем определяются действующие лица и прецеденты без детализации потоков событий. При использовании Rational Rose на начальной стадии проекта должны быть определены и документированы исполнители и прецеденты. Строятся диаграммы прецедентов, показывающие связи между ними и подлежащие дальнейшему обсуждению и детализации [3]. В этой фазе проекта в основном разрабатывается план последующих итераций, который описывает, какие прецеденты на каких итерациях должны быть реализованы.

Особого внимания в контексте полной задачи анализа и проектирования компьютерных обучающих систем на языке UML заслуживает моделирование предметной области, в которой

должны быть представлены наиболее существенные абстракции и данные, которые требуются для понимания предметной области в контексте текущих требований [4]. С помощью такой модели можно досконально разобраться в предметной области, в понятиях, терминологии и взаимосвязях между различными элементами компьютерной обучающей системы.

Выявленные классы предметной области используются в дальнейшем при описании прецедентов и при определении внутренних классов системы в ходе анализа и проектирования. Результат анализа прецедентов дает нам возможность добавить в диаграмму предметной области атрибуты для классов. Источником информации для добавления новых атрибутов являются текстовые описания прецедентов, в которых выделяются поля и их описания, являющиеся основой для новых атрибутов.

На рис. 1 приведен фрагмент разработанной модели предметной области компьютерной обучающей системы, основанной на объединении концептуальных классов, ассоциаций и атрибутов.

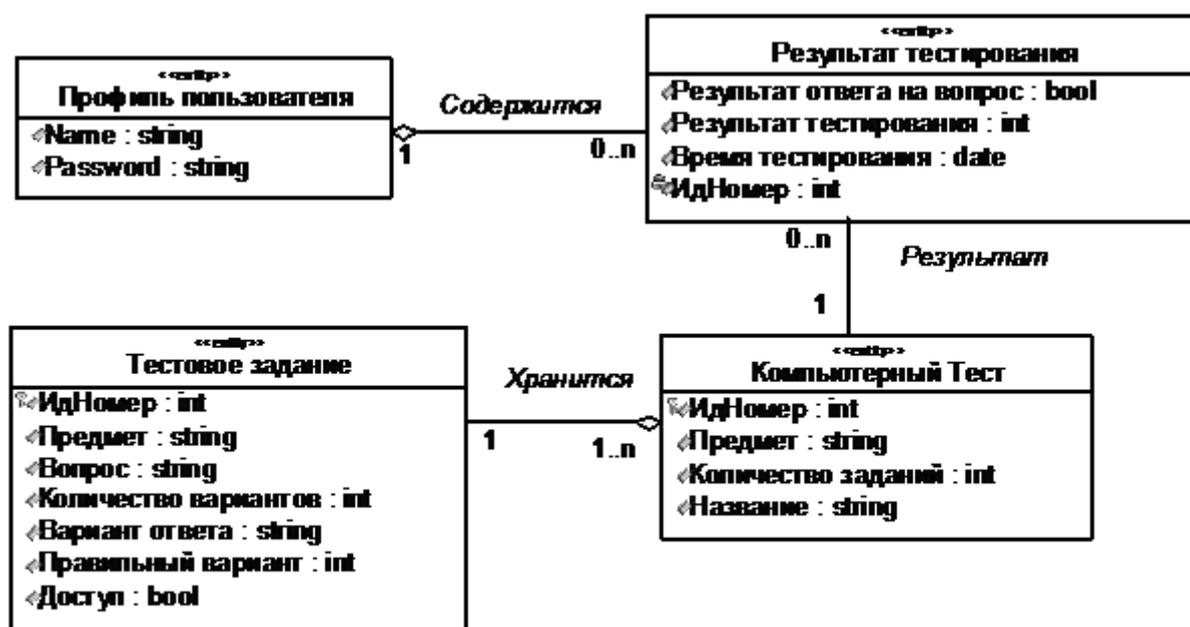


Рис. 1. Фрагмент модели предметной области компьютерной обучающей системы

В фазе уточнения проекта выполняются планирование, анализ и проектирование архитектуры. Следуя плану итерации, уточнение проводится для каждого варианта использования в текущей итерации. Уточнение включает в себя такие аспекты проекта, как кодирование прототипов (coding proofs-of-concept), разработка тестовых прецедентов и принятие решений по проекту.

Основная задача фазы уточнения – детализация прецедентов. Предъявляемые к прецедентам требования низкого уровня предусматривают описание потока обработки данных внутри них, выявление действующих лиц, разработку диаграмм взаимодействия (последовательности и кооперации) для графического отображения потока обработки данных, а также определение всех переходов состояний, которые могут иметь место в рамках одного прецедента.

Так как уточнение – это детализация требований к системе, модель прецедентов может потребовать обновления. Диаграммы последовательности и кооперативные диаграммы помогают проиллюстрировать поток обработки данных при его детализации. С их помощью можно также спроектировать требуемые для системы объекты. Разработанные диаграммы последовательности и кооперации для отдельного прецедента в проекте компьютерной обучающей системы представлены соответственно на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Диаграмма последовательности для прецедента «Работа с тренажером»

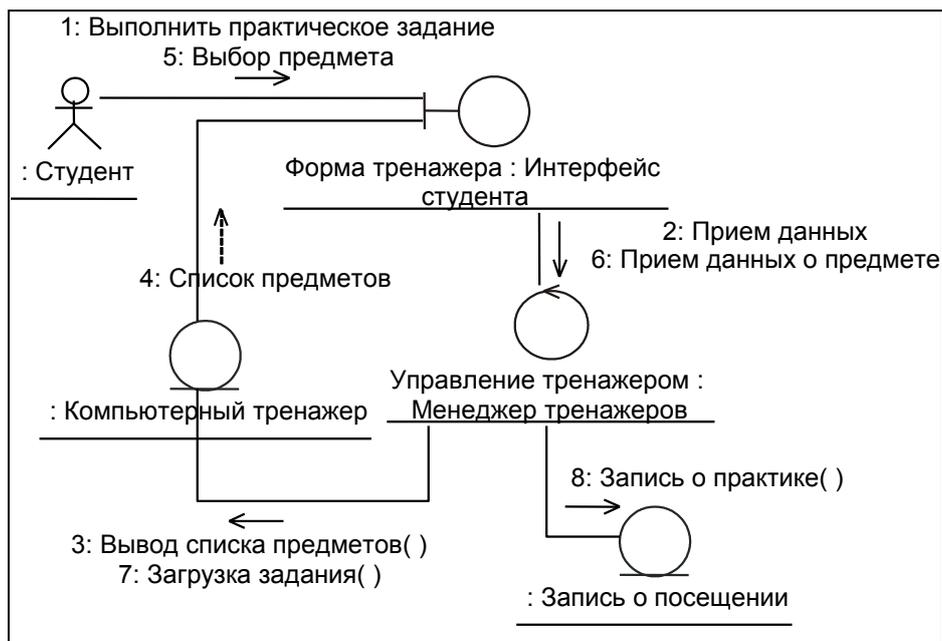


Рис. 3. Диаграмма кооперации для прецедента «Работа с тренажером»

Следует отметить, что анализ диаграмм кооперации необходим для следующих операций:

- проверки правильности составления диаграммы последовательности;
- оценки и соотнесения отдельных классов с определенными стереотипами;
- более очевидного контроля связей между объектами и выявления пропущенных ошибок.

Кроме того, в этой фазе проектируются диаграммы классов, описывающие объекты, которые необходимо создать. Полный анализ диаграмм взаимодействия дает возможность дополнить диаграмму классов операциями и, тем самым, получить законченную модель проектирования. Фрагмент модели проектирования компьютерной обучающей системы, разработанной в Rational Rose, представлен на рис. 4.

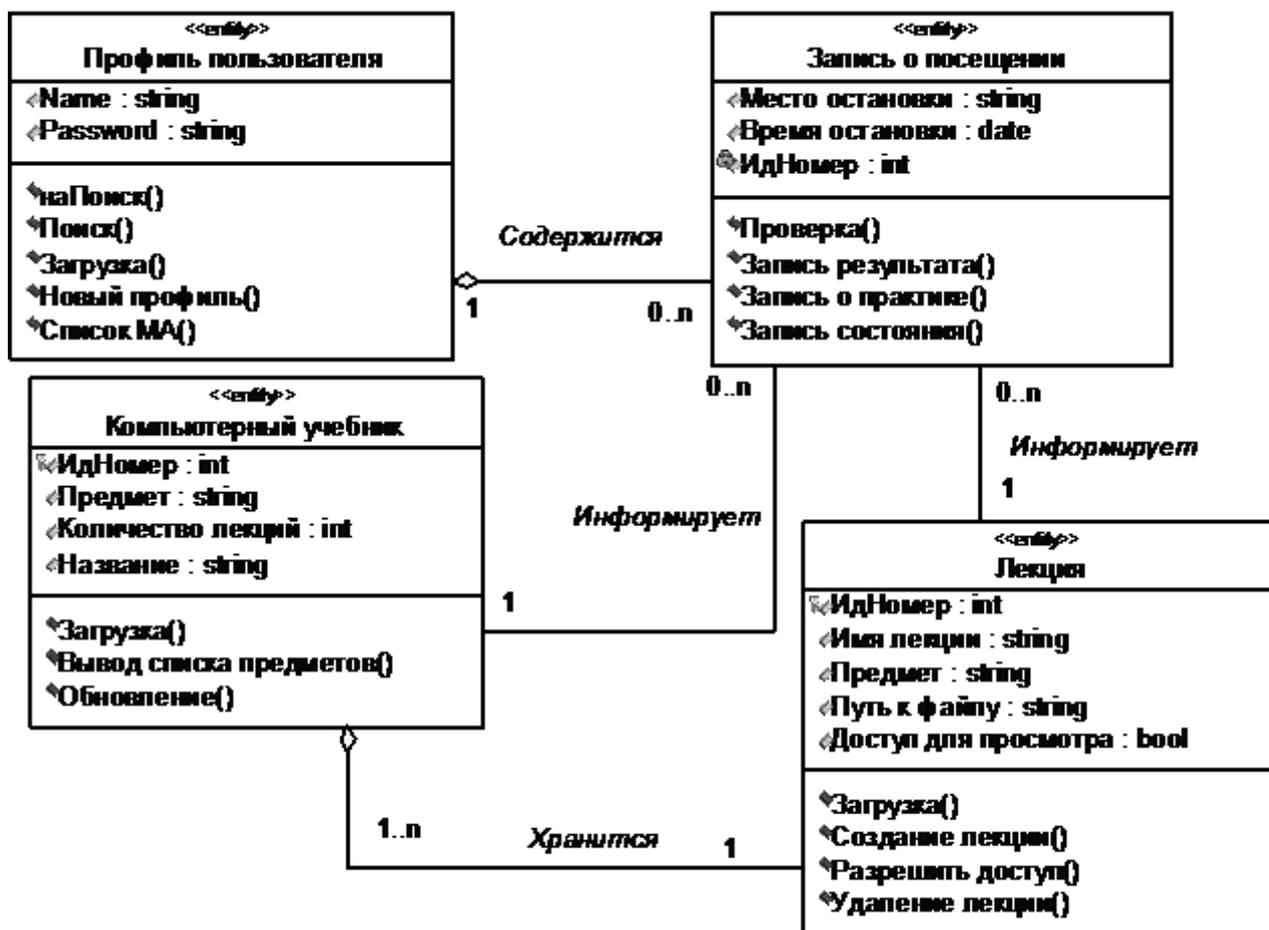


Рис. 4. Фрагмент модели проектирования компьютерной обучающей системы

Следует отметить, что операции на диаграмме классов автоматически появляются и прикрепляются к объектам и, соответственно, классам, содержащим эти объекты, после построения диаграмм взаимодействия. При этом осуществляется уточнение связей между классами, а именно: кратность и ролевые имена связей.

Фаза уточнения предполагает подготовку проекта системы для передачи разработчикам, которые начнут ее конструирование. Эта фаза завершается, когда прецеденты полностью детализированы и одобрены пользователями, прототипы завершены настолько, чтобы уменьшить риски, разработаны диаграммы классов. Иными словами, эта фаза пройдена, когда система спроектирована, рассмотрена и готова для передачи разработчикам.

Эта модель проектирования представляет основу для получения каркаса базы данных компьютерной обучающей системы, диаграмма которой может быть получена в Rational Rose. Результатом являются построение диаграммы «сущность-связь» и последующая генерация описания базы данных на языке SQL.

### Заключение

В результате объектно-ориентированного анализа и проектирования создается полная проектная модель компьютерной обучающей системы.

Конструкции языка UML позволяют моделировать статику (структуру) и динамику (поведение) компьютерной обучающей системы. Система представляется в виде взаимодействующих объектов (программных модулей), которые реагируют на внешние события. Дей-

ствия объектов позволяют выполнить определенные задачи или получить пользователям системы некоторый полезный результат. Отдельные модели отображают определенные стороны системы и пренебрегают другими сторонами, которые охватывают другие модели. Взятые в комплексе модели обеспечивают полное описание системы.

Использование Rational Rose – мощного инструмента анализа и проектирования объектно-ориентированных программных систем – позволяет моделировать компьютерную обучающую систему до написания кода с адекватным отражением архитектуры проектируемой системы. С помощью готовой модели недостатки проекта легко обнаружить на стадии, когда их исправление еще не требует значительных затрат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hodgson R. Finding, Building and Reusing Object / R. Hodgson// Proceedings of Object Oriented Design, Unicom Seminars, Uxbridge, 1990.
2. Крачтен Ф. Введение в Rational Unified Process: пер. с англ. / Ф. Крачтен. М.: Издат. дом «Вильямс», 2002. 240 с.
3. Черткова Е.А. Разработка компьютерных обучающих систем / Е.А. Черткова. Саратов: СГТУ, 2005. 176 с.
4. Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования: пер. с англ. / К. Ларман. М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. 624 с.

#### **Черткова Елена Александровна –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая кибернетика и автоматика» Московского государственного университета инженерной экологии.

## **ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

---

УДК 621.039

**П.Л. Ипатов, В.И. Игнатов, В.А. Михальчук, Е.А. Ларин, В.А. Хрусталеv**

### **БЕЗОПАСНОСТЬ И СИСТЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭС С ВВЭР – ОСНОВА РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

*Дальнейшее развитие АЭС с ВВЭР в России может быть устойчивым при безусловном выполнении растущих требований безопасности и общей экономической эффективности. В статье рассмотрены важнейшие условия обеспечения этих требований – управление запроектными авариями и повышение коэффициента использования установленной мощности.*

**P.L. Ipatov, V.I. Ignatov, V.A. Mikhailchuk, E.A. Larin, V.A. Chrustalev**

### **NPP WITH WWER SAFETY AND SISTEM EFFICIENCY IS THE BASIS OF RUSSIAN ATOMIC ENERGY DEVELOPMENT**

*Russia's NPP further development can be stable in case of ever increasing safety demands and general economical efficiencys are satisfied. And this article describes prospective ways to meet demands – control over project accidents and increasing load capacity factor.*

Намерения по дальнейшему более интенсивному развитию атомно-энергетической отрасли России, отчетливо заявленные высшим руководством России в конце 2005 года, требуют дополнительного научно-технического обоснования рациональных, менее затратных, но более эффективных в системном понимании путей и методов повышения важнейших характеристик развития АЭС – безопасности и эффективности.

Именно при обеспечении достаточно высокого (и непрерывно растущего) уровня этих показателей рост доли энерговыработки на АЭС в энергосистемах России поможет достигнуть основных преследуемых целей – стабилизации энергообеспечения страны и регионов, поддержания высокого уровня экспорта углеводородного сырья при благоприятной прогнозной конъюнктуре. Как следствие этого, будет повышен темп социально-экономического развития, обеспечивающий рост ВВП вдвое к 2010 году с сопутствующим улучшением социальных стандартов и качества жизни всех слоев населения. При этом в полном объеме будут выполнены соглашения, подписанные Россией в рамках Киотского протокола.

Вопросам инвестиционной привлекательности проектов АЭС, необходимости сбалансированности общегосударственных и региональных интересов, повышению требований к площадкам и, собственно, атомным станциям в аспектах безопасности и эффективности уде-

лено значительное внимание в монографии [1], где сформулированы общие требования к энергоэффективным проектам АЭС.

Важнейшими факторами при этом, как отмечалось в [1], являются, прежде всего, решения научных задач повышения безопасности и эффективности как в условиях эксплуатации действующих и расширяемых АЭС, так и при проектировании новых станций.

По нашему мнению, в области безопасности такой научной задачей, успешное решение которой может быть достигнуто только совместными усилиями ученых и эксплуатационников, является управление запроектными авариями на основе современных подходов, методов, процессов и технологий. Результатом таких разработок является рост предотвращаемых ущербов, как последствий тяжелых аварий, или снижение приведенных рисков (рис. 1) [3].

В области обеспечения эффективности важнейшее значение имеют научно-практические разработки по повышению коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ) [4, 5]. Здесь следует выделить два направления исследований: реструктуризация потребительского рынка в энергообъединениях, где работают АЭС, с целью выделения для них базовых зон графиков нагрузки, а также мероприятия и меры, обеспечивающие внутреннюю готовность АЭС к работе с высокими КИУМ (рис. 2).

В рамках данной статьи не ставится задача детального освещения и решения двух названных проблем, однако необходимо остановиться на некоторых определяющих моментах их решения.

Анализ запроектных аварий (ЗА) с повреждением активной зоны (АЗ) должен вестись комбинированным путем – как вероятностными, так и детерминированными методами.

Сегодня имеются достаточные научные и практические данные по прогнозированию разупрочнения материалов, работающих в условиях вибрации, коррозии, различных видов эрозии, термоусталости, нейтронного охрупчивания, механических напряжений разного типа и других воздействий. Владение методами уточненной оценки ресурса ответственных элементов, возможности его своевременного и безопасного продления, ограничение и снижение негативной роли «человеческого фактора» в общих причинах тяжелых аварий и другие проявления культуры безопасности позволяют в процессе эксплуатации реализовать так называемый «активный вероятностный анализ безопасности» (АВАБ), опирающийся на обоснованные текущим состоянием, в значительной мере детерминированные оценки частоты отказов отдельных важных элементов и систем безопасности в целом.

Это позволит как избавиться от излишней консервативности подходов современных ВАБ разных уровней, так и снизить излишний «оптимизм» в ряде исследуемых аварийных ситуаций. При этом еще более увеличивается значимость уточненных нейтронно-физических, динамических и теплогидравлических расчетов стадий и процессов аварий, включая аварийные истечения пара, опрессовки и другие события.

Решения по системам безопасности новых энергоблоков АЭС должны приниматься на основе принципа разумной достаточности. В основе его – соотношение затрат в повышение безопасности, например, снижение частоты плавлений активной зоны (ПАЗ) или другого принятого параметра и обеспечиваемого снижения риска (в области оптимизации индивидуального риска, но в любом случае ниже границы его социально-приемлемого значения).

Сегодня существуют достаточно полные методики оценки потенциальных ущербов от событий ЗА с ПАЗ, но в них весьма ограниченно учтен комплекс внешних системных факторов. Прежде всего, необходим учет возможных экономических потерь, связанных с принятием жестких решений по ограничению (полному прекращению) сооружения АЭС в России в случае события еще одной тяжелой аварии. Именно такой подход был характерен при определении «цены вопроса» безопасности АЭС в США после аварии на «Три-майл-айленд». Для России свертывание программы развития ядерно-энергетической отрасли практически равнозначно снижению валютных поступлений от экспорта углеводородного топлива при сложившихся на европейском рынке ценах. Кроме того, это вызовет непреодолимые в ближайшей перспективе трудности с покрытием растущего электропотребления в основных экономических районах европейской части России из-за отсутствия реальных альтернатив роста энерговыработки.



Рис. 1. Схема научного обоснования системного эффекта управления запроектными авариями

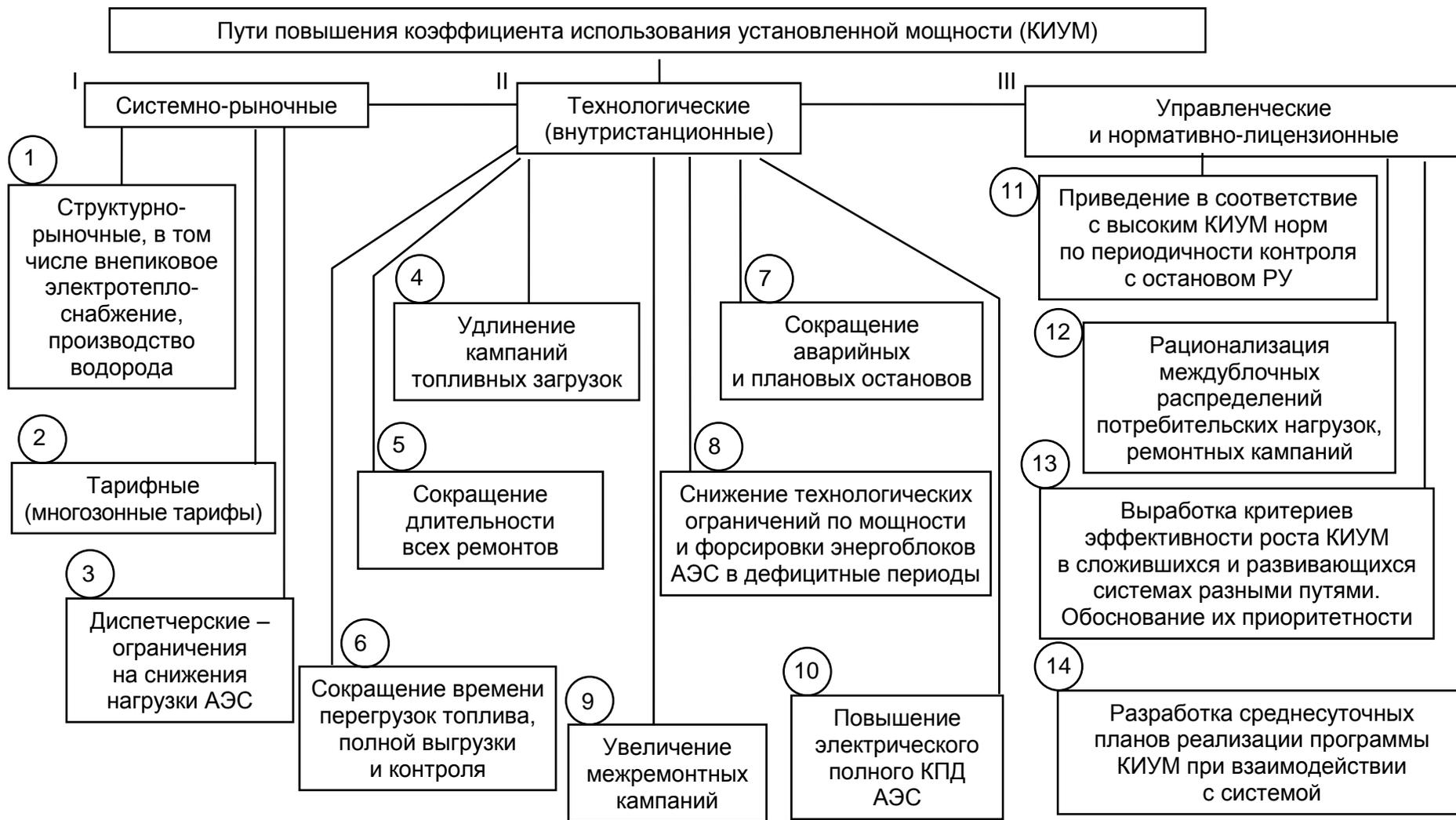


Рис. 2. Основные пути повышения КИУМ энергоблоков АЭС

Укрупненно оцениваемый на основе средневероятностных критериев (Сэвиджа, Лапласа и др.) ущерб от нарушения выбранного сценария развития атомной энергетики следует отнести к одному событию ЗА с тяжелым исходом. Это существенно повышает потенциальный ущерб от любого события ЗА и сдвигает зону оптимальных решений в сторону более дорогостоящих и сложных систем безопасности.

В части административно-управленческих решений, способствующих снижению частоты ЗА с ПАЗ, отметим переход к симптомно-ориентированному методу управления ЗА вместо причинно-событийного метода. Подобный переход осуществлен для энергоблоков 1-4 Балаковской АЭС с использованием базовых принципов, разработанных фирмой Дженерал Электрик. Опыт тестирования при противоаварийных тренингах показал существенно лучшие результаты персонала при использовании симптомно-ориентированных методов локализации и перевода ЗА к проектным сценариям.

Весьма важны также критерии оценки эффективности и приоритетности мероприятий по снижению частоты ПАЗ. Нами предложен в качестве критерия индекс эффективности – отношение затрат в проектирование, сооружение, эксплуатацию дополнительной системы безопасности к ожидаемому за принятый срок службы дополнительный предотвращаемый ущерб (в вероятностном исчислении). В США для подобных оценок применяют ряд критериев, например, удельные затраты в первый год увеличения средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ) среднестатистического индивидуума. И в том, и другом случае важна полнота учета комплексности влияющих факторов. Например, учет влияния вышеупомянутых экономических потерь от вероятного (частичного или полного) отказа от дальнейшего развития или прекращения эксплуатации АЭС в масштабе государства на уровень реальных душевых доходов граждан, социальные стандарты и др.

В США и других странах рассматриваются варианты перераспределения части средств на безопасность АЭС в сопредельные области жизнедеятельности, где также формируется риск, но показатели эффективности снижения риска могут прогнозироваться как устойчиво более высокие, чем в атомной энергетике. В России, в подобного рода «замещающих» расчетах пригодным показателем могла бы стать величина «цены спасения жизни» (ЦСЖ) – средневзвешенные затраты по разным отраслям жизнедеятельности, вносящим ощутимый вклад в суммарное годовое число летальных (или условно летальных) исходов, в снижение этого числа на 1, то есть в спасение жизни каждого дополнительного индивидуума. Этот показатель успешно использован нами при оценке системного эффекта управления запроектными авариями. В отличие от рекомендуемой нормы, устанавливающей эквивалент поглощения дозы в 1 чел.зв одному чел.год недожития (НРБ-99), использование ЦСЖ дает более реальную основу для оценок социальной составляющей ущерба запроектных аварий. Таким образом, планирование очередности и объема мероприятий по снижению частот ЗА на действующих энергоблоках, а также выработка новых требований безопасности к проектам АЭС должны базироваться на основе системного анализа и сопоставления функций «затраты – выигрыш», схема которого укрупненно представлена на рис. 1.

Важнейшим вопросом системной (общегосударственной, а не только внутренней) эффективности АЭС является задача повышения их загруженности в годовом периоде по выработке электроэнергии, то есть коэффициента использования установленной мощности. Эта задача может быть решена по трем направлениям (рис. 2): с одной стороны (внешней) – реструктуризацией рынка потребления и генерацией всеми доступными путями для базовых графиков нагрузки АЭС, с другой – обеспечением возможностей оборудования энергоблоков АЭС нести нагрузки с высокими КИУМ по условиям длительной прочности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и других характеристик, с третьей – приведением в соответствие нормативной документации в части, препятствующей увеличению длительности безостановочной работы частичных топливных загрузок (из-за необходимой жесткой периодичности контроля оборудования с остановом РУ), повышению мощности энергоблоков в дефицитные для энергосистемы периоды (из-за ограничений на рост тепловой мощности РУ выше установленного предела) и др.

Наибольшие возможности технологического роста КИУМ заключаются в сокращении длительности всех видов ремонтов при безусловном выполнении нормируемого их объема и повышении качества, удлинении кампаний частичных топливных загрузок при обеспечении более длительной, чем в обычных кампаниях, работоспособности твэлов, сокращении времени перегрузок топлива, полной выгрузки и контроля (в случаях, когда именно эти операции лимитируют КИУМ), работы энергоблоков АЭС со сверхноминальной мощностью в дефицитные периоды. Для определения эффективности и сравнительной приоритетности разных путей технологического обеспечения высоких КИУМ следует выбрать отношение затрат в разработку, реализацию и эксплуатацию предлагаемых мероприятий и реального системного выигрыша от них в рассматриваемом интервале времени. В последнем случае к выигрышу будут отнесены не только экономически бесспорные преимущества, но и повышенный КПД от более высокой среднегодовой загрузки энергоблоков, а также снижение топливной и ремонтной составляющей годовых затрат в производство электроэнергии блоками. Вместе с тем, некоторый возможный рост потребного резерва в системе может снизить ожидаемый эффект.

Необходим комплекс НИР, который позволил бы дать обоснованные решения по приведенным выше вопросам повышения безопасности и эффективности АЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность инвестиционных проектов АЭС в регионах / под общ. ред. П.Л. Ипатова. М.: Энергоатомиздат, 2005. 165 с.
2. Игнатов В.И. Разработка руководства по управлению запроектными авариями на Балаковской АЭС / В.И. Игнатов, А.В. Михальчук, В.С. Севастьянов // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергии: сб. докл. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. М.: ВНИИАЭС, 2001. С. 49-58.
3. Основные положения симптомно-ориентированного метода управления авариями на АЭС с ВВЭР / В.И. Игнатов, Е.А. Ларин, А.В. Михальчук, В.А. Хрусталева // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. Вып. 1. Общонаучные вопросы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. С. 135-140.
4. Ермолаев А.И. Анализ возможности эксплуатации четырехблочной АЭС в режиме исключения средних и капитальных ремонтов в зимний период / А.И. Ермолаев, А.В. Михальчук // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: сб. докл. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИИАЭС, 2001. С. 28-35.
5. Ермолаев А.И. Сравнительная оценка способов повышения КИУМ энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-1000 / А.И. Ермолаев, А.В. Михальчук // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. Вып. 1. Общонаучные вопросы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. С. 115-122.

**Ипатов Павел Леонидович** –  
кандидат технических наук,  
вице-президент Союза территорий и предприятий атомной энергетики России

**Игнатов Виктор Игоревич** –  
директор Балаковской АЭС

**Михальчук Александр Васильевич** –  
заместитель главного инженера Балаковской АЭС

**Ларин Евгений Александрович** –  
кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика»  
Саратовского государственного технического университета

**Хрусталева Владимир Александрович** –  
доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые энергетические станции»  
Саратовского государственного технического университета

## ЭКОЛОГИЯ

---

УДК 628.33:665.6

**Б.Н. Яковлев**

### **УТОЧНЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ КАНАЛИЗАЦИОННЫМИ ОЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ СТАНЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ**

*В результате проведенных исследований даны рекомендации по безопасным разрывам между очистными сооружениями механической очистки нефтеперерабатывающих заводов.*

**B.N. Jakovlev**

### **SPECIFICATION OF SAFE DISTANCES BETWEEN SEWER CLEARING CONSTRUCTIONS OF STATIONS MECHANICAL CLEARING OF INDUSTRIAL SEWAGE ON OIL REFINING FACTORIES**

*The researches resulted in recommendations are given here on safe breaks between clearing constructions of mechanical clearing of oil refining factories.*

Эксплуатация канализационных сооружений по очистке производственных сточных вод ведется в условиях поступления в них большого количества различных легковоспламеняющихся, горючих и вредных для человека и окружающей среды веществ. Сточные воды в результате испарения, химических и биохимических реакций выделяют значительное количество газов и паров, поэтому канализационные системы, включая и очистные сооружения, могут явиться источником пожаров и взрывов, отравления людей, повышенной загазованности окружающей среды. Особенно большое количество пожаро- и взрывоопасных, а также вредных и ядовитых газов и паров выделяют производственные, химически загрязненные сточные воды [ 1, 2, 3 ].

Планировка канализационных очистных сооружений производится с учетом взрывобезопасности, а также противопожарных норм и санитарных требований. В настоящее время предусматриваются следующие разрывы между сооружениями: от узла очистки сточных вод до технологических установок предприятий – 40-45 м; от открытых емкостей для стоков, содержащих взрывоопасные компоненты, до сооружений, обслуживающих эти емкости – 20 м; между открытыми емкостными сооружениями разного назначения – 20 м; между сооружениями одного вида – 10 м. Последнее относится к взаимному расположению очистных соору-

жений: отстойников, бензомаслоуловителей, нефтеловушек, расстояние между которыми принимается равным 10 м. Однако в нормативных и других материалах по проектированию очистных сооружений эта величина не обоснована. Она должна назначаться исходя из фактической взрывопожарной опасности этих сооружений.

С целью уточнения минимального безопасного расстояния между отстойниками, нефтеловушками и бензомаслоуловителями, обеспечивающего взрывопожаробезопасность, были проведены многочисленные замеры концентраций парогазовоздушных смесей (ПГВС) нефти и нефтепродуктов на территории этих сооружений.

Исследования проводились на действующих очистных сооружениях станций механической очистки производственных сточных вод ряда нефтеперерабатывающих заводов.

Измерения концентраций ПГВС в воздушных зонах на территории очистных сооружений проводились по разработанной методике в разное время года, при различных температурах воздуха и стоков, при разных направлениях и скоростях ветра и т.д. Это было обосновано тем, что в разное время года температуры промстоков и окружающей среды, а, следовательно, и испарения с поверхности промстоков ЛВЖ и ГЖ различны; также по времени меняется состав и количество промстоков.

Отбор проб ПГВС производился на территории очистных сооружений в точках, расположенных по периметру обследованных сооружений на расстояниях от 1 до 10 м, через каждый метр. Расстояния между точками по периметру были равны 4-6 м. В каждой выбранной точке замеры проводились не менее 3-5 раз.

По полученным данным были построены различные схемы загазованности территории очистных сооружений обследованных предприятий, представленные линиями равных концентраций. Из всех построенных схем загазованности были выбраны наиболее опасные, характеризующиеся наибольшими концентрациями.

Одна из таких «опасных» схем загазованности показана на рис. 1.

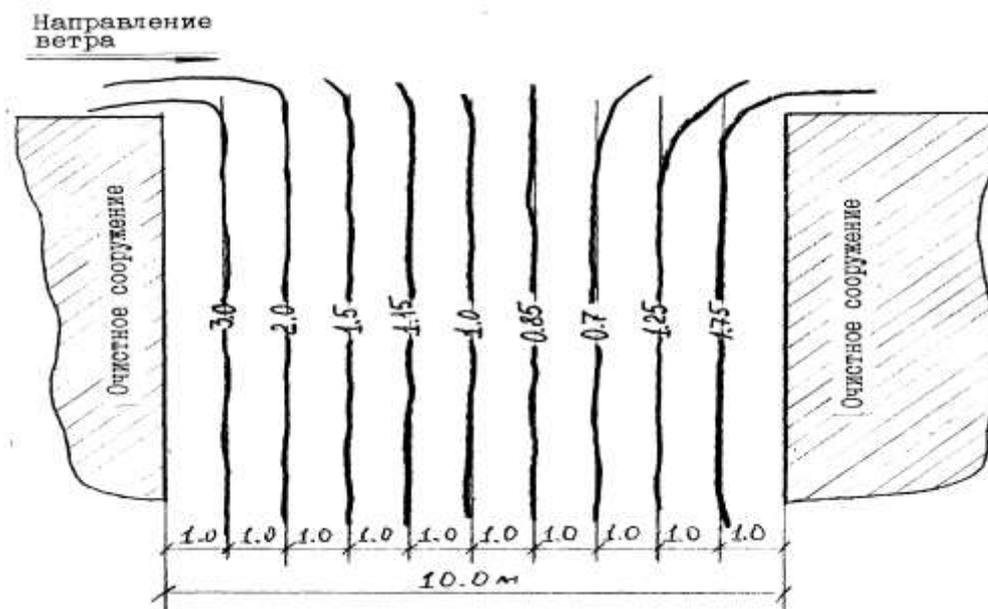


Рис. 1. Схема загазованности территории двух смежных очистных сооружений (нефтеловушек), показанная линиями равных концентраций ПГВС ( $\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$ )

Для упрощения «картины» загазованности показаны не все линии равных концентраций, построенные по всему периметру очистных сооружений, а только та часть с максимальными значениями концентраций, которая расположена между «стенок» сближаемых смежных

ных сооружений. Из приведенной схемы загазованности территории очистных сооружений, показанной линиями равных концентраций, видно, что максимальные значения концентраций, равные  $3,0 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ , были получены у очистных сооружений с подветренной стороны, остальные значения концентраций колеблются в диапазоне  $0,7-2,0 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$  в зависимости от расстояния от этих сооружений. Эти концентрации в десятки раз ниже значений взрывоопасных концентраций (НКПР) для паров нефти и нефтепродуктов. Из этого следует, что расстояние между соседними очистными сооружениями, равное 10 м, с большим запасом обеспечивает взрывопожаробезопасность. Рассмотрим, как будет увеличиваться опасность в зависимости от уменьшения расстояния между очистными сооружениями.

При сближении смежных очистных сооружений максимальные значения концентраций (линии равных концентраций) суммируются, что не приводит к резкому изменению количественной картины загазованности. Так, при уменьшении расстояния между сооружениями до 5 м, т.е. в два раза, суммарные максимальные значения концентраций ПГВС увеличиваются с 3,0 до  $3,85 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$  (рис. 2).

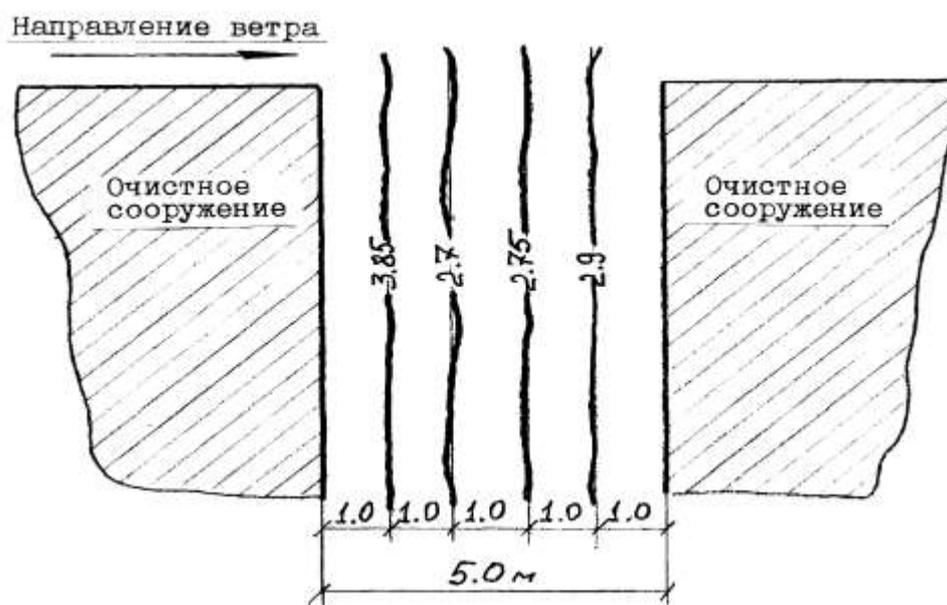


Рис. 2. Схема загазованности разрыва между очистными сооружениями после их сближения (суммарные концентрации,  $\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$ )

Сравнивая полученные значения концентраций с НКПР для паров самого опасного компонента – паров бензина, видно, что они составляют 8-10% от НКПР. Кроме того, учитывая, что максимальные значения концентраций были получены лишь в единичных из всей серии многочисленных долговременных замеров (остальные в 1,5-2,0 раза меньше) видно, что, имея значительный запас надежности в отношении возможности воспламенения ПГВС (взрыва), при определенных условиях эксплуатации (искры, статическое электричество, открытое пламя и т.д.) можно уменьшить расстояние – разрывы между соседними очистными сооружениями: нефтеловушками, отстойниками и т.п., а следовательно, и площадь, занимаемую этими сооружениями на территории предприятий. Это в большинстве случаев при проектировании и строительстве сооружений станций механической очистки производственных сточных вод на территории нефтеперерабатывающих предприятий имеет существенное значение. Не всегда имеется большая свободная территория для размещения этих сооружений, если учитывать, что очистные сооружения на данных предприятиях обычно располагают пакетами по 4-8 и более штук в ряд, с расстоянием 10 м и более.

Следовательно, сокращение разрывов между рассмотренными очистными сооружениями до 5 м гарантирует безопасность и в то же время позволяет экономичнее использовать площади (территорию) предприятий, отведенные под цеха очистки стоков.

Полученные в результате проведенных исследований данные рекомендуется учитывать при проектировании канализационных очистных сооружений нефтеперерабатывающих и родственных им предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев Б.Н. Загрязнение окружающей воздушной среды канализационными очистными сооружениями нефтеперерабатывающих заводов / Б.Н. Яковлев // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С. 72-76.

2. Яковлев Б.Н. Взрывная, пожарная и экологическая опасность канализационных очистных сооружений / Б.Н. Яковлев. Саратов: СГТУ, 2001. 104 с.

3. Яковлев Б.Н. Исследование основных факторов, влияющих на загазованность воздушной среды в различных зонах очистных сооружений производственной канализации / Б.Н. Яковлев // Безопасность. Технологии. Управление: научные доклады и статьи I Международ. конф. Ч. 1. Тольятти, 2005. С. 94-100.

**Яковлев Борис Николаевич** –  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Эргономика и безопасность жизнедеятельности»  
Саратовского государственного технического университета

## ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

---

УДК 800.1

**В.В. Канафьева**

### КОМПЛЕКСНОЕ ЧИСЛО КАК ТРАНСЦЕНДЕНТАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ЯЗЫКА ВО ВРЕМЕНИ

*В основу научной статьи положена идея о принципиальной несводимости друг к другу Языка-Знака и Языка-Символа. Эвристический потенциал этой идеи позволяет по-новому осветить традиционные темы и вопросы метафизики и онтологии: бытие, время, символ, знак, имя, число и т. д. История систем мысли рассмотрена автором как интригующая борьба двух традиций – Традиции Логоса, символическим эквивалентом которой оказывается Имя, и альтернативной контр-традиции, репрезентантом которой является Число. Эти тезисы эксплицированы как сюжеты симулятивной стратегии Языка-Знака относительно Языка-Символа.*

**V.V. Kanafyeva**

### COMPLEX NUMBER AS TRANSCENDERE FUNCTION OF LANGUAGE AT TIME

*The basis of the scientific article is the idea of principle incoherency of Language as Sign and Language as Symbol. Heuristic potential of this idea makes it possible to light up in a new way traditional themes and subjects of metaphysics and ontology: existence, time, symbol, Sign, Name, number and on. The history of thought system is examined by the author as intriguing fight of two traditions – the Tradition of Logos, symbolic equivalent of which is Name, and alternative counter-tradition, which representative is Number. These theses are explicated as subjects of simulative strategy of Language as Sign concerning Language as Symbol.*

Интересным, на наш взгляд, представляется анализ роли и функций оппозиции «время-вечность» в развитии культуры и их специфики в качестве конструктивных структур социокультурного целого А.Н. Смолиной [1, с.22]. Основным моментом исследования А.Н. Смолиной являются понятия «времени» и «вечности» в истории культуры, выступающие «как инструменты синхронизации совместной человеческой жизнедеятельности с целью достижения «полноты времен»» [1, с.6]. Основанием любой модели вечности оказывается

модель времени, спроецированная в трансцендентальную область – область вечных структур (вечности), являющаяся совокупностью всех времен и метаисторическим измерением. Модель вечности выполняет функцию унификации времени.

Таким образом, область Абсолютно удаленного в диаграмме Минковского [2, с.86] – трансцендентально-трансцендентная область, являющаяся центром модели вечности в философском категориальном понимании. Причем трансцендентально-трансцендентная область представляет собой «комплекс «вечных структур», математических принципов (в историко-культурном плане) и представлений о загробной жизни (в экзистенциальном и социальном плане)» [1, с.13].

Следовательно, можно предположить, что комплексное число, присутствующее в формуле мнимого, пространственно-подобного интервала диаграммы Минковского, описывает процесс унификации меонического бытия к онтологической норме бытия; следовательно, и процесс унификации меонического времени к эоническому – вечности.

В связи с вышеизложенным, в комплексном числе  $\mathbf{b} \cdot \mathbf{i}$  или мнимая часть представляет собой *трансцендентный остаток*, функционирующий в культуре как Абсолютно Иное в терминологии Э. Левинаса, как принципиально не достижимое. *Трансцендентный остаток* – своего рода аналог представления об «изначальной пустоте» в различных культурах, таких как, например, Дао, Шаббат, и философских системах (Ungrund у немецких мистиков, в экзистенциализме – «ужас» и «ничто»).

*Комплексное число – это формула потенции преобразования меонического бытия; подчиненности меонического времени времени (вечности), протекающему в Традиции Имени.*

Пренебрегая  $\mathbf{b} \cdot \mathbf{i}$  при  $\mathbf{b}=0$ , мы тем самым способствуем формированию феномена виртуальной среды, вытесняющего модель вечности и подменяющего ее структуру. Унификация же модели вечности или Абсолютно удаленного на диаграмме Минковского происходит в процессе синхронистичности времени как факт достижения «полноты времен». Таким образом,  $\mathbf{b} \cdot \mathbf{i}$  – часть референтной области нашего сознания (речь), резервирующая Смысл онтологической нормативности.

Поэтому при  $\mathbf{b}=0$  мы сталкиваемся с симуляцией онтологической нормы бытия, где Время представлено понятием «реального времени». Подобный симулякр или «поверхность», артикулированная в постмодернистской идее Ж. Делеза, не нуждается в глубине Смысла, поскольку достаточным для него становится логика смысла, производство и взаимопревращение дискурса. Причем языковая стихия становится той самой универсальной «поверхностью» для разнообразных манипуляций со Смыслом. Как следствие этого – язык больше не коренится в трансцендентальной области Смысла или, говоря языком М. Хайдеггера, в «доме бытия». При этом язык должен стать границей, по одну сторону которой «поверхность» или Язык-Знак занимается постоянной перекодировкой Языка-Символа, находящегося по другую сторону Языка-Знака. Таким образом, иррациональное число  $\mathbf{i}$  в комплексном числе и представляет собой ту самую границу языка, осуществляющую перекодировку или раскодировку Традиции Имени в Традиции Числа.

Следовательно, именно иррациональное число  $\mathbf{i}$  несет трансцендентальную функцию в комплексном числе, выражающуюся в качественном соединении противоположностей, включая темпоральные противоположности через синхронистичность.

Неслучайно П.А. Флоренский в своем знаменитом философском произведении «Столп и утверждение истины», рассматривая проблему иррациональности в математике, вспоминает Михаила Штифеля, заявлявшего, что «иррациональное число не есть истинное число» [3, с.507].

Рассудочные операции с использованием иррациональных чисел в арифметике, согласно о. Павлу, «ведут к таким комбинациям, которым нет уже места в среде своих производителей и которые требуют разрыва рассудочной области, чтобы родиться в новый, дотоле невиданный и немислимый мир. Выход в алгебре достигается лишь созданием поту-

сторонних, трансцендентных для круга данных операций арифметических сущностей, которые невыразимы уже в конечных символах, но ими постулируются, их обосновывают и им придают новый, высший смысл. Однако, лишь только эти н о в ы е арифметические сущности мы хотим мыслить в терминах с т а р ы х , лишь только хотим влить вино в мехи ветхие, – так получается разложение символа новой сущности на составные элементы, несоместные друг с другом в области старых понятий, а сама сущность – испаряется» [3, с.508].

Согласно П. Флоренскому, нельзя дать образ не только иррациональности, но и чему-то подобному ей через некую комбинацию конечных чисел символов, имманентных рассудку, поскольку таким подходом мы неизбежно приходим к бессмыслию в понимании иррациональности с точки зрения «чисел».

Достаточно вспомнить определение иррационального числа в высшей математике: если группа  $\alpha = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots, a_{n+m}, \dots)$  удовлетворяет условию сходимости, то ряд  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots, a_{n+m}, \dots$  получает название основного ряда, а вся группа, в качестве единого объекта  $\alpha$ , – название иррационального числа. Условие сходимости, с позиций нашего подхода, для иррационального числа  $i$  можно рассматривать как темпоральное «сжатие» до «окрестности точки «теперь»» в понимании Э. Гуссерля или как «сжученность» по Карлу Дю Прелю.

Учитывая вышесказанное, мы можем предложить следующую дефиницию синхронистичности.

*Итак, синхронистичность – это процесс конгруэнтности Смысла и Явления в Языке-Знаке в меоническом времени, раскодирующий Язык-Знак через изменение пространства и времени путем «сжатия», «сходимости» до точки «теперь» (Э. Гуссерль).* Под пространством и временем здесь следует понимать категории меонического бытия или Бытия-Кентавра.

Пространство и время, как говорил К.-Г. Юнг, «ни из чего не состоят». «Это условные концепции, порожденные деятельностью осознающего разума по проведению четких границ, и они представляют собой незаменимые критерии описания поведения движущихся тел. Стало быть, их происхождение по сути психическое...» [4, с.238].

Изменение пространства и времени при актуализации мнимой части комплексного числа ведет к так называемому «расширению» эонического времени Традиции Имени<sup>1</sup> при одновременном «сжатии» меонического времени Традиции Числа. Таким образом, благодаря существованию внутренней связи между комплексным числом и синхронистичностью осуществляется постижение Бытия-Символа, сверхъестественного и таинственного именно через «мнимую иррациональность» –  $i$ .

«Абсолютное знание», которое является характерной чертой синхронистического феномена, знание, которое нельзя обрести с помощью органов чувств, подтверждает правильность гипотезы о наличии самосуществующего смысла или даже выражает его существование. Такая форма существования может быть только трансцендентальной, поскольку, как показывает знание будущих или пространственно отдаленных событий, она находится ... в непредставимом континууме пространство-время» [4, с.292].

Новейшие выводы науки, на которые обращает наше внимание К.-Г. Юнг в своей работе «Синхронистичность», все больше и больше приближаются к унитарной идее бытия, характеризуемой, с одной стороны, пространством и временем, а с другой стороны – причинностью и синхронистичностью, дающей возможность видеть единство бытия, всю картину целиком. Интуитивно К.-Г. Юнг подводит нас к пониманию комплексного числа как трансцендентальной функции Традиции Имени в Традиции Числа. Интересным, на наш взгляд, представляется схема, которую предлагает Юнг, соответствующая с одной

<sup>1</sup> Имеется в виду меоническое понимание «расширения» эонического времени, поскольку форма эонического времени – это вечность.

стороны постулатам современной психологии, а с другой стороны – современной физике (см. рисунок).

Говоря о научных открытиях в области современной физики, имеются в виду исследования профессора Паули, предложившего заменить классическое противостояние пространства и времени на сохранение энергии и пространственно-временного континуума.

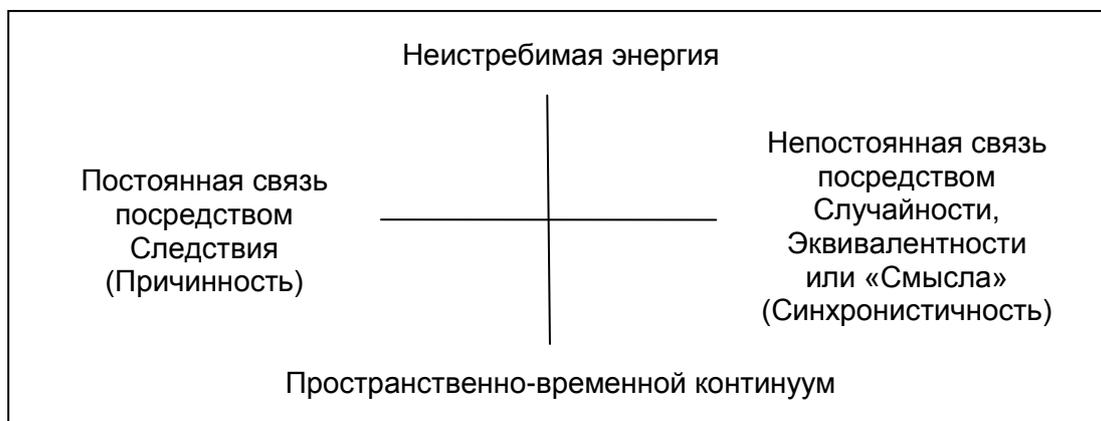


Схема quaternio К.-Г. Юнга

Синхронистичность, согласно Юнгу, состоит из «случайных» эквивалентностей. «Их *tetrium comparationes* покоится на психоидных факторах, которые я называю архетипами. Они являются *неопределенными*, то есть познать и определить их можно только приблизительно. Хотя они и связаны с причинными процессами или «переносятся» ими, они постоянно вырываются из этой системы координат. Это нарушение порядка я назвал бы «переходом границы», потому что архетипы обнаруживаются не только в психической сфере, но почти так же часто проявляются в обстоятельствах, которые психическими не являются (эквивалентность внешнего физического процесса психическому). В категориях причинности архетипические эквивалентности являются *случайными*, то есть между ними и причинными процессами нет никакой закономерной связи. Поэтому складывается впечатление, что они представляют особый пример хаотичности или случайности, или того «хаотичного состояния», которое, по словам Андреаса Шпейсера, «перемещается во времени совершенно закономерным способом» [4, с.301].

С точки зрения нашего подхода, юнговский «переход границы» следует понимать как актуализацию мнимой части комплексного числа через актуализацию виртуальной памяти об онтологической нормативности. В данном случае этой актуализацией является вторжение архетипов, влияние которых приводит к «выпадению» из естественной системы координат. В результате время и пространство становятся относительными и теряют свое значение, поскольку причинность, предполагающая наличие времени и пространства, становится совершенно невысказанной, т.е. не может считаться существующей. Кстати, именно благодаря явлению синхронистичности достигается эффективность молитвы, в силу того, что в результате «обожения», приводящего к пространственно-временному континууму, мы попадаем в ситуацию схватывания пространства и времени «за раз» (вспомните кельтский крест).

С учетом вышеизложенного, хочется особо обратить внимание на понятие «чистой идеи числа» в работе А.Ф. Лосева «Диалектические основы математики». «Чистая идея числа», по своему происхождению не-объективная и не-субъективная, переходя в свое инобытие, «превращается, прежде всего, в физически-материальное, пространственно-временное число» [5, с.26].

Становится понятным, что под «чистой идеей числа» в рамках нашего подхода следует понимать комплексное число, мнимая часть которого инобытийна обыкновенному вещественному числу и представляет новую реальность. Если в математике мы, используя обыкновенное число, имеем дело с числовыми операциями, то в философии, как отмечает А.Ф. Лосев, эти числовые операции превращаются «в *понятийные*, в принципиально *логические*».

Что же тогда представляет комплексное число с философских позиций?

Попытаемся дать ответ на этот вопрос.

*Комплексное число, с точки зрения нашей концепции, представляет так называемый особый континуум числовой слитности и неразличимости трех основных сфер числа как явленной идеи «чистого числа» или его первопринципа: интенсивного, экстенсивного и эйдетического чисел.*

Итак, еще раз вспомним математическое выражение или формулу комплексного числа:

$$c = a + b i .$$

Следовательно, интенсивное число или математическая *сущность* комплексного числа есть **c**.

Экстенсивное число или его *явление* – есть вещественные числа **a** и **b**.

Эйдетическое число, конгруирующее *сущность* и *явление* и открывающее действительность Традиции Имени для Традиции Числа – есть **i** или мнимое число.

При **b = 0** мы имеем ситуацию, когда интенсивное число представляется экстенсивным числом: сущность представлена лишь явлением.

При **a = 0** мы сталкиваемся с сущностным открытием действительности Традиции Имени.

«Число является настолько основной и глубокой категорией бытия и сознания, что для его определения и характеристики можно брать только самые первоначальные, самые отвлеченные моменты того и другого. Математика – наука о числе – есть уже нечто вторичное по сравнению с самим числом» [5, с.41]. Необходимо продолжить мысль А.Ф. Лосева: Число является не только категорией бытия и сознания; Число, как уже говорилось ранее, есть онтологический принцип Традиции Числа. Импликациями Традиции Числа являются: Язык-Знак, мышление, код, Число, исчисление как имитация мышления, сознание как функция программы Числа.

Мы вполне можем согласиться с лосевским пониманием числа как акта смыслового полагания, а не содержания этого полагания, поскольку число – вне-содержательная, бескачественная смысловая структура. Но это определение нельзя отнести к комплексному числу, содержащему в мнимой своей части область смысловых символов – **i**, представляющую собой способ пребывания Числа в своем инобытии.

Теперь обратим особое внимание на фундаментальный анализ числа (число как чистое понятие) Лосева. «...В единице есть 1) полагаемое, 2) полагающее, 3) положенное, и между этими тремя моментами существует вполне определенное взаимоотношение» [5, с.57].

Вспомним трихотомичное строение слова у П.А. Флоренского, состоящее из **фонемы**, образующей психофизический костяк слова; **морфемы**, служащей соединительным звеном между фонемой и внутренней формой слова, выражающей закон или норму бытия (имеется в виду кентаврическое бытие), и **семемы**, показывающей собой смысл, который мы хотим высказать.

Как мы видим, существует аналогия между лосевским анализом числа и трихотомичным строением слова о. Павла. И этой аналогией выступает как раз комплексное число, в котором вещественные числа **a** и **b** – аналогия **морфемы** в слове; **c** – аналог **фонемы** и **i** – **семема** слова или виртуальный дух, Смысл Бытия-Символа.

Следовательно, при **b = 0** комплексное число превращается в вещественное число и выражает собой чисто меонический принцип бытия – Бытия-Кентавра.

При **b ≠ 0** комплексное число является трансцендентальной функцией **Языка-Символа в меоническом времени**.

При **a = 0** и **b ≠ 0** комплексное число представляет собой процесс конгруэнтности Смысла и Явления в Языке-Знаке в меоническом времени через актуализацию виртуальной памяти о Символе как онтологической норме – **i** (Ино-сознание) путем синхронистичности.

Комплексное число содержит так называемую энергию или энергийный акт как полное число, т.е. внутреннее содержание смысла нормативного бытия, которое, изливаясь вовне, являет собой внутренние недры Бытия-Символа.

Как слово, а точнее сказать Язык-Знак, подразумевает производство смыслов, так, к примеру, единица является числом, порождающим числовой ряд. «Чтобы произошло зарождение числа «два» или понятия «второго», очевидно, кроме «этого» требуется еще «иное», *необходим переход из «этого» в «иное»*. Если нет ничего «иного», кроме «этого», то никогда не может быть и ничего «второго», т.е. никогда не может быть «двух»» [5, с.59].

Переход из «этого» в «иное» возможен только путем сравнения «следующего» от «предыдущего» во времени, т.е. как говорит Лосев, необходимо «родовое тождество» считываемых предметов. Необходимо добавить здесь: во времени, при наличии точки отсчета, иначе «следующее» при различных точках отсчета (нулевой точке времени) может всегда оставаться «предыдущим», а не самим собой, т.е. «следующим».

Таким образом, для числа должна существовать относительность одного от другого во времени, иначе единица всегда останется единицей, не дающей перехода от «этого» в «иное». Следовательно, при наличии времени существовать Смысл в Числе вообще не может, разве что как виртуальный Смысл в комплексном числе. Тождество и различие между «этим» и «иным» является условием производства числового ряда, а следовательно смыслов в Языке-Знаке. «*По смыслу своему, по основному значению «это» и «иное» вполне тождественны (то и другое есть «нечто»), но по фактическому своему существованию, по факту (чисто нумерически), они вполне различны»* [5, с.60].

Неслучайно мысль является импликацией Традиции Имени, поскольку «мыслить – значит прежде всего различать, а где нет различия, там нет мысли» [5, с.62].

Таким образом, *комплексное число можно представить как смысловую энергию акта полагания во времени – меоническом времени*. Время, а точнее сказать, меоническое время появляется, как говорилось выше, одновременно с числом на историческом поприще и ограничивает собой любой процесс образования, тем самым, синтезируя Бытие-Символ с Бытием-Кентавром.

Следовательно, мы можем предложить еще одну дефиницию комплексного числа, а следовательно и самого числа, поскольку число – упрощенный вид комплексного числа, т.е. число – это по сути комплексное число без мнимой его части.

Число (комплексное число) – мысленный акт полагания через слово, содержащее в себе «топологический сдвиг» между Явлением и Смыслом в Символе во времени.

Только появляется «топологический сдвиг», как возникает число как принцип разделения и различия Смысла и Явления в Языке-Символе, как принцип логического исчисления, как принцип онтологического различия и оформления меонического бытия – Бытия-Кентавра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смолина А.Н. Опозиция время-вечность как конструктивный элемент культуры: автореф. ... дис. канд. филос. наук / А.Н. Смолина. Волгоград, 2003. 22 с.
2. Канафьева В.В. Язык и время в Традиции Логоса / В.В. Канафьева. Саратов: Научная книга, 2005. 202 с.
3. Флоренский П.А. Столп и утверждение истины: в 2 т. / П.А. Флоренский. М.: Правда, 1990. Т. 2. 839 с.
4. Юнг К.Г. Синхронистичность / К.Г. Юнг. М.: Релф-бук, 1997. 320 с.
5. Лосев А.Ф. Диалектические основы математики / А.Ф. Лосев // Хаос и структура / сост. и общ. ред. А.А. Тахо-Годи и В.П. Троицкого. М.: Мысль, 1997. 831 с.

**Канафьева Виктория Владимировна** –  
кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия»  
Поволжской академии государственной службы им. П.А. Столыпина

УДК 378+347.77/78

**Е.С. Курбатова, А.В. Пахомова**

### **ФОРМИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ЗАПАСА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА**

*Рассмотрены основы создания концепции формирования и коммерческого использования информационного запаса исследований и разработок вузов как необходимого условия перехода к инновационной экономике и повышения конкурентоспособности российских предприятий.*

**E.S. Kurbatova, A.V. Pakhomova**

### **CREATION AND COMMERCIAL USE OF HIGH EDUCATIONAL INSTITUTES SCIENTIFIC AND INNOVATIVE ACTIVITY RESULTS**

*Formation and commercial use concepts of informational reserve efforts and universities collaboration as necessary condition of transition to innovation and in crease of competitiveness of Russian enterprises are studied here in this article.*

Залогом должного прироста ВВП, решения социальных проблем, культурного развития населения страны является переход к инновационной экономике, экономике, основанной на знаниях, в которой системообразующим фактором следует считать воспроизводство знаний, а главными его участниками становятся наука и образование. Несмотря на то, что задачи развития и интеграции науки и образования отнесены Президентом Российской Федерации В.В.Путиным к числу высших приоритетов российского государства, остается не решенным главный вопрос: каким образом использовать в производстве информационный запас исследований и разработок, уже на сегодняшний день накопленных в научном секторе, и как организовать их коммерциализацию. Важность этой задачи была подчеркнута В.В.Путиным на заседании Совета по науке, технологиям и образованию 26 октября 2004 года: «Мы должны сформировать в России конкурентоспособную систему генерации, распространения и использования знаний. Только такая система станет основой устойчивых темпов и высокого качества экономического роста в стране. В развитых странах экономическая динамика напрямую связана с эксплуатацией интеллектуального капитала. Причем, как совокупность не только знаний, но и умений, умений эффективно использовать современные организационные навыки, патенты, ноу-хау, торговые марки и тому подобное. И на мировых рынках именно такой – интеллектуальный капитал ценится гораздо выше, чем сырье, и даже выше, чем квалифицированная рабочая сила».

В настоящее время фундаментальные исследования, их финансирование, отсутствие налоговых льгот при их внедрении не привлекательны для малых и средних частных компа-

ний. Так, только одна пятая часть разработок фундаментальной науки доходит до коммерческой реализации, удельный вес в нашем экспорте инновационной промышленной продукции составляет всего 6% [1].

Главным инструментом для решения этого вопроса являются система высшего образования и государственные образовательные учреждения (ГОУ). Переход к наукоемкой экономике делает все более востребованной инновационную функцию высшего образования. Важнейшая роль высшей школы, ее фундаментальных исследований состоит в создании научно-технологического запаса, из которого компании могли бы черпать ресурс для своего развития и для инноваций путем интенсификации информационного потока «вуз – коммерческие предприятия».

Главным компонентом науки в системе образования являются университеты, академии, институты и научные организации, выполняющие исследования и разработки (табл. 1). Однако за период 1990-2002 гг. число вузов, выполняющих исследования и разработки, снизилось на 14%, а с учетом того, что возникшие за последние годы негосударственные вузы практически не ведут научной деятельности, в итоге ею заняты лишь 38% российских вузов. Продолжение подобной тенденции может привести к необратимым последствиям не только для самой науки, но и для качества подготовки специалистов.

Таблица 1 [2]

## Количество вузов и научных организаций Минобразования России

Годы	Вузы	Научные организации	Итого
1999	316	44	360
2000	332**	135	467
2001	331	142	473
2002	334	159	493
2003	333	163*	496

\* Выполнявшие научные исследования и разработки в 2003 г.

\*\* С учетом данных Финансовой академии при Правительстве РФ

Полноценно проводимым научным исследованиям и разработкам также препятствует недостаточное финансирование, выделяемое федеральным бюджетом. Для значительного прироста национального валового прироста за счет наукоемких технологий требуется тратить на науку не менее 2-3% ВВП [3]. У нас эта доля составляет чуть более 1% [4], а, по мнению эксперта Государственной Думы В.И. Бабкина, – всего 0,3% ВВП.

Приведем данные о намерениях исполнительной власти по финансированию науки на 2001-2010 гг. в виде табл. 2 – Приложения к документу (в процентах к расходной части бюджета по разделу 06 – «Фундаментальные и прикладные исследования и содействие научно-техническому прогрессу»).

Таблица 2 [5]

## Доля финансирования науки в расходной части бюджета, %

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1,85	1,56	1,65	1,75	1,85	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0

Как видно из табл. 2, Правительство планирует достигнуть уровня финансирования, заложенного в ст. 15 Закона «О науке и государственной научно-технической политике» № 127-ФЗ, в 4% расходной части бюджета к 2010 году, причем Закон был принят в 1996 году и финансирование закладывалось на тот момент. Представленные проценты являются сум-

мой процентов финансирования науки (раздел 06) и финансирования космических исследований (раздел 24), т.е. в окончательном варианте бюджета соответствуют двум разделам.

Объемы финансирования образования и науки федеральным бюджетом покажем в табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что за последние 6 лет расходы ежегодных федеральных бюджетов на высшее образование колебались в пределах 2-2,5% от общего расхода бюджета, расходы на науку немного снижались (с 2,231 до 1,67%). В 2005 году отмечен заметный рост расходов как на высшее профессиональное образование (3,57%), так и на научные исследования (5,04%).

Таблица 3 [6]

Финансирование образования и науки из федерального бюджета

Годы	Расход федерального бюджета по разделу «Высшее профессиональное образование», тыс. руб.	Расход федерального бюджета по разделу «Фундаментальные исследования и содействие научно-техническому прогрессу», тыс. руб.	Общий расход федерального бюджета, млн. руб.	Процентное соотношение, % (высшее проф. образование + наука = всего)
1998	10 002 731,4	11 157 881,0	499 954,2	2,0+2,231=4,231
1999	13 023 586,6	11 634 490,4	575 046,6	2,265+2,023=4,288
2000	22 039 371,0	17 094 738,6	1 014 196,3	2,173+1,686=3,859
2001	28 599 091,0	22 093 972,1	1 193 482,9	2,396+1,851=4,247
2002	43 477 076,1	30 317 957,1	1 947 386,3	2,232+1,704=3,936
2003	54 549 786,4	40 239 736,7	2 414 352,2	2,259+1,667=3,926
2004	69 184 813,7	46 197 565,5	2 768 085,8	2,499+1,668=4,167
2005	108 811 902,3	29 550 565,9 124 049 003,0	3 047 929,3	3,57+(0,97+4,07) =8,61

Все это приводит к государственному финансированию лишь некоторых научных направлений, что равнозначно выталкиванию оставшихся из них в сферу рынка, т.е. «распродаже по дешевке» результатов интеллектуальной деятельности нескольких поколений российских ученых.

Данные табл. 3 позволяют сделать вывод о том, что из сумм, выделяемых на финансирование ГОУ, меньшая часть средств направляется на науку. Соответственно, небольшие суммы, распределяемые внутри вузов, не дают возможности полноценно проводить научные исследования (наукоемкая продукция, новые технологии, инновационная продукция).

Анализ работы научных организаций системы образования за последние годы показывает, что возникшие в этой сфере проблемы объясняются не только их малым количеством и недофинансированием из федерального и регионального бюджетов, но и несовершенством хозяйственного, в том числе финансового механизма в сфере научно-исследовательской деятельности применительно к современным рыночным условиям. К основным его недостаткам относятся:

- недооценка возможностей применения многообразных форм собственности (государственной, коллективной, частной) в организации научной деятельности;
- недостаточная проработка проблем и слабое изучение противоречий в системе формирования фондов финансирования научных учреждений и научно-исследовательских коллективов;
- недооценка товарных свойств научной продукции и слабая изученность ее рынка;

- использование, как правило, затратных, а не рыночных методов формирования цены на научно-техническую продукцию;
- слабая изученность принципиально новых форм финансово-экономических отношений, возникающих в сфере научно-технической деятельности;
- слабая научно-методическая база планирования поступления и использования доходов научных организаций;
- недостаточная научная проработка вопросов использования элементов коммерческой деятельности в сфере прикладной науки.

Современная организация вузовской науки позволяет говорить о неэффективном использовании финансовых средств, выделяемых на научно-исследовательскую деятельность в системе образования:

- слабая информированность предпринимателей о научно-техническом запасе исследований и разработок в вузе;
- недостаточный уровень научной специализации вузов и связанные с этим многообразием и параллелизмом в проводимых исследованиях;
- слабая организация взаимодействия на межвузовском и межкафедральном (межлабораторном) уровне при разработке одинаковой или близкой (родственной) научной проблематики;
- отсутствие отлаженного механизма специализации и кооперирования при разработке крупных (трудо-, капитал- и наукоемких) научных тем;
- фактическая ликвидация системы планирования вузовской науки;
- отсутствие отлаженного механизма взаимодействия и координации вузовской, отраслевой и академической науки.

Образовательные учреждения плохо адаптированы к рынку и при попытке коммерциализовать наукоемкую продукцию многие из них не находят «общего языка» с предпринимательскими кругами. Отсутствует и возможность «пакетного» заимствования опыта западноевропейского менеджмента из-за неразвитости рыночной инфраструктуры, серьезных рисков, связанных с несоблюдением обязательств деловыми партнерами, постоянными изменениями законодательства, налоговых и таможенных режимов и т.п. В этой связи у ГОУ возникают проблемы, которые можно свести к четырем основным группам:

1) проблемы, связанные с положением на рынке научно-технической продукции (утрата традиционных сегментов рынка, низкая платежеспособность основных заказчиков, острая конкуренция);

2) финансовые проблемы (обусловленные высокими затратами на научно-техническую деятельность, недостаточностью денежных средств в обороте, незначительностью прибыли);

3) научно-технические проблемы (отсутствие необходимого задела научно-технических разработок, ограниченные возможности опытно-экспериментального производства, низкая степень автоматизации основных научно-технических работ);

4) проблемы в области управления научно-технической деятельностью (плохое взаимодействие управленческих, научно-технических и обеспечивающих подразделений, нечеткое распределение обязанностей, «уровниловка» в оплате труда, плохое бюджетирование доходов и расходов, отсутствие современного управленческого учета, затратное ценообразование, некачественная нормативная база, неэффективное налоговое планирование). Последняя из названных проблем обусловлена отсутствием научно обоснованной концепции формирования и использования информационного запаса исследований и разработок коммерческими предприятиями.

Также следует отметить организационно-институциональную неоднородность вузовской науки: только часть научно-исследовательских проектов проводится в рамках специализированных структурных подразделений вузов – научных (исследовательских) центров, проблемных лабораторий. Большая же часть научных разработок приходится на долю так называемых ка-

федеральных ученых, т.е. преподавателей высших учебных заведений, которые занимаются научно-исследовательской деятельностью в соответствии с кафедральными (факультетскими, вузовскими) планами научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) либо в рамках временных научных коллективов по трудовому договору.

Поэтому назрела необходимость разработки стратегии развития вузовской науки и образования как предпосылки создания концепции формирования и коммерческого использования информационного запаса научно-технических разработок вузов. Ключевыми задачами этой концепции являются: реконструкция сектора исследований, концентрация ресурсов на приоритетных направлениях, построение технологических коридоров и инфраструктуры инноваций, а также привлечение к прикладным исследованиям бизнеса с увеличением участия частного капитала на последующих стадиях инноваций. Для реализации концепции следует создать соответствующую инфраструктуру и использовать механизмы стимулирования НИОКР, а также механизм формирования и практического применения научно-технического запаса ГОУ. Для создания запаса научных, технических и инновационных разработок, а также для повышения их востребованности отечественным производством Правительство России намерено повысить эффективность использования средств федерального бюджета, внебюджетных средств и иных инвестиционных ресурсов, направляемых на развитие сферы науки и технологий.

Основы концепции формирования и использования информационного запаса вуза представлены на рис. 1.

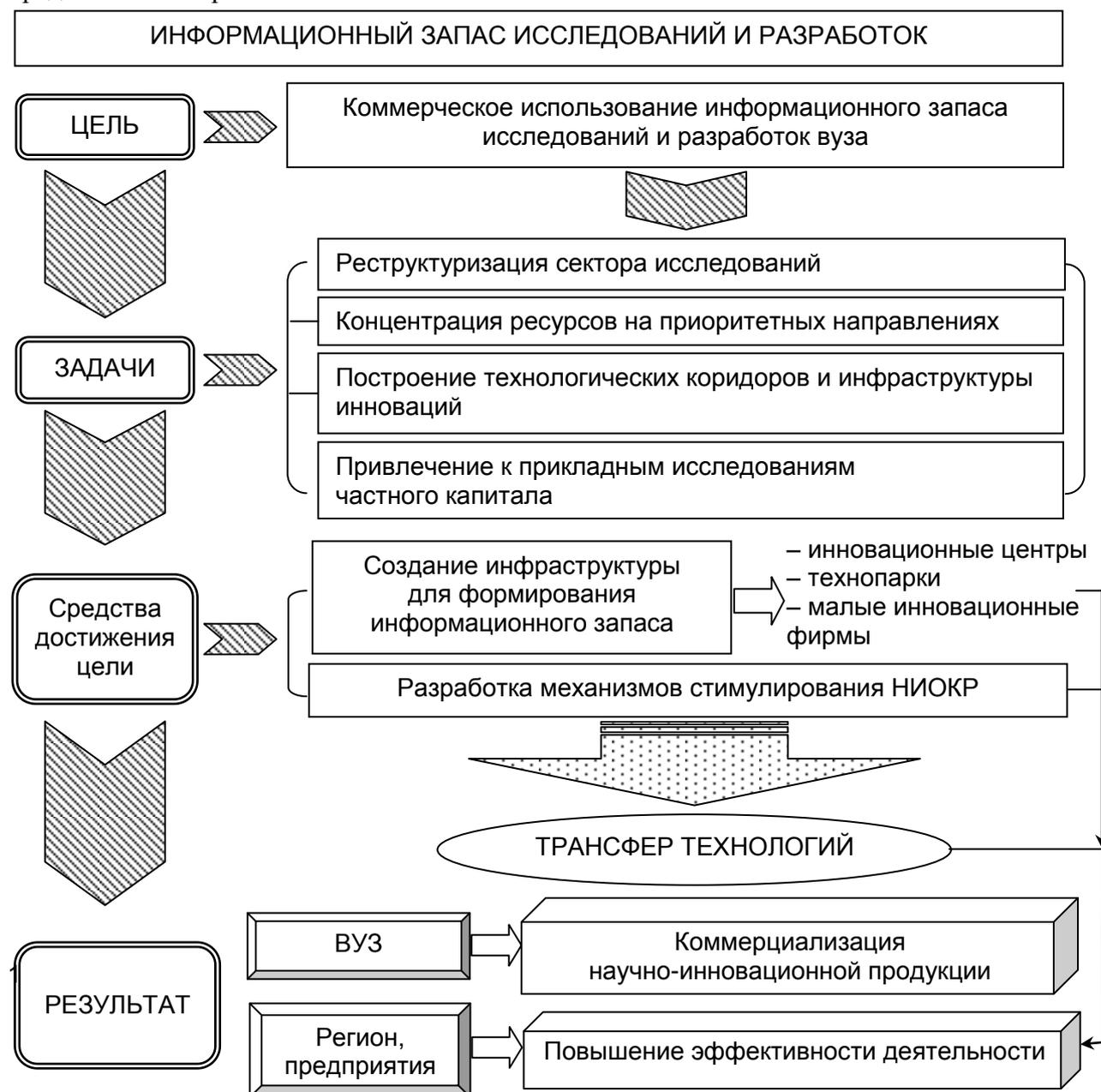


Рис. 1. Основы концепции формирования и использования информационного запаса научно-технических разработок вузов

Сегодня система высшего образования в России имеет большие возможности по созданию на базе ГОУ инновационных центров, технопарков, малых инновационных предприятий, организаций инновационной инфраструктуры, способствующих трансферу новых технологий от стадии научной разработки и начальных этапов их технологического оформления до передачи на стадию промышленных испытаний. Однако в России внедрение инноваций всегда было слабым звеном, еще в советское время. В настоящее время все еще остается «темная область» между разработкой инновационного продукта и его внедрением на производстве. Сегодня главный вопрос, связанный с новыми технологиями, не в том, «как это сделать», а «кому это нужно» или «как это продать». Опыт показывает, что непосредственно с рынком конечной продукции ученые иметь дело не хотят, не могут и не должны. Трансфер технологий от научной лаборатории к рыночным производителям требует разделения функций и наличия целого ряда специализированных промежуточных функций, роль которых будут играть созданные на базе ГОУ инновационные фирмы.

В высшей школе постоянно идет процесс создания, распространения, использования, применения знаний. Схематично это можно представить на примере ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет» (рис. 2).

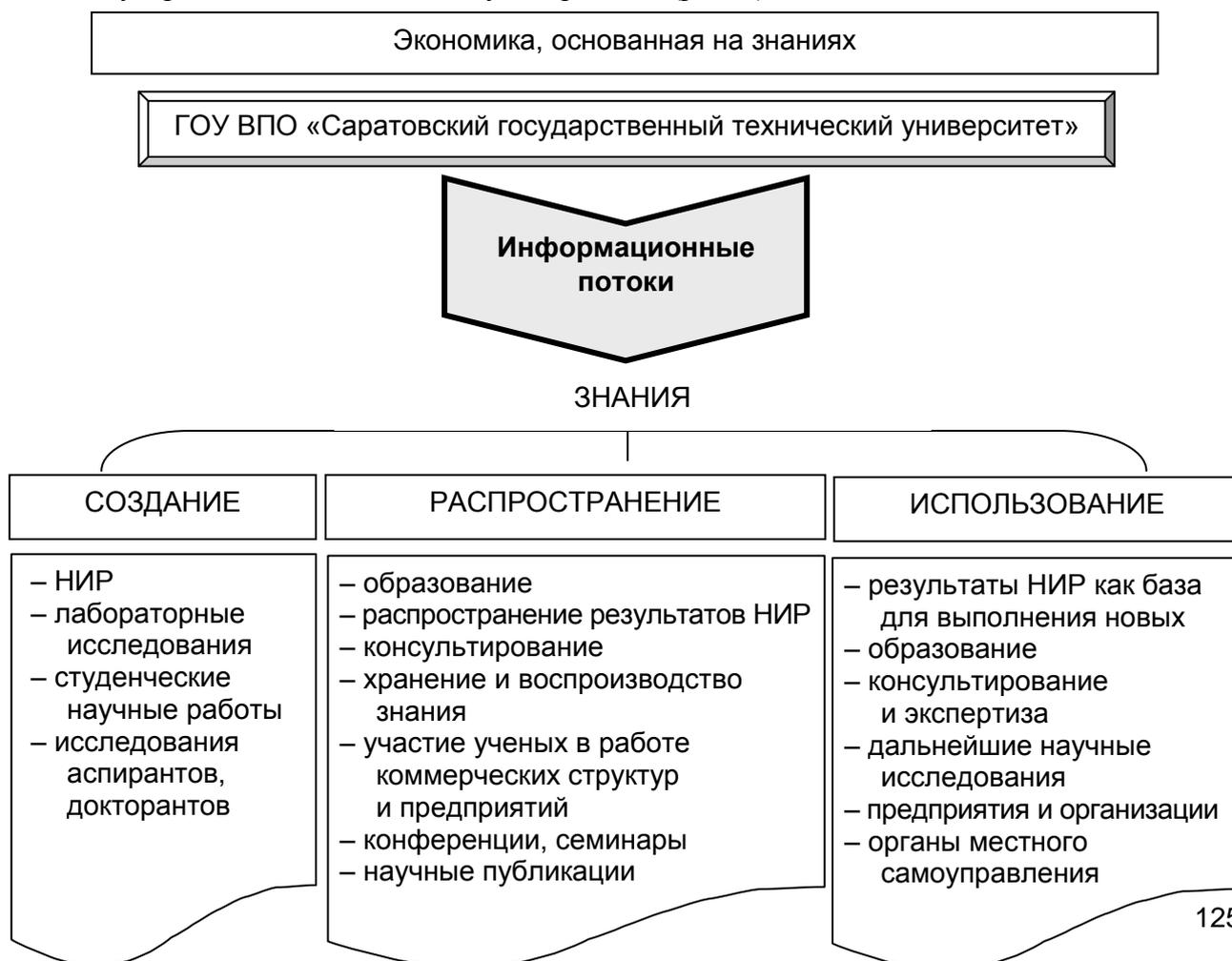


Рис. 2. Процесс создания, распространения и использования знаний в СГТУ

Далее рассмотрим некоторые специализированные структуры, необходимые для организации трансфера технологий, на примере Саратовского государственного технического университета.

Примером одной из таких структур является технопарк «Волга-Техника» при СГТУ [7]. В настоящее время технопарк «Волга-Техника» входит в категорию технопарков-лидеров высшей школы России и занимает третье место. В его состав включены инновационные структуры, разрабатывающие и внедряющие в производство различные виды наукоемкой продукции и оказывающие услуги промышленным предприятиям в области сертификации, защиты интеллектуальной собственности и другие.

В состав технопарка входит более 25 фирм, наиболее крупные из них – НТЦ «Механик-Т», НПЦ «ЭлМа-Т», НПФ «Градиент-С», НПФ «Лотос-Т», НПП НИМ, РОСО. Отделения технопарка также работают в филиалах СГТУ в Энгельсе и Балаково. На базе технопарка «Волга-Техника» ведется активная работа по вовлечению студентов, аспирантов, докторантов и сотрудников СГТУ в инновационно-производственный процесс структур технопарка, а также по созданию условий для выполнения реальных курсовых и дипломных проектов, предоставлению студентам необходимой информации, производственной базы, реальных объектов, нормативно-технической документации, рабочих отчетов. Ежегодно на базе технопарка проходят производственную и преддипломную практику около 200 студентов, по материалам инновационной деятельности подразделений технопарка выполняются дипломные проекты, курсовые работы, защищаются диссертации, публикуются монографии, учебные пособия, статьи и другие научные публикации. Все это позволяет говорить о следующих формах влияния инновационных фирм на развитие высшего образования и получение новых знаний:

1. Поддержка университетских научных исследований и реализация исследовательского потенциала университета.
2. Помощь сотрудникам в освоении навыков инновационной деятельности.
3. Обучение студентов навыкам инновационной деятельности как составная часть образовательного процесса.
4. Вовлечение студентов в реальные патентно-инновационные и производственные процессы.
5. Финансовая поддержка образовательного процесса.
6. Налаживание прямых научно-технических контактов с производственными фирмами.
7. Реализация инновационных проектов малого бизнеса.

Для более эффективной работы технопарков, малых инновационных фирм необходимо опираться на востребованность и потребности рынка, ориентацию исследований на новые или быстро развивающиеся области науки и техники, финансовую поддержку производственных фирм. Главным, на наш взгляд, является сочетание технических знаний со знанием требований рынка, т.е. сочетание научной и коммерческой ориентации. В свою очередь, это требует структуризации информационных потоков – внутривузовских и внешних, выходящих, движущихся к производственно-коммерческим структурам.

В условиях России приоритетной задачей технопарка видится, прежде всего, существенное повышение эффективности использования и доходности уже накопленной интеллектуальной собственности в виде информационного запаса, для чего необходимо своевре-

менно занять свою нишу на существующем международном и складывающемся внутреннем рынке интеллектуальной продукции.

Также важным элементом, созданным для трансфера технологий, являются инновационные релей-центры, например IRC (Innovation Relay Centers) – европейская сеть для содействия передаче технологий, главным образом, между маленькими и средними компаниями. Примером организации такой сети в России является Российская сеть трансфера технологий RTTN (Russian Technology Transfer Network), которая была создана в 2002 году (адрес ресурса – <http://www.rttt.ru>). Она объединяет российские инновационные центры, специализирующиеся в области трансфера технологий. Целью работы такой сети является содействие развитию и повышению конкурентоспособности российского высокотехнологического российского бизнеса и вовлечение научного потенциала России в мировой коммерческий оборот, путем консолидации информационных ресурсов ведомственных и государственных структур РФ, специализированных организаций, инновационных центров городов и регионов РФ в единую сеть и дальнейшую ее интеграцию в европейские сети. На сайте сети размещается информация о предложениях и запросах, как от российских, так и от западных фирм и НИИ.

Основными задачами сети являются:

- передача/трансфер технологий, ноу-хау между научным сектором и промышленностью, а также внутри промышленного сектора;
- поиск партнеров и инвесторов для кооперации в разработке и внедрении высокотехнологического научного продукта, как в России, так и за рубежом.

С сентября 2004 года СГТУ прошел процедуру сертификации и стал сертифицированным членом сети RTTN. Теперь СГТУ может оказывать услуги другим университетам, технопаркам, предприятиям и организациям в регионе по подготовке и размещению сведений о разработках, информированию клиентов сети о новых поступлениях, запросах на размещенную информацию, поиску партнеров, сопровождению контактов, продвижению разработок в других регионах и на международном уровне [8]. В 2005 году информация о разработках СГТУ, представленная в сети RTTN, была переведена на английский язык для размещения во франко-российской сети трансфера технологий RFN.

Важным элементом, помогающим организовать трансфер наукоемкой продукции, является использование специальных Интернет-сайтов, которые облегчают и ускоряют процесс передачи новых разработок в промышленность. В СГТУ накоплен большой опыт использования информационных технологий в образовании, научной и инновационной деятельности, в течение ряда лет (1996-2004 гг.) выполнен ряд проектов по информационному обслуживанию научно-инновационной деятельности на основе использования Интернет-технологий. Однако в промышленном производстве, производстве инновационной продукции (одной из последних стадий инновационного цикла) Интернет-технологии чаще всего используются только для рекламы выпускаемой продукции и получения информации о партнерах и конкурентах, в то время как они имеют большие возможности для формирования и использования информационного запаса путем:

- создания Web-сайтов или отдельных страниц, содержащих сведения о наукоемкой продукции и результатах научно-инновационной деятельности;
- формирования и поддержки баз данных продукции, технологий, услуг;
- создания и внедрения систем электронной коммерции;
- использования электронных бирж продукции и услуг;
- размещения информации на виртуальных выставках продукции.

Примером этого могут служить сайты СГТУ «Инновационная экономика Саратовской области» и сервер Департамента науки и инноваций. WWW-сервер «Инновационная экономика Саратовской области» является базовым компонентом информационно-аналитической системы и содержит широкий спектр информации о различных аспектах инновационной де-

тельности Саратовской области. Сайт был создан при участии министерства промышленности правительства Саратовской области (адрес сайта – <http://innov.sstu.ru>). Сервер обеспечивает информационное сопровождение и формирование политики развития инновационных процессов региона, доступ к базам данных и другим информационным ресурсам системы. Созданный информационный ресурс является первым в Интернет-пространстве региона по тематике, объему представляемых сведений и функциональным возможностям для участников инновационной деятельности [9].

Основными материалами для создаваемого сервера являются результаты научно-технической и инновационной деятельности высшей школы Саратовской области (в первую очередь СГТУ), использование и развитие этих результатов в промышленности Саратовской области. При наполнении страниц сервера использованы материалы, предоставленные министерством промышленности правительства Саратовской области. Сервер содержит следующие блоки информации: Управление, Организация, Финансирование, Научный потенциал, Подготовка кадров, Инфраструктура, Базы данных, Зеркало прессы, События, факты.

На сервере «Инновационная экономика Саратовской области» была создана виртуальная выставка продукции инновационных структур. На этой виртуальной выставке можно ознакомиться с товарами и услугами, предлагаемыми предприятиями области, участвующими в инновационном предпринимательстве. Виртуальная выставка состоит из 6 разделов: Предприятия, Продукция, Услуги, Технологии, Фотогалерея, Новинки, Контакты. Информация, представленная на выставке, может быть полезной руководителям предприятий и фирм, занимающихся инновационной деятельностью, для внедрения новых технологий и наукоемкой продукции, поиска новых партнеров для совместной работы [10].

Информационный сервер Департамента науки и инноваций (адрес ресурса – <http://dni.sstu.ru>) позволяет [11]:

- информировать ученых и специалистов университета о проведении конкурсов проектов и грантов по научным программам различных министерств и ведомств, а также об их результатах;
- информировать о проведении научных и научно-практических конференций университета, других вузов и организаций;
- информировать о возможностях продвижения наукоемкой продукции в различных информационных системах, БД и электронных биржах;
- предоставлять ссылки на тематические БД и другие информационные ресурсы по различной тематике;
- информировать о потенциальных инвесторах, фондах и других структурах, предоставляющих кредиты для научных исследований;
- организовать доступ на библиотечные ресурсы корпоративной сети вуза и Интернет;
- организовать различные телеконференции и форумы для обсуждения результатов НИР;
- создать и организовать доступ к информационно-справочным и консультационным системам;
- создать и поддерживать информационный запас о результатах НИР, патентах, производимой наукоемкой продукции и услуг как результатов научно-инновационной деятельности.

Созданный ресурс состоит из следующих разделов: Наука и инновации, Структура, Конкурсы, Конференции, Базы данных ДНИ, Другие БД, Форум, События, Объявления. Раздел «Другие БД» содержит ссылки на БД других организаций, что позволяет расширить географию представления информации и способствует активизации поиска партнеров.

– База данных «Продукция, технологии, услуги» – <http://www.itbu.ru> (РГУИТП, г. Москва);

- Биржа интеллектуальной собственности – <http://www.misinfo.ru> (ООО «Мисинфо», г. Москва);
- Электронная биржа товаров и услуг – <http://www.btu.ru> (Нижегородский филиал РГУИТП, г. Н.Новгород);
- Межрегиональная информационная система (МИС) – <http://www.misinfo.ru> (ООО «Мисинфо», г. Москва).

Таким образом, рассмотренные примеры позволяют говорить о наличии в СГТУ целого ряда специализированных структур, которые позволяют решить основную проблему высшего образования – создать систему реализации информационного запаса инновационных проектов, организовать эффективный трансфер технологий и их коммерциализацию на основе организационных, правовых, финансовых, информационных, маркетинговых компонентов и взаимодействия участников цепочки: университет – предприятие – государство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каширина Т.В. Некоторые аспекты интеграции науки и образования: нормативно-правовое обеспечение / Т.В. Каширина // Интеграция науки и образования: нормативно-правовое обеспечение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. М.: МИЭМП, 2005. С. 132-136.
2. Научный потенциал вузов и научных организаций Минобразования России: ст. сб. ГНУ СЗНМЦ. СПб., 1999-2003 гг.
3. Юревич А.В. Нужны ли России ученые? / А.В. Юревич, И.П. Цапенко. М.: Экономика, 2001. 340 с.
4. Сафаралиев Г.К. О государственном регулировании инновационной деятельности в Российской Федерации / Г.К. Сафаралиев. М.: Экономика, 2002. 224 с.
5. Бабкин В.И. Завершающий этап ликвидации научно-технического комплекса. О новой концепции и не только о ней / В.И. Бабкин // Интеграция науки и образования: нормативно-правовое обеспечение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. М.: МИЭМП, 2005. С. 77-118.
6. Лапина М.А. Интеграция науки и образования как одно из направлений деятельности органов государственной власти Российской Федерации / М.А. Лапина // Интеграция науки и образования: нормативно-правовое обеспечение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. М.: МИЭМП, 2005. С. 147-158.
7. Вузовский технопарк как базовая структура инновационной деятельности региона: монография / В.Р. Атоян, А.А. Коваль, В.Ю., Тюрина, Ю.В. Чеботаревский. Саратов: СГТУ, 2001. 127 с.
8. Атоян В.Р. Информационное обеспечение трансфера технологий и коммерциализации результатов научной деятельности университетского комплекса / В.Р. Атоян, Е.А. Агандеев, В.Ю. Тюрина // Технологии Интернет – на службу обществу: сб. статей по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2005. С. 125-129.
9. Информационно-аналитическая система обеспечения научно-технической и инновационной деятельности Саратовской области / В.Р. Атоян, Е.А. Агандеев, В.П. Лавров, Л.И. Полторецкая // Технологии Интернет – на службу обществу: сб. статей по материалам межрегион. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2002. С. 29-34.
10. Виртуальная выставка продукции на сервере «Инновационная экономика Саратовской области» / В.Р. Атоян, Е.А. Агандеев, В.П. Лавров, Л.И. Полторецкая // Технологии Интернет – на службу обществу: сб. статей по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2003. С. 204-206.

11. Информационное обслуживание научно-инновационной деятельности вуза / В.Р. Атоян, Е.А. Агандеев, В.П. Лавров, Е.С. Шикина // Технологии Интернет – на службу обществу: сб. статей по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2004. С. 98-101.

**Курбатова Екатерина Сергеевна –**

аспирантка 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

УДК 316.42

**В.Г. Мысливцев**

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕКОТОРЫХ ЭТНОСОЦИАЛЬНЫХ И ПОЛИТИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ДИВЕРГЕНЦИИ РУССКОГО НАРОДА  
(РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ВЗГЛЯД)**

*Статья посвящена некоторым факторам «неслияния» этнических подразделений русского народа. Рассматриваются процессы дивергенции как специфического этносоциокультурного явления российской цивилизации.*

**V.G. Myslivtcev**

**INFLUENCE OF SOME ETHNOSOCIAL AND POLITICAL FACTORS  
ON THE PROCESSES OF RUSSIAN PEOPLE DIVERGENCE  
(RETROSPECTIVE VIEW)**

*The article is devoted to some factors of «non-fusion» of ethnic denominations of Russian people. The processes of divergence as specific ethno social cultural phenomena of Russian civilization are considered here as well.*

На современном этапе развития русский народ и его три ветви вновь оказались в очередной раз в различных суверенных государствах. В связи с этим у многих граждан Российской Федерации возникает правомерный вопрос: почему две части русского народа – малороссы и белорусы (в советское время – украинцы и белорусы) – не эволюционировали в «общерусскую нацию», как это произошло со многими этносами на Западе? Все это становится актуальным в XXI веке, поскольку в результате трансформационных и демографических процессов кардинально изменяется этнографическая и расовая картина в мире.

Известно, что длительное социорное разобщение, которое стало возможным в результате внешних факторов, привело не столько к распаду русского этноса на несколько новых этнических общностей, сколько к появлению периферийных его частей. Необходимо отметить, что

российская ситуация имеет много общего с английским или французским этногенезами, где гасконцы, баски, бретонцы или шотландцы со временем практически полностью растворились среди доминирующих в этих странах этносов. Причем они не были такими близкородственными, как в случае с ветвями русского народа. Одной из таких причин, способствовавших дивергенции русского народа, в определённые периоды его развития является внешняя: разрыв древнерусского этноса в результате монголо-татарского нашествия, постоянное давление со стороны западно-европейской цивилизации. Обособленность групп от основного русского этнического массива до середины XX века, влияние западно-европейской культуры, католической религии, либеральная политика польских и австро-венгерских властей, способствовали появлению некоторых особенностей в самосознании западно-русского населения.

Факты свидетельствуют о том, что российская цивилизация, которая находится в центре Евразии, была исторически «запрограммирована» на противостояние жесточайшему нажиму извне. Этому способствовало наличие громадных пространств, агрессивных соседей и других факторов, которые оказывали влияние на формирование различных частей и этнографических групп русского этноса. Вместе с тем, освоение новых территорий, в том числе и России, – не всегда было поступательно и аккумулятивно. На протяжении многих столетий в России происходили процессы не только освоения, расширения её территории, но и неоднократные вторичные импульсы сжатия уже освоенных пространств, депопуляция и деваستация собственно русских земель (в XIII-XV вв., в начале и в конце XX столетия). В целом же за 400 лет с XVI по XX вв. территория Россия увеличилась в 36 раз. При этом развитие России, вследствие чрезмерной подвижности населения, шло во многом не вглубь, а вширь, что являлось одним из факторов центростремительной «слабости» русского этноса. По мнению ряда классиков, начиная с П.Я. Чаадаева, «пространство России является её благом и проклятием, силой и слабостью. Это относится и к его освоению, заметно повлиявшему на экономику, государственность и образ жизни русских и других этносов нашей страны [1].

Практически большинство отечественных исследователей сходятся в одном – территориальный рост русского государства был предопределён объективными и субъективными причинами, исторической судьбой русского этноса в целом. Очевидно, что сжатие «экономической и геополитической ойкумены» российской цивилизации, как в прошлом, так и в настоящем, продолжается. Заметим, что начало данных процессов восходит, по-видимому, ещё к концу XIX – началу XX века, когда российская цивилизация уже достигла пределов своего распространения, а в ряде случаев (Финляндия, Польша), вероятно, и вышла из них. Во второй половине XX столетия произошел поворот к преобладанию центробежной тенденции, что свидетельствовало о разрыве с исторической традицией русского этноса. Во многом это было вызвано определённым надрывом русского народа, связанным с вызванным превышением пределов собственных цивилизационных возможностей.

К внутренним факторам, которые вели к ослаблению цивилизационных скреп русских, можно отнести такой, как – «особое отношение» властей на протяжении столетий к русским (великороссам), позже проецированное на малороссов и белорусов. Развивая «государственный инстинкт» у русских и, прежде всего великороссов, российские власти почти всегда игнорировали их этнические начала и не возводили этничность государствообразующего этноса в ранг государственно-политического приоритета. Важное отличие от многих стран Запада состоит в том, что в структурированной по сословному принципу Российской империи не было деления на имперский русский господствующий слой и нерусские нижние слои. Но предпочтение, оказываемое русским как народу не было системой. Напротив, по сравнению с нерусскими их права нередко ущемляли. Так, русские крепостные и их потомки находились в худшей правовой экономической и социальной ситуации по сравнению с нерусскими крестьянами на Востоке или с финскими, эстонскими и польскими крестьянами на Западе империи [2]. В свою очередь, в связи с «особым статусом» русских и их этнических групп, в государстве ценностная доминанта, представляющая собой упование на власть, со-

четається і з отчуждением от неї. На рівні обыденного самосознання вона воспринималась як нечто чуждое і даже не русское [3, с.112]. Однак російські – в отличие от всех других этносов Евразии – никогда не чувствовали себя жертвами этнических притеснений, хотя государственное притеснение было очевидно.

К сожалению, и сегодня отношение людей к власти остается не всегда позитивным. Это связано во многом с тем, что в переходный период большая часть населения до сих пор не адаптировалась. Люди заняты борьбой за выживание, в ходе которой институты власти воспринимаются ими как нечто, по крайней мере, малопонятное. Социальная неудовлетворенность масс создает питательную среду для противостояния социальных и этнических групп. Все это превращает проблему поиска путей консолидации в ключевую для обеспечения жизнедеятельности российского социума как единого целого. Что касается русского этноса, то многие столетия он, несомненно, являлся, идеократическим. Идея многими гражданами нашей страны традиционно воспринималась как системообразующий фактор существования государства, а также как смысл бытия и цель жизни каждого индивида. Однако, как свидетельствует исторический опыт, русские в периоды системных кризисов относительно легко расставались с государственной идеологией, что усугубляло кризисы и способствовало усилению сепаратистских тенденций. Так, после Октябрьской революции достаточно быстро подавляющая часть населения перестала верить в Бога, а с распадом СССР значительное количество людей отреклось от марксистско-ленинской идеологии. Особую роль в данных процессах играла весьма неоднородная прозападно настроенная русская интеллигенция. Она привносила в Россию формы европейского быта, западных культурных ценностей, нисколько не сомневаясь в её превосходстве и исключительности. Однако при этом значительная её часть утрачивала чувство меры, исповедуя почти сверхнациональные идеалы.

Важным фактором, который оказывал существенное воздействие на процессы дивергенции и консолидации групп русского народа в различные исторические периоды являлись такие общественно-политические институты как учебные заведения, местная администрация, армия. В реальности же, ни по своему состоянию, ни по уровню государственного финансирования они не могли выполнять задач по созданию «общерусской нации», унификации культурных особенностей, как это осуществлялось во многих странах Запада. Сама необходимость целенаправленных усилий на унификацию языка и культуры малороссов и белорусов была осознана в России лишь в середине XIX в. Российское правительство больше полагалось на стихийную консолидацию этнических подразделений, ограничиваясь системой запретов по отношению к пропагандистским усилиям разного рода националистов. Кроме того, его программа по созданию «большой русской нации», которая существенно отличалась от программы сохранения всего российского государства, так и не стала приоритетной в среде господствующего класса. В связи с этим, даже в периоды опасных и трагичных для российской цивилизации ситуаций, у русских, по крайней мере, внешне, не происходило чрезвычайное укрепление идентичности, как это очевидно проявлялось у других этносов.

К этим же факторам можно отнести и сознательные усилия польских политиков, идеологов, а несколько позже и австрийских властей по разделению частей и групп русских. Так, во второй трети XIX в. представители различных политических движений, по преимуществу из среды эмиграции после восстания 1830-1831 гг., прежде всего польских украинофилов (Ипполит (Владимир) Терлецкий, Михаил Чайковский и др.) сформулировали различные версии украинской идентичности. Большинство этих концепций объединял антиимперский пафос, который нередко соединялся с антирусским чувством. Их влияние помогло лидерам украинских движений преодолеть уровень аполитичного культурного регионализма и усилило его антироссийскую боевитость. Поэтому в программных документах таких движений, в частности, национал-демократической партии в Австро-Венгрии (1899 г.) помимо социально-культурных требований стали выдвигаться и политические.

Таким образом, идентичность украинцев и белорусов, которая не была изначальной данностью, была сформирована не только под воздействием представителей западной цивилизации, но и в противостоянии с проектом строительства российскими властями «большой русской нации». Между тем, очевидное сходство трёх частей русского народа и их относительно разное социальное положение не только в недавнем прошлом, но и уже в XVIII-XIX веках, отнюдь не способствовали консолидации и полному растворению их друг в друге. Что же касается собственно польских земель, где проживало всего около 5% малороссов, то они отошли к России в 1815 году на основании Венского трактата. В силу этого подписавшие его западно-европейские державы (Англия, Франция и др.) стали «иметь голос в польском вопросе», то есть вмешиваться во внутренние дела России, что непосредственно повлияло на рост сепаратизма в западных землях Российской империи. Политика царизма велась грубо, без всякой системы и вызвала определенную интенсификацию процессов полонизации, рост недовольства жителей западной части страны. А организованные царскими властями меры под лозунгами: превратить испорченных польским влиянием малороссов, белорусов в «настоящих русских» приводили к тому, что они начали замыкаться в своём этносоциокультурном мире.

Классовое и социально-политическое неравенство, существовавшее в русском народе, создавало непреодолимые препятствия между высшими российскими классами и остальным населением страны, в подавляющем большинстве – крестьянством [4]. Поэтому значительная часть западно-русского крестьянства стала относиться к дворянству почти так же, как оно относилось к польской шляхте в Речи Посполитой. В западных регионах Российского государства это усугублялось еще и тем, что новая власть практически не учитывала особенностей языка, быта местных жителей. Все это порождало некоторые элементы механизма отторжения, которые проецировали появление и закрепление определённых различий не только в быту, языке, но и в самосознании. Именно подобные процессы, происходящие в сознании людей, и стали толчком к развитию процессов этнической дифференциации на почве ранее единого русского народа.

После вхождения западно-русского населения в состав Российского государства усилилась динамика процессов консолидации и унификации. Развернувшиеся во всю свою мощь данные процессы уже в начале XX века были прерваны. И это во многом было связано с тем, что российская цивилизация втягивалась в свою очередную «очистительную смуту», которая, как и раньше, должна была кардинально обновить ее. Этносоциокультурные процессы, происходившие в российском обществе в преддверии будущих цивилизационных потрясений, стали прологом к очередной дивергенции русского этноса, что отмечали и современники. По мнению лидеров русского союза националистов, малороссийский народ инстинктивно еще верен общерусской национальной идее. Но Киев, например, уже распропагандирован, несмотря на то, что более половины его населения составляют великороссы. Характерно, что начало периода дивергенции русского социума во времени совпало с наивысшим проявлением сепаратистских устремлений не только поляков, финнов, прибалтов, но и значительного числа малороссов и белорусов.

Следует отметить, что если в Российской империи русский народ, его три части представляли собой доминирующую этническую субстанцию, то в СССР его пытались превратить в деэтнизированный, инфантильный массив советских людей. Лидеры большевиков отвергали этнический, природный компонент в понятии нации. Они рассматривали нацию преимущественно как продукт определенного этапа историко-экономического развития (а именно – капитализма), обреченный в следующей исторической стадии на растворение при «самом тесном соединении пролетариата всех наций» [5]. Все это имело решающее значение для усиления процессов очередной дивергенции русского этноса в конце XX века. Следует отметить, что стержнем национальной политики советских лидеров была идейно-политическая, а не этнокультурная ассимиляция и унификация различных этносов страны, которые исключались, поскольку институционализация

этничности проводилась на субгосударственном уровне, а не на уровне государства в целом. В развитии этносоциокультурных процессов, в годы советской власти, наблюдались как бы две противоположные тенденции. С одной стороны, происходило сближение между различными этносами страны в процессе интеграционных и ассимиляционных процессов, а с другой – проводимая властями политика «коренизации» подспудно провоцировала рост центробежной тенденции и сепаратистских устремлений. Необходимо отметить, что такое государственное образование как СССР могло существовать преимущественно за счет эксплуатации ресурсов территориального и этнического ядра – русских. Поэтому русское самосознание, которое всегда все пространство России включало в понятие «большой Родины», стало подвергаться определенной трансформации.

Исключительно негативную роль в начавшихся центробежных процессах в СССР сыграло проведенное большевиками территориально-административное деление единого российского государства. Помимо этого, на федеральном уровне начинается создание новых этнонимов, закрепление и фиксация их в документах и статистических данных, например, «украинизация» русских, говорящих на русско-украинской смеси, имеющих «нерусские» фамилии и т.д. Власти, в конечном счете, признали каждую из ветвей русских самостоятельным народом. Однако, несмотря на усилия лидеров большевиков по разделению русского субстрата на три «народа», в годы советской власти ассимиляционные процессы приобретают наиболее динамичный характер.

Между тем, интенсивному развитию конвергенционных процессов на Западе, в отличие, например, от России способствовал и тот факт, что у французов, англичан, немцев и других весьма развит этноцентризм, который лишь в слабой мере был выражен в самосознании русских, особенно во 2-й половине XX столетия. Русскому же самосознанию присуща в большей степени духовная, державная ориентация, а не только ориентация по «крови». Необходимо отметить, что сегодня наблюдается определенная тенденция роста самосознания русских в широком и узком смысле слова. Так, на вопрос: «Чувствуете ли вы себя русским человеком?», – 77% опрошенных респондентов в 2003 г. выбрали позицию «постоянно», и еще 28% – в «отдельных случаях» [6, с.17]. Одной из причин «неслияния» трех частей русского народа могла быть и следующая: русская нация, так же как американская, в XX веке еще продолжала «твориться» [7]. Но «российское творение», в отличие от американского, заключалось не в «переваривании» разнородных этнических компонентов, а в очередной консолидации, унификации этнических подразделений русского народа. И, наконец, РСФСР не стала такой центростремительной силой, которой обладала Пруссия для немецких княжеств, при их объединении.

Характерно, что несмотря на проводимую политику (например, властями Украины) по дистанцированию от России, по-прежнему, как и в прошлом, свыше 2/3 россиян, не готовы считать Украину за границей [8, с.54]. Это связано и с тем, что русские по своей сути, образу жизни и установкам были и пока продолжают оставаться наиболее интернационалистически настроенным этносом, открытым всему миру и поэтому слабо реагирующим на ущемление их возможностей и прав, как в России, так и вне нее. Но дело, по-видимому, не только в толерантности этнических русских и других народов нашей страны. По мнению ученого Н.Г. Козина, России не дают стать Россией, исповедовать ценности собственной национальной идентификации, развиваться на базе основ собственной цивилизации, генетического кода собственной истории [9, с.53]. Что же касается такой внешней индифферентности русских, то одной из причин являлось искусственное создание большевиками, на государственном уровне, этнонимов «украинец» и «белорус», в результате чего этнический русский («великоросс») при отстаивании своих национальных прав часто попадал в довольно затруднительное положение. Какова национальность русских людей, у которых окончания фамилий несколько иные, нежели – ин, – ов, – ев, или в их разговорном языке наблюдаются малоросские компоненты? Большая же часть русских людей, которой законодательно определили их

этническую принадлежность в годы советской власти, чувствовала некоторую раздвоенность и неудобства в вопросах идентификации. Это проецировалось записью в паспорте, фамилией, местом проживания, особенностями языка и др. Поэтому русские, имеющие санкционированную еще большевистскими лидерами национальность украинец или белорус, имели чувство какой-то неопределённой двойственности, неуютности в плане самоидентификации, что порождало в сознании людей дискомфорт, недовольство и явилось, не в последнюю очередь, одним из основных факторов дивергенции русского народа в конце XX века. Вместе с тем и представители «санкционированной» большевиками национальности «русский в урезанном виде», во многом не были на должном уровне своей идентичности, в вопросах отстаивания своих прав. Это обстоятельство стало одной из причин слабости и размытости этнической идентичности и самих русских (великороссов).

В целом же, нивелирующее воздействие консолидационных процессов на протяжении всего советского периода привело к стиранию особенностей и различий всех русских этнических подразделений, на какой бы основе они ни были созданы, – социальной, религиозной, территориальной, экономической (казаки, поморы, некрасовцы, старoverы, пинчуки, бойки и др.). Все эти процессы трансформации самосознания различных этнографических групп находили свое отражение в данных Всесоюзных переписей населения в СССР. Переходные группы насчитывали уже тогда миллионы человек. Но в конце XX столетия под воздействием негативных факторов три ветви русского народа так и не эволюционировали в «общерусскую», что, в конечном счете, привело социум к его очередной дивергенции. И несмотря на происшедшие кардинальные изменения в последние два десятилетия, русские, украинцы и белорусы сохраняют в себе не только историческую память, но и подспудно продолжают идентифицировать себя единым народом [10, с.49]. Об этом свидетельствует и миграционное поведение русских, украинцев, белорусов, которое продолжает строиться не в этнической, то есть в новой идентичности «суверенных государств», а определённно в «суперэтнической», по сути русской, в широком смысле, системе координат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бердяев Н.А. Судьба России. Опыты по психологии войны и национальности / Н.А. Бердяев. М.: Мысль, 1990. 207 с.
2. Каппелер А. Россия – многонациональная империя: возникновение, история, распад / А. Каппелер. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 344 с.
3. Тютчев Ф.И. Литературное наследство / Ф.И. Тютчев. М.: Наука, 1988. Кн. 2. 708 с.
4. Тургенев Н.И. Россия и русские / Н.И. Тургенев. М.: ОГИ, 2001. 472 с.
5. Ленин В.И. Полное собрание сочинений / В.И. Ленин. М.: Политиздат.1980. Т. 25. С. 262-319.
6. Дробижева Л.М. Завоевания демократии и этнонациональные проблемы России / Л.М. Дробижева // Общественные науки и современность. 2005. № 2. С. 17.
7. Струве П.Б. PATRIOTICA. Политика, культура, религия, социализм / П.Б. Струве. М.: Республика, 1997. 426 с.
8. Лапин В.В. Освоение институтов и ценностей демократии украинским и российским массовым сознанием / В.В. Лапин, В.И. Пантин // Политические исследования. 2005. № 1. С. 50-62.
9. Козин Н.Г. Идентификационный кризис России / Н.Г. Козин // Свободная мысль. 2002. № 5. С. 47-57.
10. Борисёнок Ю. Восточный сосед / Ю. Борисенко // Родина. 2002. № 7. С. 46-49.

**Мысливцев Виталий Григорьевич** –

кандидат исторических наук, доцент кафедры «История Отечества и культуры» Саратовского государственного технического университета

**Л.А. Отставнова**

**ВЛИЯНИЕ РЕФОРМ СОЦИАЛЬНО – ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ  
НА СИСТЕМУ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
И СТРУКТУРУ РАБОЧИХ МЕСТ**

*Проводится сравнительный анализ социально-трудовых отношений в плановой экономике и в экономике переходного периода, рассматривается поведение основных агентов рынка труда; выявляются изменения в занятости населения и в структуре рабочих мест, в сфере оплаты труда и в трудовом законодательстве. Предлагаются мероприятия, направленные на достижение сбалансированности рабочих мест и трудовых ресурсов, формирование эффективного рынка труда, повышение уровня регистрируемой занятости, улучшение условий труда и обеспечение роста заработной платы в соответствии с ростом производительности труда.*

**L.A. Otstavnova**

**SOCIALLY - LABOR RELATIONSHIPS REFORMS INFLUENCE  
ON HUMAN RESOURCES REPRODUCTION SYSTEM  
AND WORKPLACES STRUCTURE**

*In clause the comparative analysis of the social - labor relationships in a planned economy and in an economy of the transition period will be carried out, the behavior of the basic agents of the market of work is considered; the changes in employment of the population and in structure of workplaces, in sphere of payment of work and in the labor legislation come to light. The measures directed on achievement to equation of workplaces and manpower, formation of the effective market of work, increase of a level of registered employment, improvement of working conditions and maintenance of growth of wages are offered according to growth of productivity of work.*

Успех рыночных преобразований во многом определяется ролью человека, наличием у него трудовых способностей и возможностей, их реализацией. Только тогда возможны экономический рост и повышение благосостояния людей в целом. Следовательно, темпы становления новой системы хозяйствования в российской экономике зависят не только от наличия природных богатств, но и от того, насколько развиты, востребованы и активно реализуются человеческие ресурсы, предполагая при этом их расширенное воспроизводство. Обеспечение расширенного воспроизводства человеческих ресурсов сегодня – это не только средство и условие развития общественного производства, но и приоритетная цель качественного улучшения современного российского общества, основанного на традиции знания; государства, основанного на чувстве ответственности перед обществом; экономики, основанной на динамике обновления. Реализация этой цели возможна путем реформирования, которое должно осуществляться по трем направлениям: жизнеспособность экономики, институты управления, воспроизводство человеческих ресурсов.

Изменения в обществе, такие как нестабильная социально-экономическая и политическая ситуация, появление безработицы, ускоренная динамика изменения профессионально-квалификационной структуры общественного производства, обострение противоречий в общественном и индивидуальном самосознании породили ряд проблем, связанных с освоением нового социально-экономического опыта. Неотъемлемой составной частью рыночной системы стал рынок труда как совокупность экономических механизмов, норм и институтов, обеспечивающих воспроизводство человеческих ресурсов и их использование.

В плановой экономике трудовые отношения жестко регулировались государством, которое выступало в роли единственного крупного работодателя. Частный сектор либо отсутствовал, либо занимал подчиненное положение. Это привело к серьезным искажениям в структуре рабочих мест: при гипертрофии промышленного сектора слабое развитие имела сфера услуг. Основная масса рабочих мест концентрировалась на крупных и сверхкрупных предприятиях, на небольших предприятиях доля рабочих мест была чрезвычайно низкой.

С точки зрения предложения труда экономика советского типа характеризовалась всеобщей вовлеченностью населения в производственный процесс, а также государственной политикой, ориентирующей граждан на готовность к сверхнормативному и сверхурочному труду, к участию в процессах, не свойственных выполняемой ими профессиональной деятельности, например, к участию в общественной работе, субботниках, в работе на овощных базах и уборке урожая и т.д. Этому способствовал особый механизм оплаты труда: примерно четверть своих доходов советские люди получали не в виде прямой оплаты труда, а через так называемые фонды общественного потребления, предполагавшие относительную общедоступность для каждого из них таких социальных благ, как дешевое питание, бесплатное образование и здравоохранение, минимальная оплата за жилье и проезд в транспорте, пользование детским садом, приобретение путевок в санатории и т.д. Таким образом, советские люди имели хорошо организованную систему воспроизводства человеческих ресурсов, но доступ к этим благам был связан с работой на данном предприятии и привязывал к конкретному внутреннему рынку труда, что существенно ограничивало мобильность рабочей силы.

При этом заработная плата, как средство вознаграждения по результатам труда, была меньше по размерам, чем у зарубежных рабочих. Это было отражением идеологической установки на сдерживание личной предпринимательской инициативы, нарушающей целостность единой государственной производственной системы, а также проявлением низкой производительности общественного труда вследствие огромных потерь от бесконтрольности при достигнутом уровне обобществления.

Строго регламентировались возможности самозанятости и вторичной занятости. Практически исключалась возможность иметь и развивать личную предпринимательскую или коммерческую направленность трудовой деятельности. Лишь некоторые профессии, например, адвокаты, дантисты, парикмахеры, представители творческой интеллигенции сохранили право на индивидуальную трудовую деятельность, хотя система постоянно боролась с ними. Трудовая активность населения поддерживалась на искусственно высоком уровне.

С точки зрения предложения рабочих мест экономика советского типа характеризовалась сочетанием хронического их избытка с хронической их нехваткой. С одной стороны, предприятия были лишены возможности создавать рабочие места именно тогда, когда в них возникала реальная потребность, так что приходилось поддерживать избыточное количество рабочих мест. С другой стороны, доля предприятий в получении крупномасштабных дотаций и дешевых кредитов со стороны государства напрямую зависела от того, сколько рабочих мест им уже удалось сосредоточить под своим контролем. Поэтому, каким бы массовым резервом ни располагали предприятия, он всегда воспринимался как недостаточный.

Поиск на рынке труда в условиях плановой экономики не мог принимать форму открытой безработицы. Система материальной поддержки безработных отсутствовала, поскольку отрицалась сама возможность их существования.

Кроме всего вышеизложенного, можно выделить и положительные характеристики, вытекающие из гуманистической функции института труда. Нигде в мире не было такой целостной системы воспроизводства человеческих ресурсов, включавшей в себя государственные механизмы, средства предприятий, социальную сферу в целом. Существовал ряд социальных гарантий, исключавших возможность необоснованных увольнений, обеспечивающих общую уверенность работника в своем будущем, возможность профессионального роста, социальную защиту в случае потери трудоспособности, что вытекало из обязательной подчиненности всех звеньев хозяйственного механизма общегосударственным законам.

Переход от централизованного директивного управления экономикой к рыночному ее регулированию, коренные изменения в структуре форм собственности, негативные последствия экономического кризиса и сложного финансового положения рыночных субъектов в наибольшей степени отразились в сфере труда и социальной защиты и потребовали новых форм и методов регулирования трудовых отношений.

В первые годы реформ структура рабочих мест в российской экономике оказалась довольно устойчивой и не слишком чувствительной к провалам в экономической активности: между темпами падения производства и темпами падения занятости образовался внушительный разрыв. По данным Госкомстата России в 1998 г. по сравнению с 1990 г. при снижении численности занятых на 15,6% ВВП сократился на 44,2%. Покупательная способность населения, выражаемая показателем реально располагаемых доходов, к 2000 г. составила 44,9% уровня 1991 г. Начавшееся с 1999 г. оживление не привело к существенному повышению в экономике спроса на труд: если ВВП в 1999-2001 гг. увеличился на 20,6% к уровню 1998 г., то численность занятых – только на 1,1% [1].

Старая система трудового законодательства с достаточно высоким формальным уровнем защиты прав работника пришла в противоречие с новыми социально-экономическими условиями. Это не могло не настораживать, потому что от состояния социально-трудовых отношений зависит воспроизводство и развитие главной производительной силы современности – человека наемного труда.

Все эти факторы, а также сохранение многочисленных элементов старой системы трудовых отношений на региональном и отраслевом уровнях, административные преграды, недостаточная мобильность рабочей силы привели к формированию чрезвычайно сегментированного рынка труда. Произошло перераспределение трудовых ресурсов: начиная с 1990 г. из 75,6 млн. человек, занятых в промышленности, 10,9 млн. перешло в иные сферы деятельности, прежде всего связанные с samozанятостью, неформальной занятостью или занятостью в коммерческом секторе (в сфере уличной торговли, бытовых услуг, посреднической деятельности). Так, в ноябре 2001 г. в отраслях, производящих товары, на основной работе было занято 26,8 млн. человек или 41,4% общей численности занятого в экономике населения; в отраслях, оказывающих услуги, – 37,9 млн. человек (58,6%) [2]. Число занятых в торговле увеличилось с 7,8% в 1990 г. до 15,4 % в 2001 г. Рост работников этой отрасли происходил за счет людей, которые были вынуждены уволиться из других отраслей в связи с экономическим кризисом. В три раза возросло количество занятых в финансах и в 2,1 раза – в управлении [3].

С 1991 по 2003 гг. общая численность работающих в экономике стран Содружества сократилась: например, в Беларуси – на 15%, Молдове – на 11%, России – на 13%, Украине – на 16%. Наряду с этим, в негосударственном секторе (на предприятиях частной формы собственности, совместных предприятиях и предприятиях со смешанной и другими формами негосударственной собственности) в Беларуси, Молдове численность работников возросла в 1,5 раза, России и Украине – в 3 раза. Изменения в структуре занятости в большинстве стран характеризовались снижением численности наемного персонала, который до реформ был

преобладающим, и постоянным ростом численности работающих не по найму (работодателей, самостоятельно занятых лиц, членов производственных кооперативов). В 2003 г. доля работающих не по найму в общей численности занятого населения в Армении, Молдове составила 50%, Украине – 30%, в Беларуси и России – около 7% [4].

С одной стороны, структура занятости почти достигла мировых стандартов. С другой стороны, уменьшилась численность работников таких важных отраслей, как электротехническая промышленность, приборостроение, станкостроение, которые определяли возможности развития новейших технологий. Значительно сократилось число занятых в науке и научном обслуживании. Потери этих кадров существенно уменьшили возможность модернизации экономики, ее приспособления к меняющимся условиям экономической ситуации. Были поставлены под сомнение возможности реализации многих проектов, столь необходимых для возрождения экономики страны. Уволенные работники теряли свою квалификацию, навыки к трудовой деятельности из-за длительной не востребоваемости на рынке труда. В итоге в стране сложилась ситуация, когда профессионально хорошо подготовленный, физически здоровый человек оказывался без привычных доходов, а некоторые и без работы, и без постоянных источников доходов.

Начали развиваться неформальные трудовые отношения даже в регистрируемом секторе экономики, что повлекло за собой расширение нерегистрируемой занятости. По усредненным данным квартальных обследований по проблемам занятости, проведенных в 2003 г., из общего количества рабочих мест основной и дополнительной работы 11,9 млн. рабочих мест (17,4%) классифицировались как рабочие места неформальной занятости, из них 9,5 млн. рабочих мест (80%) являлись местом основной работы, 2,3 млн. рабочих мест (20%) – местом дополнительной работы. В числе рабочих мест основной и дополнительной работы рабочие места неформальной занятости составляли соответственно 15 и 87%. За период с 2001 по 2003 гг. общее количество рабочих мест неформальной занятости увеличилось на 19%. Расширение неформальной занятости произошло за счет увеличения числа рабочих мест основной работы, прирост которого за этот период составил около 26%. Число рабочих мест дополнительной работы сократилось на 3,5%, что определяется снижением численности занятых производством продукции в личном подсобном хозяйстве для реализации [5].

В сфере оплаты труда стала наблюдаться чрезмерная дифференциация: внутри предприятия, между отраслями и регионами, между минимальным и средним размерами оплаты труда, между уровнем заработной платы и прожиточным минимумом. Так, в 2002 г. разница в оплате труда основной части рабочих и администрации достигала 20 раз. Отраслевые различия составляют не менее 10 раз: в газовой промышленности средняя начисленная зарплата равна 11009 руб., в сельском хозяйстве – 891 руб. Региональные различия достигают 8 раз: Тюменская область – 6707 руб., Ингушетия – 879 руб. Большая разница между предприятиями разных форм собственности: муниципальная собственность – 144 руб., иностранная и совместная формы собственности – 4588 руб. [6]. Появились такие негативные явления, как отставание уровня оплаты труда в бюджетной сфере, задержки по выплате начисленной заработной платы, а также незарегистрированные в официальных отчетах выплаты наличных денег, натуральные формы оплаты труда.

Задержки по выплате заработной платы оказались дополнительным инструментом, позволяющим предприятиям поддерживать избыточную занятость без ущерба для конкурентоспособности. Внутри предприятия задержки по заработной плате распределялись крайне неравномерно. Специалисты, пользующиеся повышенным спросом на рынке труда, гораздо реже и в меньших размерах испытывали задержки по зарплате. В основном задержки по зарплате наблюдались у наименее квалифицированных и неконкурентоспособных работников, представляющих на предприятии большинство.

Реальная заработная плата в России с начала 90-х гг. сократилась более чем наполовину. Она упала тремя прыжками, связанными с шоковыми ситуациями в макроэкономике.

Первый прыжок – либерализация цен в начале 1992 года. Второй – это конец 1994 года. Третий – кризис 1998 года. В 1992 г. по сравнению с 1991 г. заработная плата сократилась с 548 руб. до 369 руб. (в ценах 1990 года), т.е. упала на треть. В 1992-1999 гг. среднемесячная зарплата сократилась на 46,6%.

Падение заработной платы свидетельствует о ее высокой гибкости, которая достигалась следующими средствами:

1. В периоды высокой инфляции работодатели не повышали номинальную денежную заработную плату теми же темпами, которыми росли цены.

2. В структуре заработной платы в России большое место занимает надтарифная часть (премии, выплаты), поэтому работодатель может манипулировать этой частью и снижать общий объем заработка, даже не затрагивая тарифную ставку работника.

3. Имели место задержки заработной платы и скрытая оплата труда.

На предприятиях большинства отраслей экономики отмечалось заметное ухудшение состояния условий и безопасности труда, что крайне разрушительно действует на воспроизводство трудовых ресурсов. В 2001 г. рост количества впервые выявленных больных профессиональными заболеваниями по сравнению с 1990 г. составил 13%. Причинами роста производственного травматизма и профессиональных заболеваний являются: износ основных фондов и низкий технический уровень используемых технологий; ухудшение обеспечения средствами индивидуальной защиты; отсутствие нормативной, осведомляющей и регулирующей информации; массовые нарушения технологической и производственной дисциплины; низкий уровень культуры производства, социальной активности и профессиональной подготовки работников; несоблюдение режимов труда и отдыха, резкое сокращение медицинских осмотров. Получило распространение сокрытие работодателями от учета и расследования несчастных случаев на производстве. Это явилось результатом того, что административно-командные методы управления охраной труда не были заменены экономическим механизмом, стимулирующим работодателей к достижению более высокого уровня безопасности труда, а работника к соблюдению техники безопасности.

Рыночные реформы означали отмену большей части административных ограничений, действовавших в сфере занятости при прежнем экономическом режиме. Государство лишилось статуса работодателя-монополиста, наряду с государственным возник и начал бурно развиваться новый частный сектор. Среднегодовая численность занятых в экономике на предприятиях частной формы собственности увеличилась на 28,4 % (с 19,5% в 1992 г. до 47,9% в 2001 г.), в то время как количество занятых на предприятиях государственной и муниципальной форм собственности сократилось на 31,5% (с 68,9% в 1992 г. до 37,4% в 2001 г.). С 1995 г. наблюдается заметное увеличение доли занятых на предприятиях совместной российской и иностранной формы собственности, что говорит о привлекательности нашей экономики для иностранных инвесторов [7].

Широкое распространение получили самозанятость и вторичная занятость. Предприятия начали самостоятельно решать вопросы зарплаты работников, условий и охраны труда, численности и состава персонала, организации и нормирования труда. Трудовая деятельность утратила обязательный характер. Исключительное право распоряжаться своими способностями к труду было признано за самими работниками. Была признана неизбежность существования такого экономического явления как безработица, в результате чего создается Федеральная служба занятости населения.

Сейчас в России существует довольно специфическая ситуация с основными агентами рынка труда. В «новом» секторе экономики, состоящем из хозяйственных организаций, возникающих вне процесса приватизации государственной собственности, практически отсутствуют профсоюзы, а отношения с отдельным работником складываются по двум основным моделям. С наиболее квалифицированными работниками, которые на рынке труда пользуются спросом, – это фактически современная форма контрактного найма с достаточно высокими

ми гарантиями, определенными соглашением сторон. Что касается массовых категорий работников, то конкретные условия их труда и его оплаты зависят от экономического положения организации, но общим правилом является максимальная гибкость условий найма при минимуме гарантий стабильности и при возможности в любой момент расторгнуть фактический трудовой договор.

В «старом» секторе, состоящем из бюджетных учреждений, государственных и муниципальных унитарных предприятий и хозяйственных организаций, созданных в процессе приватизации, в значительной мере сохранилась старая взаимосвязь работодателя с профсоюзами бывшей партийной системы, хотя последние и переживают процесс медленной и мучительной трансформации.

В результате наблюдается довольно пестрая картина разных типов коллективно-договорных отношений. В основном это формальные коллективные договоры на уровне предприятий, дополняемые еще более формальными отраслевыми и региональными соглашениями. Вся система увенчивается Генеральным соглашением. Кое-где профсоюзам удается добиваться заключения реальных коллективных договоров. Поэтому, возрождающемуся на принципиально новой основе национальному хозяйству России необходимы новые отношения между тремя сторонами социально-трудовых отношений: работниками наемного труда, работодателями и государством.

В первую очередь в формировании новых отношений заинтересованы наемные работники. Располагая таким механизмом регулирования социально-трудовых отношений, как процесс переговоров, они обретают возможность добиваться улучшения условий труда и его оплаты. Они обретают уверенность в защите от беззакония и произвола со стороны администрации предприятия и в деловом подходе к решению трудовых споров. Сотрудничество с администрацией делает их положение более стабильным и предсказуемым.

Объективно заинтересованы в формировании новых отношений и работодатели. Взаимопонимание и согласование интересов двух сторон должно стать эффективной предпосылкой для современной мотивации труда и стабильной работы. Причем, чем выше уровень содержания труда, тем сильнее проявляются преимущества сотрудничества и согласования интересов сторон.

В меньшей степени заинтересовано в формировании новых, цивилизованных социально-трудовых отношений и государство. Оно заинтересовано в том, чтобы затраты на воспроизводство рабочей силы работников, их жизни и жизни их семей полностью покрывались за счет оплаты их труда. Нарушение этого условия ведет к тому, что государство вынуждено из бюджета ассигновать средства на оказание социальной помощи бедствующим семьям, компенсировать недоборы по медицинскому страхованию, соцстраху. Государство заинтересовано в том, чтобы на предприятиях соблюдались нормальные условия труда. Это дает определенные гарантии снижения профзаболеваний и инвалидности, а это, в свою очередь, снижает нагрузку на пенсионный фонд.

Однако мировая практика регулирования трудовых отношений свидетельствует, что трудовое право не может и не должно быть абсолютно «симметричным» по отношению к работнику и работодателю. Отдельный работник – слабый и уязвимый субъект права, поэтому законодательство должно предусматривать более высокую степень его защиты, нежели прочих агентов, действующих на рынке труда.

Политика в сфере труда в современном обществе должна основываться не на «защите от рынка», а на «защите в рынке» с максимальным использованием рыночных механизмов, при мобилизации личной активности граждан и механизмов их коллективной самоорганизации. Базовой моделью социального государства становится не «государство всеобщего благосостояния», а «субсидиарное государство». Поэтому проведение реформы трудовых отношений требует упорной разъяснительной и просветительской работы. Ее предметом должны быть реальная ситуация на рынке труда, международный опыт регулирования трудовых от-

ношений и проведения реформ в этой сфере, общее повышение правовой грамотности населения в области трудового права. Для этого разрабатываются государственные программы информационно-методической поддержки гражданской самозащиты, которые несут в себе две функции. Первая, просветительская – это передача населению социальных и правовых знаний, помогающих адаптироваться к новым условиям в сфере труда и занятости, получить необходимые навыки для эффективного отстаивания своих прав и законных интересов. Вторая, политическая – это государственные программы, являющиеся средством политической поддержки работников, проявления солидарности государства с широкими слоями населения, способствующие позитивному отношению населения к проводимым преобразованиям.

Программы информационно-методической поддержки призваны обеспечить работника знаниями и навыками, необходимыми для:

- самостоятельного трудоустройства и максимально эффективного использования возможностей различных посредников на рынке труда, например, службы занятости, агентств по трудоустройству и т.п.;
- защиты своих прав и законных интересов при заключении трудового договора, разрешения трудовых споров в судебном и досудебном порядке;
- эффективного использования при защите своих прав и интересов возможностей профсоюзов, правозащитных организаций, адвокатов, инспекций по труду, других государственных органов.

Подобные программы должны включать необходимый минимум знаний о правах и обязанностях, о закрепляющих их нормативных актах, о государственных и гражданских институтах, обеспечивающих их соблюдение, а также социально-правовые рекомендации, предлагающие гражданину последовательные алгоритмы действий, необходимые для решения социально-трудовых проблем. Передача знаний в области защиты трудовых прав и интересов должна осуществляться в самых разнообразных и удобных для населения формах: массовые печатные издания, социальная реклама в средствах массовой информации, государственные бесплатные курсы правовой самозащиты, организуемые на местах совместно администрацией, профсоюзами и правозащитными организациями.

В связи с этим одним из приоритетных направлений политики в сфере трудовых отношений является реформирование трудового законодательства, направленное на повышение мобильности рабочей силы и сокращение скрытых процессов на рынке труда с тем, чтобы добиться высокого уровня сбалансированности рабочих мест и трудовых ресурсов на этом рынке и, тем самым, обеспечить максимально возможный уровень занятости. Для этого потребуются повысить роль договорного регулирования трудовых отношений и, прежде всего, через повышение роли индивидуальных трудовых договоров, некоторого упрощения процедуры их расторжения по инициативе работодателя, расширения круга вопросов, регулируемых непосредственно договорами.

Кроме того, достижения сбалансированности рабочих мест и трудовых ресурсов, снижения естественного уровня безработицы можно добиться вследствие экономического роста, сопровождающегося генерированием рабочих мест. Однако на первых этапах этого процесса может наблюдаться рост безработицы по ряду причин:

- активизация процессов высвобождения в связи с ростом производительности труда и стремлением к освобождению от избыточной рабочей силы;
- структурные несоответствия между создаваемыми рабочими местами и квалификационными и демографическими характеристиками рабочей силы;
- территориальное несовпадение регионов, генерирующих предложение рабочих мест, и регионов, где сосредоточена незанятая рабочая сила.

Поэтому необходимо, чтобы в современных условиях работодатели, используя в полной мере установленные законом права и обязанности, были заинтересованы поддерживать положительный баланс численности ликвидируемых и создаваемых рабочих мест, увеличи-

вать число эффективных рабочих мест с достойным уровнем оплаты труда, содействовать трудоустройству и профессиональной подготовке высвобождаемых работников, используя внутрифирменное их перераспределение.

Меры по стимулированию предложений рабочих мест работодателями должны быть по возможности встроены в общеэкономическую политику, в том числе на региональном уровне, например, косвенное стимулирование трудоемких производств, социальная экспертиза конкурирующих проектов, создание благоприятных инвестиционных условий, комплексное развитие кризисных территорий.

Признание контрактной природы трудовых отношений требует углубленной разработки законодательства об индивидуальных и коллективных договорах, содержащих конкретные обязательства и мероприятия, направленные на решение наиболее острых социальных проблем: вопросов оплаты, охраны и безопасности труда, обеспечения занятости, профподготовки и социальных гарантий.

В настоящее время максимальное количество договоров заключается на предприятиях, относящихся к государственной и муниципальной формам собственности. В негосударственном секторе экономики в результате слабой деятельности профсоюзов регулирование трудовых отношений по существу находится в руках работодателей. Особенно неудовлетворительное положение в этом вопросе на малых предприятиях частного сектора экономики. Основными причинами, сдерживающими заключение коллективных договоров, являются: неустойчивое финансовое положение, нежелание работодателей в условиях экономической и финансовой нестабильности брать на себя конкретные обязательства, отсутствие профорганизаций, противостояние работодателей-собственников объединению работников, социальная пассивность работников, недооценка ими роли и значения коллективного договора как инструмента защиты их прав.

Унаследованное из социалистического прошлого трудовое право негативно влияет на ситуацию на рынке труда и на развитие трудовых отношений по следующим причинам:

1. Сохранение у значительной части работающих социально-экономической зависимости: наиболее симптоматической ее чертой является неверие в свои силы и постоянная ориентация на поддержку извне. Эти люди не считают себя собственниками своей рабочей силы и не готовы к обсуждению ее справедливой оплаты. Значительная часть работников по-прежнему уверены в том, что решения, связанные с ростом их благосостояния, должны приниматься правительством. Коллективный договор они продолжают рассматривать лишь как план мероприятий по улучшению социально-бытовых условий, который из-за отсутствия средств не выполняется.

2. Трудовое право перегружено большим объемом гарантий и компенсаций для работника, основная тяжесть финансового обеспечения которых возложена на работодателя.

3. Оно крайне негибко в вопросах найма и увольнения работников.

4. Законы по труду, в том числе КЗоТ, во многих случаях не являются актами прямого действия, чрезмерно велика роль «подзаконных» нормативных актов.

Развитие коллективных трудовых отношений с участием профессиональных союзов как представителей работников на уровне отдельных предприятий и организаций, где социально-экономические условия трудовой деятельности являются более однородными, чем на уровне отраслей и регионов, является важнейшим условием повышения гибкости рынка труда. На более высоких уровнях (территория, регион, отрасль) социальное партнерство может развиваться в форме двухсторонних и многосторонних консультаций, в том числе в институциональной форме (трехсторонние комиссии, социально-экономические советы). Решения, принимаемые на этих уровнях, не могут иметь обязывающего характера для организаций, не принимающих непосредственного участия в консультациях и не давших явного согласия на принятие соответствующих решений.

Поэтому реформа трудового законодательства как центральный элемент реформы трудовых отношений должна стать интегральной частью социально-экономических преобразований, направленных на создание эффективной экономической системы, обеспечивающей социальную справедливость в условиях перехода к постиндустриальной стадии развития в глобализующихся экономике и обществе. Стратегическая цель реформы – создание в России эффективного цивилизованного рынка труда, оперативно обеспечивающего работодателей рабочей силой с необходимой квалификацией, а работника – работой с достойной заработной платой и приемлемыми условиями труда.

Достижение этой цели предполагает решение следующих задач:

1. Реформирование трудового законодательства в целях эффективного размещения и использования трудовых ресурсов в экономике при строгом соблюдении основных прав работников (право на справедливую оплату труда, право на защиту от необоснованных увольнений, право на забастовку и т.д.).

2. Развитие механизмов социального партнерства на уровне предприятия, формирование эффективных механизмов урегулирования трудовых споров и повышение роли индивидуальных и коллективных договоров в регулировании вопросов оплаты и условий труда.

3. Возвращение заработной плате ее воспроизводственной, стимулирующей и регулирующей функций и содействие развитию рыночных механизмов регулирования заработной платы.

4. Рационализация мер государственной поддержки безработных: сосредоточение усилий служб занятости на сокращении периода поиска безработным нового рабочего места и содействии безработным, имеющим наименьшие возможности для трудоустройства.

5. Реформирование системы управления охраной труда через создание экономического механизма, стимулирующего работодателей к поиску путей снижения уровня производственного травматизма, профессиональной и производственно обусловленной заболеваемости, с одной стороны, и работника – к соблюдению техники безопасности – с другой.

В России правовой каркас рынка труда начал формироваться в поздние перестроечные и первые пореформенные годы, когда была принята серия основополагающих законодательных актов, например, «Закон о занятости» (1991 г.), «Закон о коллективных договорах» (1992 г.). Меры по частичному изменению трудового законодательства (внешение изменений и дополнений в КЗоТ, принятие законов «О занятости населения в Российской Федерации», «О коллективных договорах и соглашениях», «О порядке разрешения коллективных трудовых споров (конфликтов)» нарушили целостность системы трудового законодательства, создали в нем ряд противоречий. Кроме того, значительное количество норм, касающихся труда, содержится в различных «отраслевых» законах, которые подчас вступают в противоречие с КЗоТ, серьезно ущемляя права работников. Значительная часть норм о труде содержится в «подзаконных» нормативных актах, количество которых исчисляется тысячами, что делает ситуацию в трудовом законодательстве еще более запутанной и труднообозримой.

Действующее в настоящее время в России трудовое законодательство характеризуется чрезмерно жестким регулированием отношений найма и увольнения, недостаточной проработкой процедур договорного регулирования трудовых отношений, ориентацией на защиту существующих рабочих мест и закреплением их за работниками, перегруженностью льготами и гарантиями, которые финансирует работодатель, не имеющий для этого необходимых оснований и стимулов.

Из этого следует, что реформе должно быть подвергнуто трудовое право как система нормативных актов, а также механизмов нормативного и договорного регулирования трудовых отношений. При этом следует учитывать глубоко дифференцированный и сегментированный характер современного рынка труда, существование на нем групп и слоев работни-

ков, не просто отличающихся разным уровнем квалификации, но часто принадлежащих к разным эпохам технологического развития. Это не позволяет установить единообразные условия найма без ущерба для интересов значительной части работников и ослабления стимулов для экономического роста и научно-технического развития.

В трудовом законодательстве важно отразить особенности регулирования трудовых отношений лиц со специфической правосубъектностью, либо работающих в специфических условиях. Сюда относится разработка особых регулирующих норм для определенных профессиональных групп работников (государственные служащие, моряки, спасатели и др.) и дополнительных норм и гарантий для ряда социальных категорий (женщины и лица с семейными обязанностями, несовершеннолетние, инвалиды, безработные и др.).

В числе первоочередных законопроектов целесообразно было бы разработать и принять федеральные законы «Об общих принципах регулирования трудовых отношений», «Об индивидуальных трудовых договорах», «О социальных судах в Российской Федерации» и т.п. В дальнейшем необходимо пересмотреть существующие законы «О коллективных договорах и соглашениях», «О рабочем времени и времени отдыха», «Об ответственности в трудовых отношениях», «Об участии работников в управлении организацией», «О контроле и надзоре за соблюдением нормативных актов о труде и об охране труда» и т.п.

Основу правовой базы, регулирующей трудовые отношения, составляет Кодекс законов о труде РФ. Главная задача нового Трудового кодекса, вступившего в действие с 1 февраля 2002 г., – показать многообразие видов договоров о труде, имея в виду как традиционные, так и новые трудовые договоры исходя из особенностей различных видов труда и категорий работников. Под прерогативой российского трудового права должны находиться и принципиальные вопросы труда по гражданско-правовым договорам. Трудовое право должно быть не исправительным и не наемным трудовым правом. Трудовой кодекс должен охватывать всю сферу трудовых отношений, связанных с физическим лицом – с человеком. Личность должна быть во главе концепции реформы трудовых отношений. Суть действительно необходимой правовой реформы трудовых отношений в России – человек труда, который после принятия нового Трудового кодекса должен реально почувствовать себя личностью.

Реформирование трудовых отношений должно, с одной стороны, создать эффективный, высокоомобильный рынок труда, способный обеспечить структурную перестройку экономики и последующий переход к экономическому росту. С другой стороны, оно должно быть направлено на повышение уровня регистрируемой занятости, нормализацию производственных и социальных условий труда и обеспечение роста заработной платы в соответствии с ростом производительности труда.

Поэтому, в области политики занятости населения особое внимание следует уделить повышению занятости в формальном секторе экономики, снижению длительной безработицы, стимулированию безработных к более активному поиску работы. Этому, например, может способствовать более строгий подход к предоставлению статуса безработного, имеющего право на получение пособия: обязательное участие в общественных работах не менее установленного объема, расширение понятия «подходящей работы» при обязательности безработного соглашаться на нее, проверка материального положения семьи безработного, включая проверку наличия имущества, позволяющего обеспечить достаточный уровень доходов (сдача имущества в аренду, выращивание продукции личного подсобного хозяйства).

Важным условием повышения доли регистрируемой занятости служит снижение налоговой нагрузки на фонд оплаты труда. Предполагается, что одним из следствий реформирования налоговой системы и социальных внебюджетных фондов станет снижение более чем в два раза совокупной ставки подоходного налога и взносов в социальные внебюджетные фонды при одновременном существенном расширении налогооблагаемой базы, которое

позволит в значительной мере компенсировать неизбежное при такой реформе падение реальных поступлений подоходного налога и страховых взносов.

Таким образом, реформа трудовых отношений должна содействовать расширению сферы регистрируемой занятости; сокращению длительной, застойной безработицы; постепенному вытеснению неформальных трудовых отношений; увеличению гибкости трудовых отношений, их адаптивности к изменениям экономической конъюнктуры; повышению территориальной, отраслевой и профессиональной мобильности рабочей силы, росту ее квалификации; повышению уровня оплаты труда в регистрируемом секторе и ее удельного веса в национальном доходе; постепенному приближению уровня оплаты труда работников бюджетного сектора к уровню оплаты труда работников внебюджетной сферы; повышению уровня собираемости подоходного и социального налогов, отчислений в социальные фонды; сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний; усилению реальной защиты основных трудовых прав работника; укреплению профсоюзного движения; повышению производительности труда; структурной перестройке экономики, дающей начало экономическому росту; общему снижению социальной напряженности, переводу трудовых конфликтов в правовое русло индивидуальных и коллективных трудовых споров.

Следовательно, реформу надо направить на повышение гибкости трудовых отношений и механизмов их регулирования с тем, чтобы обеспечить расширенное воспроизводство человеческих ресурсов, включающее их физическое здоровье, образование, воспитание, культуру и профессионализм. Страна, которая имеет такие человеческие ресурсы, будет конкурентоспособна при любых условиях и при любых глобальных изменениях. Необходимо создать все условия для полного развития личности работника, его самовыражения. Особое внимание нужно уделить созданию возможностей для работника систематического профессионального и карьерного роста. При этом должно быть обеспечено достойное место работы в жизни человека. Этому в значительной мере может способствовать развитие трудовой демократии и обеспечение правовой защищенности работника на предприятии. Упор должен быть сделан на создание и стимулирование механизмов саморегулирования на рынке труда при реалистическом уровне государственного регулирования, с учетом возможностей государства и выделением сфер, где саморегулирование оказывается недостаточным, неэффективным или порождающим социально неприемлемые последствия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кашепов А. Факторы, детерминирующие занятость россиян / А. Кашепов, С. Устинов // Человек и труд. 2003. № 1. С. 58-61.
2. Концепция статистики труда в условиях реформирования экономики (по материалам Статкомитета СНГ) // Вопросы статистики. 2004. № 3. С. 35-44.
3. Горбачева Т.Л. Теоретические и практические аспекты измерения занятости в неформальной экономике / Т.Л. Горбачева, З.А. Рыжикова // Вопросы статистики. 2004. № 7. С. 30-39.
4. Тенденции на рынке труда в 2001 году (по материалам Госкомстата России) // Вопросы статистики. 2002. № 9. С. 3-16.
5. Российский статистический ежегодник. 2002: стат. сб. / Госкомстат России. М., 2002. 690 с.
6. Римашевская Н. Экономическая стратификация населения России / Н. Римашевская // Общество и экономика. 2002. № 12. С. 6-14.
7. Россия в цифрах. 2002: крат. стат. сб. / Госкомстат России. М., 2002. 398 с.

**Отставнова Лилия Алексеевна –**

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и учения»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 316.346.3

**П.В. Пучков**

## **ВОПРОСЫ ГЕРОНТОЛОГИЧЕСКОГО ЭБЬЮЗИНГА В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ**

*Статья посвящена некоторым проблемам геронтологического эбьюзинга, кратко рассмотрению теоретических объяснений истоков геронтологического эбьюзинга, аспектов, имеющих рекомендательный характер для изучения социальными работниками.*

**P.V. Puchkov**

## **ELDERLY ABUSING'S QUESTIONS IN SYSTEM OF TRAINING SOCIAL WORKERS**

*The article of recommend character is devoted to some theoretical explanation of sources and problems for elderly abusing studying by social workers.*

Люди, принявшие на себя гуманистическую роль быть социальными работниками, несомненно, должны обладать определенными человеческими качествами, специальными умениями и навыками, которые помогут сделать их высокопрофессиональными специалистами в этой области. Выбор специфических навыков и умений должен быть основан на сознательном усилии социальных работников использовать их в урегулировании определенных жизненных обстоятельств, складывающихся у различных категорий населения.

Известно, что многие социальные работники сталкиваются в своей ежедневной деятельности с широким разнообразием социальных практик, разрешение которых требуют от них приобретения или наличия специальных знаний. К таким специальным знаниям можно отнести и знания, направленные на обнаружение ситуации геронтологического эбьюзинга, понятия, объемным содержанием которого является злоупотребление уязвимым положением геронтологической группы населения, ущемление их интересов и прав, пренебрежительное и уничижительное обращение, нанесение им морального и физического ущерба, как со стороны близких им лиц, так и со стороны посторонних, случайных людей.

Цель этой статьи состоит в том, чтобы осветить актуальность данного социологического явления, попытаться раскрыть дефиницию понятия «геронтологический эбьюзинг», обнажить некоторые проблемы, связанные с определением данного термина в отечественной и западной литературе; проблемы относительно сферы действия и распространенности этого социального зла, проблемы, связанные с факторами риска для геронтологической группы населения, а также имеющиеся в мировой юридической практике средства вмешательства, направленные на предотвращение геронтологического эбьюзинга.

Отметим, что явление, каким является геронтологический эбьюзинг, само по себе не ново, оно своими корнями уходит в глубокую древность, сам факт признания данного феномена впервые вызвал широкий общественный резонанс в Великобритании после опубликования в 1975 году Дж. Берстоном [1] и Бейкером [2] статей, рассказывающих о так называемом «granny battering». А уже в 1978 году данное явление было отмечено американским социологом С.К. Стейнметц в работе [3]. С тех пор стали появляться в различных странах, особенно в Великобритании, Канаде и Соединенных Штатах статьи, монографии и книги по данной проблематике.

В них можно встретить не только различные точки зрения на характер и природу возникновения геронтологического эбьюзинга, но также и сведения, касающиеся данных по распространенности этого явления, как среди институциализированных, так и неинституциализированных лиц пожилого возраста в пределах определенного периода времени. Многие авторы сходятся во мнении, что точные данные трудно было получить не только потому, что существуют различные точки зрения на валидность определения самой сущности феномена «геронтологический эбьюзинг», но также и потому, что методология сбора данных отличается от автора к автору, от одной культуры к другой.

Геронтологический эбьюзинг является одним из самых латентных форм насилия. Это приводит к трудностям определения истинного масштаба распространенности данного вида насилия. Сама же жертва, как правило, отказывается предпринимать какие-либо действия, направленные на обидчика, поскольку боится остаться совсем в одиночестве. Представители правоохранительных органов практически устраниваются от работы в семье, где имеются случаи геронтологического эбьюзинга. В результате трудная жизненная ситуация не получает адекватного разрешения и заканчивается либо увечьями разной степени тяжести, либо смертью зависимых членов семьи от рук людей, создавших критическую и опасную ситуацию в семье.

Данные о распространенности этого социального зла в российском обществе практически отсутствуют, тогда как в западной социологической литературе можно встретить красноречивые данные, подтверждающие этот факт. В работах западных социологов приводятся следующие цифры о распространенности данного явления. Эти данные могут варьироваться как от самого низкого уровня – один-три процента в Австралии, Норвегии и Соединенных Штатах, пять процентов в Финляндии, до высокого уровня – семнадцать процентов в Швеции, двадцать процентов во Франции [4].

В 1989 году на основе выборочного телефонного опроса, осуществленного в Канаде, было выявлено, что из 2008 опрошенных приблизительно 4% сообщили о применении к ним действий, характерных для различных типов геронтологического эбьюзинга. Около 2,5% испытали на себе финансовый геронтологический эбьюзинг, 1,4% – вербальную агрессию и 0,5% – физический геронтологический эбьюзинг. Приблизительно 0,4% всех опрошенных чувствовали на себе проявление геронтологического эбьюзинга пренебрежительного отношения. Как правило, эбьюзерами физического и психологического геронтологического эбьюзинга были самые близкие люди по отношению к своей жертве – супруг или супруга. Финансово-экономический геронтологический эбьюзинг возникал в ситуациях, когда в качестве эбьюзеров выступали как близкие родственники, так и лица, не имеющие родственных к жертвам отношений [4].

Так, исследование, проведенное в Бостоне, показало, что из 2020 лиц пожилого возраста 3,2% процента испытали на себе действия различных типов геронтологического эбьюзинга: приблизительно 2% всех опрошенных подверглись физическому геронтологическому эбьюзингу, 1,1% – вербальному оскорблению, около 0,4 % – геронтологическому эбьюзингу пренебрежительного отношения. Финансово-экономический геронтологический эбьюзинг вообще не принимался во внимание. Данное исследование также показало, что эбьюзерами чаще выступали супруг или супруга (58%), а также взрослые дети (24%) [5, с.7].

Попытка описать данное социальное явление сталкивается с целым рядом решения вопросов, среди которых центральной проблемой с самого начала научного исследования данного феномена является его определение.

Отметим, что в западной социологической литературе основными терминами в данной исследовательской области являются собирательные англоязычные термины «abuse» (плохое или жестокое обращение; злоупотребление; нападение, избиение; ругань, оскорбление, совращение) [6, с.5] и «neglect» (пренебрежение, игнорирование, забывание, ленность, отсутствие заботы, запущенность, заброшенность) [7, с.479]. Поэтому применительно к ситуациям, связанным с неприемлемым, дурным, непристойным, жестоким отношением к лицам старшей возрастной группы, мы в наших исследованиях и используем термин «геронтологический эбьюзинг» (elderly abusing), который, по нашему мнению, наиболее адекватно отражает социологическую сущность данного вида насилия.

Чтобы принять дефиницию данного термина, необходимо также принять во внимание, какие действия необходимо отнести к геронтологическому эбьюзингу, а какие не следует, или точнее выразиться, какие факторы могут выявить и подтвердить жестокое, неприемлемое отношение к геронтологической группе населения. Например, полученные травмы с последующими изменениями на коже, в мягких тканях, во внутренних органах и т.д. могли быть получены вследствие неосторожных действий со стороны и самих потерпевших. Вряд ли можно также считать психологическим или моральным геронтологическим эбьюзингом определенные психические изменения в состоянии пострадавших, если у последних прогрессировал синдром умопомрачения, отягощенный приемом наркотиков, алкоголя или течением психической хронической болезни.

Отметим, что единого подхода, как к дефиниции этого понятия, так и к его типам до сих пор не сложилось, нет также и единого мнения относительно того, сколько типов геронтологического эбьюзинга существует (их количество у разных исследователей варьируется от 5 до 7).

Различия в терминологии разных типов геронтологического эбьюзинга и отсутствие общедоступного и однозначного определения данного понятия могут помешать выработке исследовательской базы, разработке инструментария по вмешательству и предотвращению этого вида насилия. Поэтому вопрос подготовки стандартизированного валидного определения должен быть в центре внимания для социологов, социальных работников, всех исследователей, изучающих данную проблему.

Одно из определений, принятой британской благотворительной организацией «Действия по пресечению практики ущемления интересов пожилых людей», с помощью которого предпринимается попытка учесть вариативность всех существующих дефиниций понятия «геронтологического эбьюзинга», сформулировано следующим образом: «однократное или многократное действие или бездействие в рамках любых взаимоотношений, характеризующихся доверием, в результате чего пожилому человеку наносится ущерб или эмоциональная травма» [8]. Такой подход к определению ущемления интересов пожилых людей стал весьма популярным за последние 20 лет.

Принимая во внимание все вышеизложенное, мы сможем определить геронтологический эбьюзинг как практики проявления жестокого, бесцеремонного обращения с людьми старшей возрастной группы в виде действий оскорбительного характера, в результате которых наносится вред их здоровью со стороны лиц, имеющих к ним значимые близкие отношения. Он может быть физическим и вызывать боль или иметь следствием телесный вред. Он может быть моральным или психологическим, например, оскорбление словом, вызывающее чувство унижения или страха. Или он может носить финансовый характер, когда пользующийся доверием пожилого человека опекающий может незаконно пользоваться финансовыми средствами или собственностью старого человека или присвоить их себе. Он может принимать и форму пренебрежительного отношения, выражающегося, например, в нежелании оказать внимание, обеспечить надлежащее питание, чистую одежду, безопасное и удоб-

ное место в доме, надлежащий медицинский уход, личную гигиену и возможность социального общения. Геронтологический эбьюзинг на сексуальной почве со стороны осуществляющих уход выражается в изнасиловании или недостойных посягательствах и сексуальных домогательствах. Все перечисленные типы геронтологического эбьюзинга могут продолжаться на протяжении всей семейной жизни или в более позднем жизненном периоде.

Если в своих первых исследованиях ученые в основном в своих работах уделяли внимание сбору данных по частотности случаев геронтологического эбьюзинга, исследованию причин его возникновения, то спектр исследований работ конца 80-х – начала 90-х годов прошлого столетия расширился до изучения профиля эбьюзера, типологии геронтологического эбьюзинга, его интерактивных аспектов.

Для теоретического обоснования феномена «геронтологический эбьюзинг» в западной социологической практике существует ряд разнообразных теорий, касающихся обоснования этого социального явления. Многие из них широко принимаются научным сообществом, другие – оспариваются. Ни одна из названных теорий не дает реального представления о феномене «геронтологический эбьюзинг», каждая из них абсолютизирует какой-то один из возможных моментов.

Наиболее устоявшимися из них считается: а) ситуационная теория (situational theory); б) теория социального научения (social learning theory); в) теория агрессивной фрустрации (frustration-aggression theory); г) теория социального обмена (social exchange theory); д) теория справедливости (equity theory); е) теория привязанности к родителям (attachment styles theory); ж) теория символического интеракционизма (symbolic interactionism theory); з) теория аверсивности (aversion theory); и) теория, рассматривающая жертву (эбьюзируемого) и агрессора (эбьюзера) как части транзакционного паттерна, а не как личностные характеристики отдельных индивидов; к) феминистская теория.

К основным факторам риска, влияющим на возникновение и протекание геронтологического эбьюзинга, следует отнести: а) характерные личностные черты эбьюзера; б) поколенческую трансмиссию насилия; в) зависимость от эбьюзера; г) социальные структурные факторы типа эйджизма. Все перечисленные факторы риска так или иначе объясняются любой из теорий, описанных выше.

Характерные личностные черты эбьюзера, как правило, отражают психическую патологию эбьюзеров, связанную либо с принятием наркотиков и употреблением алкоголя, либо с врожденными или приобретенными психическими болезнями.

*Поколенческая трансмиссия насилия.* Популярная гипотеза в литературе по насилию в семье, изучающая геронтологический эбьюзинг, поддерживает идею о том, что дети, с кем плохо обращались их родители в детстве, сами продолжали эбьюзировать своих родителей в более поздней жизни.

*Зависимость от эбьюзера.* Пожилой человек с возрастом все более и более становится зависимым от лица, предоставляющего ему психологическую, физическую и материальную поддержку. Эта зависимость – тяжелое бремя для последнего и может закончиться напряженной обстановкой, что в конечном итоге может привести к геронтологическому эбьюзингу.

*Социальные структурные факторы типа эйджизма.* К одному из факторов, провоцирующему всплеск геронтологического эбьюзинга, следует отнести негативное отношение к данной группе со стороны населения в силу их возраста, характеризующегося началом процесса старения, некоторых функциональных изменений в организме, ведущих к серьезным проблемам, связанным со здоровьем. В том обществе, где акцентируется внимание на привлекательности активной творческой деятельности людей молодого возраста, не может быть места лицам старших возрастов, не учитывается их прошлое профессиональное умение, их огромный жизненный опыт. Такое отрицательное отношение выражается в терминах эйджизма.

Многие социологи также считают, что агрессивное поведение связано с более глубокими причинами, одна из которых связана с существованием такого явления, как сценарное

программирование. Агрессор (эбьюзер), так же как и жертва (эбьюзируемый) находится под властью определенного сценария, который и толкает его к подобной форме поведения. Подсознательной причиной агрессивного поведения является желание навязать собеседнику некоторую роль в этом же сценарии. При подобном характере развития событий агрессор (эбьюзер) и жертва (эбьюзируемый) могут со временем образовать довольно устойчивую симбиотическую пару людей, играющих дополняющие роли в едином сценарии. Основной целью агрессора является разрушение целостности атакуемого и прежде всего навязывание ему определенной роли в своем сценарии. Согласно этой установке и эбьюзер, и эбьюзируемый могут быть рассмотрены как части транзакционного паттерна, а совсем не как личностные характеристики отдельных индивидов.

К этому необходимо добавить важность влияния социальных факторов на семейные установки, например, кто из ближайшего окружения жертвы геронтологического эбьюзинга может занять главенствующее место и надлежащим образом реализовать свою власть. В центре данной интерактивной теории эта проблема властных отношений и насилия рассматривается как разновидность коммуникации. Некоторые полагают, что насилие мужчин в отношении женщин является результатом социализации – с детства мужчины понимают, что насилие – это приемлемая форма коммуникации. Оно может быть частным, личным и интимным языком коммуникации.

Проявление насилия в семье как мужчинами, так и женщинами связывается с дисбалансом власти: семьи, в которых большинство решений принимаются одним из супругов, наиболее часто сталкиваются с проблемой насилия. Отмечаются и различия в использовании насилия мужчинами и женщинами: в то время как мужчины применяют насилие для воздействия на жен, стремясь добиться послушания; для женщин, прибегающих к насилию, это, в основном, акт выражения фрустрации или острого моментального гнева.

Некоторые исследователи взаимоотношений в семье утверждают, что общественные нормы изначально уже установили, кто должен командовать в семье, а кто подчиняться. Ряд ученых видели во внутрисемейном насилии проявление различий властных полномочий мужчин и женщин в ориентированном на патриархальные традиции обществе, основанном на главенстве мужчин. Они исследовали исторические причины домашнего насилия и рассматривающих насилие как пережиток прошлого, когда муж имел закрепленное не только традицией, но и законом право наказывать и дисциплинировать жену. Виктимологический подход к проблеме исходит из того, что женщина своим поведением «жертвы» сама провоцирует насилие. Здесь выделяются 3 фазы насилия.

В первой фазе происходит попытка усиления контроля за насильником со стороны потенциальной жертвы, во второй осуществляется насилие, а третья – обнаруживает зависимость жертвы от насильника, что фактически избавляет его от наказания и приводит к повторению цикла.

Теоретики феминистского направления считают, что насилие, направленное по отношению к женщинам, определяется как мужское принуждение женщины. Другими словами, патриархат и мужское доминирование вносят вклад в насилие против лиц женского рода, ставя любого мужчину в положение потенциального насильника. Патриархат увековечивается и укрепляется культурными идеологиями, существующими социальными учреждениями, социально-экономическим неравенством. Таким образом, корень насилия против женщин происходит от несоответствия власти в мужских и женских отношениях и мужском доминировании в семейных условиях, которое укрепляется через экономические структуры, социальные учреждения и отвергаемости использования рабочей силы женщин. Такое положение дел может привести и к геронтологическому эбьюзингу, потому что мужское доминирование стабильно на протяжении длительного времени и имеет место во взаимоотношениях между мужчинами и женщинами в различных культурах.

Некоторые ученые считают, что, рождаясь женщиной и находясь в определенных отношениях с мужчиной, женщина приобретает особый, более низкий по сравнению с ним социальный статус. Это делает женщину уязвимой для насилия в семье.

Если муж избивает жену, руководствуясь нормами и ценностями той социальной группы, к которой он принадлежит, то, вероятно, это происходит по следующим причинам: 1) он думает, что от него ожидают действий, подтверждающих его главенство в семье; 2) он испытывает беспокойство по поводу угрозы его доминирующему положению.

Однако эти нормы и порождаемые ими ожидания не всегда реализуются так, как представляют себе многие теоретики. Несмотря на то, что жены оказываются менее предрасположенными к физическому насилию по сравнению с мужчинами, они, тем не менее, могут временами демонстрировать явную агрессивность в случаях, когда мужчины провоцируют их или раздражаются угрозами, побуждающими первых к принятию защитных мер.

К другим источникам, побуждающим к открытому геронтологическому эбьюзингу между эбьюзером и эбьюзируемым, можно отнести различные недовольства, придирки, открытые оскорбления, исходящие как от эбьюзера, так и от эбьюзируемого лица. Обмен резкими словами будет учащаться по мере обострения конфликта, в результате чего он может перейти в последнюю стадию открытого насилия. Имеется много примеров в геронтологической литературе, в которой утверждается, что геронтологическое насилие происходит во многих случаях от эбьюзера мужского пола.

Обилие предлагающихся подходов к осмыслению источников геронтологического эбьюзинга в семье позволяет предположить, что эти подходы, взаимно дополняя друг друга, отражают насильственные аспекты различных моделей и/или различные этапы развития семейных отношений.

Объяснительные теории и факторы риска, провоцирующие возникновение и развитие жестокого обращения по отношению к лицам пожилого возраста, в той или иной мере могут помочь в определении стратегических мер в предотвращении проявления актов геронтологического эбьюзинга.

Изучение международного и отечественного опыта, деятельности различных институтов и структур, выполняющих функции по предотвращению и преодолению геронтологического эбьюзинга, а также ряд рекомендаций отечественного характера предоставляет набор основных мероприятий, которые необходимо учитывать при разработке единой модели защиты прав пожилого человека при выявлении актов геронтологического эбьюзинга. К ним следует отнести всю систему социальных институтов и структур, вовлеченную в реализацию комплексных управленческих программ в связи с геронтологическим насилием. На различных этапах процесса принятия и реализации управленческих решений должны быть задействованы: органы исполнительной и законодательной власти разных уровней (от федерального до местного самоуправления); система учреждений социального обслуживания, юридическая система (органы внутренних дел, прокуратура, суды); системы образования и здравоохранения (включая учреждения разного уровня); социальная статистика; средства массовой информации; общественные и некоммерческие организации и объединения; семья; наука; церковь и т.д. Данное перечисление институтов и структур не претендует на определение позиции каждого из них в общей системе принятия управленческих решений, направленных на предотвращение и преодоление геронтологического эбьюзинга, а лишь констатирует их необходимость, так как отсутствие какого-либо из них ослабляет эту работу или делает ее малоэффективной.

Поскольку геронтологический эбьюзинг фактически не является целевым объектом в изучении предмета «социальная работа», то данный феномен требует к себе особого повышенного внимания как со стороны социальных работников, так и со стороны различных специалистов, связанных с данной проблематикой – геронтологов, социологов, юристов, социальных работников. Все вышесказанное может способствовать формированию у последних тех знаний, которые так или иначе развивали бы необходимые профессиональные умения и

навыки, направленные на предотвращение и преодоление геронтологического эбьюзинга во внутрисемейных взаимоотношениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Burston G.R. «Granny – Battering» / G.R. Burston // British Medical Journal, September. 1975. № 6. P. 592-604.
2. Baker A.A. Granny battering / A.A. Baker // Modern Geriatrics. 1975. № 5 (8). P. 20-24.
3. Steinmetz S.K. The Politics of AGING, Battered Parents / S.K. Steinmetz // Society. July – August. 1978. P. 54-55.
4. Abuse and Neglect of Older Adults: A Discussion Paper: [http://www. Public Health Agency of Canada. htm](http://www.PublicHealthAgencyofCanada.htm).
5. McDonald L. Abuse and neglect of elders / L. McDonald // Encyclopedia of Gerontology: Age, Aging, and the Aged. Vol. 1. San Diego, CA: Academic Press. 1996. P. 1-10.
6. Lougman Dictionary of Contemporary English: Lougman Addison Wessley Group LTD. 1978. 490 p.
7. Мюллер В.К. Новый англо-русский словарь / В.К. Мюллер. М. : Рус. яз., 2002. 880 с.
8. Ущемление интересов пожилых людей: выявление практики ущемления интересов пожилых людей и борьба с ней в глобальном контексте: доклад Генерального секретаря на Всемирной ассамблее по проблемам старения: [www.dobroedelo.ru/vrc/pravo/file/ecn5-02pc2.pdf](http://www.dobroedelo.ru/vrc/pravo/file/ecn5-02pc2.pdf).

**Пучков Павел Васильевич –**

докторант кафедры «Социология»

Саратовского государственного технического университета

УДК 008:316.722

**С.М. Федюнина**

#### **МЕЖКУЛЬТУРНАЯ КОММУНИКАЦИЯ КАК СОЦИОКУЛЬТУРНЫЙ ФЕНОМЕН**

*Представлен обзор основных терминов тезауруса мультикультурализма, среди которых особое внимание уделяется понятиям межкультурной коммуникации и межэтнических конфликтов, неравенства, толерантности. Представлены социокультурные типы межкультурной коммуникации, модели объяснений конфликтов и неравенства, выстраиваемые с позиций различных социологических парадигм.*

**S.M. Feduynina**

#### **CROSSCULTURAL COMMUNICATION AS A SOCIAL AND CULTURAL PHENOMENON**

*The article gives a review of the main terms of the multiculturalism thesaurus. Special attention is given to such notions as cross-cultural communication*

*and cross-ethnic conflicts, inequality, tolerance. Social and cultural types of cross-cultural communication, explanatory models of conflicts and inequality are described with the view of different sociologic paradigms.*

В условиях усложнения ориентиров духовной жизни общества в контексте интенсификации транснациональных перемещений и межнациональных контактов, усложнения миграционных процессов, появления новых государств и распада старых, смены идеологических и политических векторов развития межкультурные взаимодействия приобретают новую специфику. Актуальность социологического анализа мультикультурализма определяется усилением роли межкультурных взаимодействий в процессах глобальной интеграции при одновременном возрастании роли факторов, дифференцирующих и разъединяющих население в процессе политических и социально-экономических трансформаций.

В современном мире, пронизанном процессами мобильности больших групп населения и изменений социальной структуры, нередко настороженность в отношении к представителям групп меньшинств или иммигрантам перерастает в нетерпимость, которая проявляется не только на бытовом уровне, но и на уровне общественных институтов, в установках и практической деятельности государственных структур, в СМИ. Одним из способов либерально-демократического противодействия этой опасной тенденции в последние годы стали идея и практика мультикультурализма.

В данной статье представлен обзор основных терминов тезауруса мультикультурализма, среди которых особое внимание уделяется понятиям межкультурной коммуникации и межэтнических конфликтов, неравенства, толерантности. На наш взгляд, важно представить модели объяснений конфликтов и неравенства, выстраиваемые с позиций различных социологических парадигм. Это позволяет не только более глубоко вникнуть в причины неравенства и конфликтов, но и сформулировать ключевые принципы развития современной политики и социальной практики.

Проблемы межкультурных взаимодействий и межкультурной коммуникации, межкультурных, межнациональных, межэтнических конфликтов в настоящее время являются предметом изучения различных дисциплин. Мы рассмотрим типы межкультурной коммуникации и обсудим факторы, обуславливающие характер межкультурных контактов. Основной акцент мы сделаем на сравнении различных способов объяснения межкультурных взаимодействий, в частности, в аспекте конфликта.

Культурное многообразие стало центральной характеристикой современного общества, и значимость этой категории в ближайшем будущем будет только расти. На рубеже тысячелетий мир охвачен процессами фрагментации ценностных систем, когда на месте глубоких идеологических разломов появляются множественные различия стилей культурного потребления, нюансы этнической идентичности, социальных интересов и конфессиональных установок. Сложившиеся традиции перестают соответствовать новой ситуации, целостные этнокультурные системы испытывают кризис на индивидуальном и групповом уровнях. Рост контактов между обществами в результате развития коммуникации и транспорта позволил осуществляться масштабным перемещениям и изменениям населения. Проблема межкультурной коммуникации является сегодня чрезвычайно важной как в международном аспекте, так и в рамках отдельных стран, в особенности для России: на ее территории проживают представители 120 этносов и этнических групп.

По оценкам ряда исследователей, этническая картина России отличается крайней неоднородностью. В. Антонова, например, среди источников культурного многообразия России выделяет «сосуществование внутри данного государства более одной нации, причем «нация» здесь означает исторически сложившуюся общность (historical community), более или менее институционально сложившуюся, занимающую определенную территорию, использующую отдельный язык и культуру» [1, с.4]. Стоит согласиться с автором, что в данном

случае понятие «нация» близко соотносится с понятиями «народ» или «культура»; в самом деле, зачастую эти концепции и определяются друг через друга. Если исходить из такого понимания слова «нация», то получается, что «страна, содержащая более одной нации, является не государством-нацией (nation-state), а многонациональным государством (multinational state), в котором присутствуют более малочисленные культуры «национальных меньшинств». Очевидно, что объединение различных наций в единое государство может быть недобровольным, и явиться результатом, например, завоеваний, колонизации. Однако не исключен и вариант добровольного создания многонационального государства, когда различные культуры соглашаются образовать федерацию для всеобщего блага и процветания» [1, с.4]. В связи с этим мы полагаем оправданным и целесообразным применить концепцию мультикультурализма к анализу социокультурных явлений современной России.

Термин «коммуникация» (лат. communication – «делаю общим, связываю») появляется в научной литературе в начале XX века. Под коммуникацией, в широком плане, понимаются способы общения, позволяющие передавать и принимать разнообразную информацию. В настоящее время этот термин имеет, по крайней мере, три интерпретации и понимается как а) средство связи любых объектов материального и духовного мира, б) общение-передача информации от человека к человеку, в) передача и обмен информации в обществе. В. Конецкая полагает социальную коммуникацию такой деятельностью «людей, которая обусловлена целым рядом социально значимых оценок, конкретных ситуаций, коммуникативных сфер и норм общения, принятых в данном обществе» [2, с.6]. Н.Иконников [3, с.193-207] раскрывает содержание социальной коммуникации как символического взаимодействия, т.е. осуществляемого посредством символов и в символическом пространстве, опираясь на работы классиков социологической мысли и теории коммуникации. Это понятие уточняется с помощью вошедших в ряд широко употребляемых как в научной, так и в повседневной практике словосочетаний, таких как *массовая коммуникация, средства коммуникации, межкультурная коммуникация*.

Базовыми составляющими социальной коммуникации, по В.Конечкой, являются «социальные структуры общества в плане их коммуникативных характеристик; коммуникационные системы, реализующие различные виды социальной коммуникации; каналы, уровни и средства коммуникации, обеспечивающие передачу и восприятие информации и социально значимой оценки» [2, с.9]. Многие авторы делают акцент именно на этой, информационной составляющей определения коммуникации: «...Передача и восприятие информации включает в себя массовые процессы, связанные с отношениями на уровне общества, института, общности, группы, а также межличностное общение» [2, с.194]. Обратим внимание на то, что в первом случае акцент делается на технике общения, во втором – на понимании. Нас будут интересовать обе стороны межкультурной коммуникации.

Существует целый ряд объяснительных моделей социальной коммуникации: социально-психологическое направление (бихевиоризм, диалоговый дискурс К. Ясперса, М.М. Бахтина, М. Бубера); символический интеракционизм (Дж.Г. Мид, Г. Блумер); социолингвистические концепты; феноменологический взгляд на природу данного явления (А. Шюц, Г. Гарфинкель); прагматические теории, рассматривающие практические аспекты передачи, обмена информацией, в частности, массовую коммуникацию (А. Моль); теория информационного общества (Д. Белл, А. Тоффлер).

Особняком стоит коммуникативная парадигма Н. Лумана, согласно которой общество есть самодостаточная, саморазвивающаяся система, которая постоянно взаимодействует с внешней средой. По существу, общество, или, точнее говоря, социум, с точки зрения Н. Лумана, и есть социальная коммуникация. Социум развивается на основе того уровня знаний о себе самом, которым он располагает. С помощью коммуникации социум не только адаптируется к условиям внешней среды, но и воспроизводит собственные смысловые границы, формирует собственную реальность из сети собственных элементов, путем их селекции, комбинирования [4, с. 196-200].

Межкультурная коммуникация, осуществляемая на уровне непосредственного межличностного общения или восприятия информации опосредованно, через какой-либо канал, в качестве которого могут, в том числе, выступать СМИ, телевидение, литература, кино, включает обмен сообщениями в комплексном, сложном символическом пространстве и требует перевода для понимания символов разных культур. Л. Уайт, например, указывает на то, что в культуре существует целый класс предметов – топор, сосуд, прическа, – являющихся воплощенным трудом человека и полностью зависящим от процесса символизации.

Отметим, что привычки, традиции, обычаи, ценности, стереотипы, практики, представления, которые и формируют набор смыслов, откуда в повседневной жизни черпаются понятия для объяснения своего и чужого поведения, – представляют собой относительно стабильный «запас», складывавшийся веками, а то и тысячелетиями. Следовательно, коммуникацию можно рассмотреть не только как взаимодействие, обмен, происходящий «здесь-и-сейчас», коммуникация осуществляется «не только синхронно, но и диахронно, обеспечивая преемственность социального порядка, культуры в форме наследования некоторой суммы (а, точнее, системы) достижений» [3, с.199]. При этом субъекты, вступающие во взаимодействие, осуществляют типизацию ситуации и действующих лиц, по сути дела, соотнося их с имеющимся в их распоряжении репертуаром стереотипов.

В связи с этим в исследовании межкультурной коммуникации необходимо обратиться к проблеме стереотипов и предрассудков, обсудить их функции и роль. С одной стороны, эффективная коммуникация в повседневной ситуации в рамках одной культуры базируется на использовании стереотипов. С другой стороны, стереотипы могут затруднять и даже разрушать межкультурную коммуникацию. Согласимся с В. Попковым, который полагает, что «стереотипам, как и культуре, обучаются различными путями. Обычно они усваиваются в процессе социализации. Поскольку стереотипы представляют собой часть культуры, то «привычку» думать о других группах определенным образом люди «всасывают с молоком матери». Причем это касается не только того, как выглядят чужие группы в наших глазах, но и наших представлений о том, как выглядит собственная группа в представлениях чужих групп... Стереотипы чаще всего приобретаются в процессе общения с теми людьми, с которыми человек проводит большое количество времени. Это – родители, друзья, сверстники, учителя и т.д. Если, например, дети слышат, когда их родители говорят, что «русские слишком простодушны», или что «цыганам в глаза смотреть нельзя, – обманут», то они заучивают стереотипы.

В этнолингвистике понятие стереотипа является абсолютно нейтральным и характеризуется как одно из неперенных условий коммуникативного поведения в разных языковых коллективах.

Если говорить о межэтнической коммуникации, то следует отметить, что ключевые признаки понятия этничности – это идентификация и наименование (labelling) любой группы или категории людей, а также эксплицитные или имплицитные контрасты, созданные между идентифицируемой группой и другой группой или категорией. К понятию этничности, указывает Ч.Сеймор-Смит, всегда применяется дихотомия мы/они. Границы, устанавливаемые как наименованием, так и контрастом, не запрещают индивидам передвигаться туда и обратно между соответствующими группами или категориями, как и не запрещают при этом людям по-разному идентифицировать себя или друг друга. Часто контраст категорий «мы» и «они» определяется конкретной социальной системой или государством-нацией в терминах негативных категорий (например, «не-белые») [5, с.220]. Таким образом, отношения между представителями разных культур на примере разных этнических групп выстраиваются вдоль оси противостояния «мы-они».

Отметим, что в качестве самостоятельного направления проблема межэтнической коммуникации (взаимодействия культур) сложилась еще в XIX веке, но в 60-70-е годы XX века она стала особенно актуальной в связи с исследованиями в области массовых коммуникаций и массовой культуры. Ученые, исследующие процессы межэтнической коммуникации, схо-

дятся во мнении, что эти процессы определяются историческими, социальными, культурными, психологическими, ситуативными и политическими факторами. Среди социальных факторов, влияющих на межэтнические отношения, наиболее существенными являются взаимосвязь социальной и этнической стратификации, влияние социально-структурных изменений, этнический фактор социальной мобильности. Тем самым мы перешли к чрезвычайно важному вопросу о неравенстве в межэтнических взаимодействиях.

Конечно, если вступающие во взаимодействие этнические группы обладают равным статусом, мы имеем дело с идеальной ситуацией. Но подобный тип взаимоотношений встречается очень редко, более распространен вариант дискриминационного типа. В таких случаях необходимо изменение социального положения взаимодействующих этносов. Однако движение к равностатусному обществу, как это ни парадоксально, ведет к напряжениям в межэтнических отношениях. Источником конфликтов становится то обстоятельство, что доминирующая этническая общность должна «потесниться» в своем статусе. Вместе с тем у подчиненного этноса начинает быстро расти потребность в укреплении своего статуса [6, с.245]. Эта мысль вторит идее М.Уолцера о том, что нетерпимость приобретает особенно ожесточенный характер, когда различия культурного, этнического или расового порядка совпадают с классовыми различиями, то есть когда члены меньшинств страдают еще и от экономического угнетения [7, с.71].

Как видим, разговор о терпимости и нетерпимости можно вести в терминах стереотипов и эффективной коммуникации, а можно затронуть аспект структурного неравенства между участниками взаимодействия. Налицо различия парадигм в моделях объяснения характера межкультурного взаимодействия: функционалистская перспектива с очевидностью указывает на роль стереотипов как подспорья или помехи в общении, тогда как критическая ставит вопрос на макроуровне социального неравенства в том или ином обществе и глобальном контексте.

Яркий пример функционалистской трактовки межкультурного взаимодействия – объяснение, предложенное С. Лурье [8, с.399]. Рассматривая вопрос о культурных заимствованиях и факторах, определяющих межэтнические, межкультурные взаимоотношения, С. Лурье говорит о том, что «все новшества, которые этнос может почерпнуть в результате межкультурных контактов, проходят как бы сквозь сито «цензуры». Здесь должен быть поставлен вопрос о соотношении заимствуемых инокультурных черт и функционального внутриэтнического конфликта. Характер последнего стабилен на протяжении всей жизни этноса. Любая культурная черта может уступать место другой, заимствованной из другой культуры, только в том случае, если она не является существенной частью функционального внутриэтнического конфликта... При межкультурном взаимодействии могут восприниматься лишь те культурные черты, которые приемлемы с точки зрения функционального внутрикультурного конфликта народа-реципиента хотя бы посредством определенной коррекции и переосмысления. Любые культурные черты, которые могли бы вызвать дисфункцию функционального внутриэтнического конфликта, данной культурой отвергаются, если, конечно, речь не идет об общем кризисе культуры» [8, с.400].

Взаимодействие культур не всегда можно проинтерпретировать в терминах диалога. Поскольку результаты межэтнического взаимодействия для разных участвующих в нем этносов чаще всего будут различны, то межэтнические контакты могут быть самыми разнообразными по характеру процесса и по своим последствиям. Отечественные этнологи выделяют такие виды контактов: 1) прибавление – этнос, сталкиваясь с другой культурой, осваивает некоторые ее достижения (так, воздействие индейской Америки дало Европе целый ряд культурных растений и навыков); 2) усложнение – качественное изменение культуры этноса под влиянием более зрелой культуры (таково влияние китайской культуры на японскую, в результате чего японскую можно считать дочерней); 3) убавление – потеря собственных навыков в результате столкновения с более развитой культурой, 4) обеднение (эрозия) – деструкция культуры (постепенное исчезновение культуры под влиянием другой [6, с.246]. С нашей точки зрения, данное объяснение близко к

эволюционистской парадигме, поскольку культурные особенности рассматриваются по некоей универсальной для всего мира шкале достижений-убытков, отсюда – оценочные формулировки «бедности» или «зрелости» культуры.

Кроме того, нередко антропологи и социологи обращаются к понятиям «шок» и «адаптация», анализируя состояние и процессы, через которые проходят индивиды или группы, попадая в инокультурное окружение. Говоря о характере межкультурной коммуникации, следует специально остановиться на типологии тех способов, с помощью которых индивид преодолевает проблему разницы культур в случае их столкновения. Конфликт старых, присущих индивиду как представителю того общества, которое он покинул, и новых, то есть представляющих то общество, в которое он прибыл, культурных норм и ориентаций называется «культурным шоком». Собственно говоря, культурный шок – это конфликт двух культур на уровне индивидуального сознания.

Антропологи выделяют пять способов преодоления культурного шока, происходящего в результате столкновения различных культур. Весьма убедительно, на наш взгляд, проблемы преодоления культурного шока описаны в работах и А. Садохина и Т. Грушевицкой [6, с.247] и Л. Ионина [9]. Первый способ условно называют геттоизацией: он реализуется в ситуациях, когда человек прибывает в другое общество, но старается или оказывается вынужден избегать всякого соприкосновения с чужой культурой. В этом случае он старается создать собственную культурную среду – окружение соплеменников, отгораживаясь этим окружением от влияния инокультурной среды. Практически в любом крупном западном городе существуют более или менее изолированные и замкнутые районы, населенные представителями других культур. Это – китайские кварталы или целые чайна-тауны, это – кварталы или районы, где поселяются выходцы из мусульманских стран, индийские кварталы. Подобные гетто (армянское, грузинское) существовали до революции в Москве.

Особо следует подчеркнуть вклад в эти исследования социологов Чикагской школы. Теория маргинальных людей и общностей была выдвинута в 20-е годы в США Р.Э. Парком и несколько позже Э.В. Стоунквистом в Чикагской социологической школе. Автор социально-экологической теории Парк изучал миграцию как коллективное поведение, образующее экологический порядок общества. Социальные перемещения как изменения социально-экономического статуса становятся предметом теории социальной дистанции, а исследования культурной мобильности позволяют Парку сформулировать понятие маргинальной личности [10, с.256-257]. Маргинал прокладывает путь по границе двух культур и должен реализовать свой творческий потенциал, чтобы в одиночку преодолеть их социальное столкновение. В развитие научной дискуссии о социальной дистанции, начатой Зиммелем, изучая особые формы маргинальности как социальной изоляции, Р.Парк и Э.Берджесс подвигают Э. Богардуса [11, с.299-308] на концептуализацию этого понятия в значении степени близости во взаимоотношениях между членами различных этнических групп [12, с.196-200].

Второй способ разрешения конфликта культур – ассимиляция, по сути противоположная геттоизации. В этом случае индивид «отказывается от своей культуры и стремится целиком усвоить необходимый для жизни культурный багаж чужой культуры. Даже при условии успешного овладения языком и достижении приемлемого уровня повседневной компетентности среда зачастую не принимает их чужаков как своих, они постоянно «выталкиваются» в ... круг соплеменников и «сокультурников», вынужденных вне работы общаться только друг с другом» [9, с.18].

Отсюда говорят о полной или частичной ассимиляции. Полная ассимиляция заключается в том, что «этническая группа, пребывающая в иноэтнической среде, в силу различных исторических обстоятельств полностью отказывается от своей культуры и стремится усвоить необходимые для жизни ценности чужой культуры в целом. Этот процесс протекает более эффективно при наличии «доброй воли» контактирующих сторон. Частичная ассимиляция состоит в том, что

индивид или этническая группа жертвует своей культурой в пользу инокультурной среды лишь частично, отказываясь от какой-либо одной из сфер своей жизнедеятельности».

Отметим, что межэтнические коммуникации на уровне взаимодействия этносов или этнических групп в принципе можно разделить на два основных типа: ассимиляцию и интеграцию. Этническую ассимиляцию относят к категории этнотрансформационных процессов, поскольку она представляет собой процесс полного или частичного поглощения одним этносом другого, обычно слабого более сильным. Чаще всего это происходит путем завоевания, последующих смешанных браков и целенаправленного «растворения» подчиненного этноса этносом господствующим. В ходе этого процесса одна этническая общность постепенно адаптируется к обычаям, ценностям, образу жизни, а часто и к языку доминирующего этноса. Итогом ассимиляции становится утрата исконных этнических свойств, изменение этнической идентичности, самосознания людей. Ассимиляция может проводиться разными путями: непосредственным, прямым и равноправным включением индивидов в общество, что влечет за собой формальное равенство в юридических, политических, экономических и других общественных институтах независимо от расовых, культурных, языковых или конфессиональных различий (универсалистская инкорпорация); включением индивидов в общество на неравноправной основе, в результате чего возникает подчиненная, недоминирующая общность, которая может превосходить по численности доминирующие группы, но формально являться меньшинством (дифференциальная инкорпорация) [8, с.246].

Кроме того, различаются естественная и насильственная ассимиляции. Естественная ассимиляция возникает «при непосредственном контакте этнически разнородных групп и обуславливается потребностями упрочения их общей социальной, хозяйственной и культурной жизни. В качестве примера такого рода удавшегося культурного взаимодействия в истории Л. Ионин говорит о гугенотах, бежавших в Германию от ужасов Варфоломеевской ночи и многое сделавших для сближения французской и немецкой культур [9, с.18].

Насильственная ассимиляция представляет собой систему мероприятий органов власти, действующих во всех сферах общественной жизни и направленных на ускорение процесса ассимиляции путем подавления языка и культуры национальных меньшинств. Под межэтнической интеграцией (единением) в этнологии понимается появление новой этнокультурной общности в результате взаимодействия двух или нескольких этнических групп, при котором разные культуры сохраняют свои основные этнические черты, свои индивидуальности. Это означает формирование в рамках полиэтнических государств таких межэтнических или мегаэтнических общностей, в которых составляющие их этнические группы сохраняют свою этническую идентичность и особенности культуры. Близким понятием к насильственной ассимиляции, на наш взгляд, в типологии Л. Ионины выступает колонизация.

О колонизации можно вести речь тогда, когда представители чужой культуры, прибыв в страну, активно навязывают населению свои собственные ценности, нормы и модели поведения. В этом контексте термин «колонизация» не имеет политического звучания и не носит оценочного характера, а является просто описанием определенного типа взаимодействия культурных и ценностных систем. «Термин культурная колонизация в ценностном отношении нейтрален, он лишь обозначает и описывает процесс замещения собственных норм, ценностей, моделей и образцов поведения соответственными нормами, ценностями, моделями и образцами, пришедшими извне, из инокультурной среды» [9, с.19].

Некоторые авторы типологизируют не сами способы преодоления культурного шока, а культурные факторы, детерминирующие межэтнические отношения. Это, например, факторы просвещения и информативности и факторы традиционных норм этнической культуры. То обстоятельство, что образование и просвещение способны разрушать межэтнические границы, снимать межэтническое предубеждение, установлено многочисленными исследователями. Ведь чаще всего этнические предубеждения порождаются культурной замкнутостью этносов. Этнические общности с высоким уровнем образования более расположены к этно-

культурным контактам, особенно в деловой сфере» [6, с.245]. Эволюционистская логика рассуждений приводит авторов к следующему умозаключению: «Чем выше уровень культуры этноса, тем благоприятнее для нее оказывается знакомство с другой культурой. Здесь обычно действует селективный механизм, отбирающий только полезное и определяющий глубину проникновения одной культуры в другую» [6, с.246].

Приведенная точка зрения отталкивается от этноцентризма как системы взглядов, утверждающей преимущество и уникальную ценность только одного образа жизни (типа культуры). Другие системы ценностей, в соответствии с этноцентристской точкой зрения, объявляются низшими, недоразвитыми, несовершенными по сравнению с отстаиваемым эталоном. Противоположная этноцентризму перспектива – *культурный релятивизм*, согласно которому каждая культура может быть оценена только на основе ее собственных принципов, а не универсальных критериев. Сторонники культурного релятивизма отрицали принципы единства всемирной истории и человечества, выступали против теории однолинейного эволюционизма и европоцентризма; они полагали, что каждая культура имеет свою доминирующую черту, свой «фокус», вокруг которого собраны остальные ее элементы. Любая культура может быть понята только в ее собственном контексте и только тогда, когда она рассматривается в ее целостности. Культурный релятивизм, таким образом, противостоит эгоцентризму и этноцентризму, но провозглашает абсолютную самобытность любой культуры [13].

Резюмируя изложенное, подчеркнем еще раз, что при определении сути межкультурных взаимодействий наиболее важными понятиями для нас выступают концепты межкультурной коммуникации, культурного шока, этничности, стереотипов и предубеждений, которые следует рассматривать в контексте современной культуры и современных процессов социальной трансформации.

В дальнейшем анализе мультикультурализма как теории и практики мы считаем необходимым рассмотреть социокультурный контекст, который формируется институтом образования. Кроме того, важно сравнить политику репрезентаций с практикой работы правоохранительных органов. Мы надеемся, что это и последующие исследования внесут вклад в актуальную дискуссию по вопросам, которые волнуют сегодня не только правительство и специалистов, но и каждого из нас.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова В. Государственная служба Канады и США: влияние мультикультурализма / В. Антонова. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2002. 152 с.
2. Конечкая В. Социология коммуникации / В. Конечкая. М.: Междунар. ун-т бизнеса и управления, 1997. 304 с.
3. Иконников Н. Социальная коммуникация: понятие, символическое содержание / Н. Иконников // Личность, культура, общество. 2001. Т. 3. Вып. 3 (9). С. 193-207.
4. Павлов А. Природа коммуникативного порядка / А. Павлов / <http://res.Krasu.ru/paradigma/2/2.htm>. Дата обращения к ресурсу 27.04.04.
5. Seymour-Smith Ch. Ethnicity / Ch. Seymour-Smith // Macmillan Dictionary of Anthropology. London: Macmillan, 1986. P.95-96. Цит. по: Ярская-Смирнова Е.Р. Социальная антропология / Е.Р. Ярская-Смирнова, П.В. Романов. Ростов-н/Д: Феникс, 2004.
6. Садохин А. Этнология / А. Садохин, Т. Грушевицкая. М.: Издат. центр «Академия», 2000. 304 с.
7. Уолцер М. О терпимости / М. Уолцер. М.: Идея-Пресс, Дом интеллектуальной книги, 2000. 182 с.
8. Лурье С. Историческая этнология / С. Лурье. М.: Аспект Пресс, 1988. 448 с.
9. Ионин Л. Социология культуры / Л. Ионин. М.: Издат. корпорация «Логос», 1998. 279 с.
10. Баньковская С.П. Парк Роберт Эзра / С.П. Баньковская // Современная западная социология: словарь. М.: Политиздат, 1990. С. 256-257.

11. Bogardus E.S. Measuring Social Distance / E.S. Bogardus // Journal of Applied Sociology. 1925. № 9. С. 299-308.
12. Ярская-Смирнова Е.Р. Социальная антропология / Е.Р. Ярская-Смирнова, П.В. Романов. Ростов-н/Д: Феникс, 2004. 324 с.
13. Хоруженко К.М. Культурология: энциклопедический словарь / К.М. Хоруженко. Ростов-н/Д: Феникс, 1997. 640 с.

**Федюнина Светлана Михайловна –**

кандидат филологических наук, доцент,  
заведующая кафедрой «Русский язык, прикладная лингвистика и методика обучения»  
Саратовского государственного технического университета,  
докторант кафедры «Социальная антропология и социальная работа»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 338.33

**Н.Н. Шаш**

**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ**

*Статья посвящена институциональным аспектам управления знаниями. Анализируется эволюция категории «управление знаниями» и даются характеристики самовозрастания ценности знания в организации. Показан вклад знаний в экономический рост. Автор поднимает много сложных вопросов управления знаниями в современных организациях.*

**N.N. Shash**

**KNOWLEDGE MANAGEMENT DIFFICULTIES IN ORGANIZATIONS**

*The article considers the institutional aspects of the Knowledge Management. The evolution of «Knowledge Management» category and the characteristics of self-increasing value of Knowledge in organization are analyzed here. The contribution of Knowledge into economic growth is presented in this article. The author arise a number of difficult questions of the Knowledge Management in modern organizations.*

Современная экономика основана на предположении, что страна в целом и организация (компания) в частности умеют работать со своими знаниями, т.е. эффективно управлять ими. Баланс между знаниями и ресурсами настолько сместился в сторону знаний, что они становятся одним из самых важных факторов достижения успеха и обеспечения стабильности экономического роста.

Основа эффективности современной организации заключается в генерации знания, т.е. создании знания путем переработки информации, получаемой из внешней среды. Источником создания нового знания выступает интеллектуальная активность человека, основанная

на знании. Под интеллектуальной активностью понимается способность собирать, накапливать и перерабатывать все нарастающие потоки информации. При этом необходимым условием становится присутствие двух составляющих: наличия соответствующего интеллектуального потенциала человека и его способности к спецификации (новое знание должно быть открыто или генерировано, а затем применено к решению специфических задач в конкретном организационном контексте).

Таким образом, приращение стоимости в современных организациях связано не только и не столько с материальным движением вещественных факторов производства, а в большей степени с движением информации и знаний. Кроме того, интеллектуальная активность человека в производственном процессе приобретает все более функциональное назначение, выступая нематериальным фактором производства, генерирующим знание. Результатом этого процесса становится появление интеллектуального капитала организации – знаний, которые могут быть использованы для получения различного рода преимуществ перед конкурентами. В связи с этим важное значение приобретает процесс объективации знания, т.е. процесс превращения знания из субъективной реальности в объективную (связанную с определенными материальными носителями). В этом случае знание может воплощаться в технически сложном оборудовании; структуре менеджмента; принципах организации рабочих процессов, зафиксированных в различных документальных формах (патентах, программах, справочных материалах и т.д.), а также в форме достижения большей социальной эффективности (повышение профессионального уровня персонала, рациональное использование рабочего времени, увеличение творческой составляющей в процессе выполнения текущих рабочих задач).

Можно сказать, что в рамках современных организаций знания становятся важнейшей частью интеллектуального капитала, без которого невозможно добиться лидирующих рыночных позиций. Этот капитал включает образование, опыт и навыки, полученные людьми и организациями в процессе производства товаров и оказания услуг, в том числе и опыт совместной работы, который сплачивает членов команды и позволяет им более эффективно решать сложные организационные проблемы, чем это могла бы делать группа людей, никогда не встречавшихся ранее.

Несмотря на то, что знания являются важной составляющей интеллектуального капитала, для них очень сложно очертить четкие границы, хотя наиболее эффективные пользователи капитала знания усиливают его в тысячи раз. При этом самой главной проблемой становится поиск путей увеличения темпов прироста объемов знаний и оптимизации их использования, поскольку именно объем накопленных знаний и их эффективное использование становится главным фактором повышения конкурентоспособности компании.

Это связано с имманентными свойствами знаний, которые, во-первых, используются для производства нового знания; во-вторых, в отличие от традиционных ресурсов (имеющих свои потенциальные ограничения и убывающих при потреблении<sup>1</sup>), знания не имеют ограничений и в процессе производства не уменьшают, а увеличивают свой объем. В-третьих, по сравнению с другими ресурсами, одно и то же знание может быть продано неограниченное количество раз (ограничения заключаются лишь в числе потенциальных потребителей, а не в самом объеме знаний, который по мере потребления не только не утрачивает, а может существенно повысить свою стоимость).

В настоящее время знания становятся товаром повышенного спроса с фактически неограниченным рынком сбыта. Все это обусловило бурный рост «индустрии знаний» и выделения ее в относительно самостоятельную сферу производительной деятельности общества. Организация становится институтом, интегрирующим знания.

---

<sup>1</sup> В отношении всех ресурсов существует закономерность: чем более редок ресурс, тем выше его стоимость. В отношении знаний такой однозначной зависимости нет. Более того, часто рост объема распространения определенного знания значительно повышает его стоимость.

При анализе распространения знания в рыночной системе, предприятие рассматривается как внутриорганизационный рынок знаний, на котором выделяются три категории участников: покупатели, продавцы и брокеры знаний [1]. Покупатели знания – это те, кто нуждается в знании для решения проблемы, сложность и неопределенность которой не допускает легкого ответа. Продавцы знания – это люди, имеющие репутацию экспертов в области тех или иных организационных процессов и объектов. Брокеры знания – это лица, которые осуществляют связь между покупателями и продавцами, т.е. теми, кто его имеет.

Организационное знание может выступать как распределенный набор принципов, фактов, навыков, правил, которые информационно обеспечивают процессы принятия решений и иные действия в организации. Организационное знание развивается на основе знаний каждого сотрудника и может рассматриваться в качестве отдельного, наиболее важного источника отличительных особенностей организации.

Организации должны развивать свои способности, основанные на знаниях, и делать это быстрее своих конкурентов, в связи с чем на первый план выдвигается проблема управления знаниями<sup>1</sup> в организации, поскольку именно управление знаниями превращается в важный фактор создания новых благ и формирует дополнительные конкурентные преимущества.

Термин «управление знаниями» впервые использовал К. Виг [2], который, отмечая важность знания фактически во всех аспектах коммерческой жизни, выделяет две составляющие знания при его использовании в качестве одного из ресурсов производства:

- активы – знания, доступные для использования;
- процессы формирования (организации, трансформации), содержащие в себе знания.

Необходимо отметить, что современное знание приобретает разные формы, поэтому процесс управления знаниями становится все более сложным. Распространена точка зрения, согласно которой понятие «знание» включает в себя следующее:

- знать-как (know-how) – протестированные, доказанные процедуры выполнения чего-либо;
- знать-кто (know-who) – люди, обладающие соответствующим опытом или ресурсами;
- знать-что (know-what) – способность различения и выбора ключевых моделей и актуальных действий;
- знать-почему (know-why) – понимание контекста обширного опыта;
- знать-когда (know-when) – соединение чувства времени и реализма [3].

В настоящее время в управлении знаниями выделились два основных направления. Первое – когнитивистское, согласно которому знание – это процесс, набор комплексов динамичных умений, секретов производства, которые постоянно изменяются. В этой ситуации основная задача управления знаниями состоит в том, чтобы связать структурированную и неструктурированную информацию с изменяющимися правилами, в соответствии с которыми она применяется. Стратегия управления знаниями направлена на увеличение эффекта от использования нематериальных активов.

Второе направление базируется на информационном менеджменте и рассматривает знания как совокупность объектов, которые могут быть идентифицированы и обработаны в информационных системах<sup>2</sup>. С этой точки зрения ключевым звеном управления знаниями является структурная организация существующих данных, которая обеспечивает увеличение эффектов информационных технологий, адаптирующих накопленные знания в реальной среде общественного производства.

<sup>1</sup> Существует точка зрения, что управлять знаниями невозможно: можно лишь управлять средой, в которой создаются и используются организационные знания.

<sup>2</sup> Первоначально процесс управления знаниями никак не связывался с информационными технологиями. Он понимался как разработка и внедрение методик для оптимального использования интеллектуального потенциала работников компаний.

В таком контексте управление знаниями – установленный в организации формальный порядок работы с информационными ресурсами для облегчения доступа к знаниям и повторного их использования с помощью современных информационных технологий. Это предполагает классификацию и распределение знаний по категориям в соответствии с разработанной структурой баз данных.

В числе основных технологий, используемых в управлении знаниями, выделяют:

- сбор и систематизацию данных (выделение наиболее значимой информации из баз данных, хранящихся в архивах компании или находящихся на входных или выходных организационных потоках);
- построение эффективной системы документооборота, включающей хранение, индексирование и публикацию документов;
- создание сети для организации продуктивной совместной работы (сети Intranet, технологии групповой работы, синхронные и асинхронные конференции);
- построение корпоративных порталов знаний;
- создание инструментов, поддерживающих принятие организационных решений, в том числе построение экспертных систем.

На первый взгляд, может показаться, что Intranet, технологии групповой работы, системы управления базами данных (СУБД) – это мало связанные между собой технологии. Однако все эти технологии поступательно развиваются от рутинных вычислительных операций к обработке данных, созданию баз данных и в дальнейшем к управлению организационными знаниями.

Однако управление знаниями – более широкая категория, которая включает различные элементы. Это и обмен знаниями, и управление внешними потоками информации, и обучение, и структуризация знаний в компании, и управление взаимоотношениями с клиентами. При этом управление знаниями включает две составляющие: организационную и технологическую. Организационная часть – это политика в отношении управления знаниями, т.е. разнообразные управленческие рычаги и процедуры, которые позволяют компании сохранять, структурировать, анализировать информацию для того, чтобы эффективно ее использовать в настоящем и будущем (например, мотивация сотрудников к участию в обмене знаниями, фиксация их должностных обязанностей в связи с этим и т.п.). Технологическая часть или технология помогает осуществить эти управленческие процедуры, но не может полностью их заменить. Более того, недопустимо отождествлять управление знаниями с технологическими процедурами.

Управление знаниями в самом общем виде представляет собой поиск актуальной информации, создание и распространение передового опыта в системе связанных между собой людей и групп людей. При реализации этого процесса самое главное – это знания персонала и взаимодействие между людьми: обмен идеями, решениями и актуальной информацией при разработке и внедрении новых решений.

Основной функцией управления знаниями становится доставка необходимых знаний соответствующим лицам в пределах группы людей и организации в целом в определенное время. Результатом успешно работающей системы управления знаниями должна стать самообучающаяся и саморазвивающаяся организация.

Принято выделять три основных компонента системы управления знаниями в организации:

- люди, которым передается опыт для создания новых идей (нововведений);
- процессы, необходимые для совместного использования и распространения информации;
- технологии, способствующие быстрому и эффективному функционированию людей и процессов (для разработки и внедрения любых типов инноваций необходима технологиче-

ская инфраструктура, обеспечивающая условия для успешной совместной деятельности, создания корпоративных знаний и оперативной выработки новых идей и решений).

Следует отметить, что управление знаниями всегда нацелено на перспективу и носит стратегический характер. Существуют три взаимосвязанных уровня управления знаниями: бизнес, перспективный менеджмент и практические действия, направленные на совершенствование ресурсов организации.

Эксплуатация знания означает его превращение в форму продукта, технологии, квалификации, новое качество организации. Конечный эффект выражается в росте производительности труда, снижении издержек, приросте доходов. Затраты фирмы, связанные с эксплуатацией знаний, объективно ограничены не только ее финансовыми возможностями, но и предполагаемым соотношением между затратами и результатами.

На уровне фирмы стратегическое управление знаниями выражается в определении перспектив бизнеса и планировании корпоративной стратегии. Речь идет о наиболее полной реализации потенциала доступных для организации знаний, начиная от разработки новых видов продукции и заканчивая новыми методами организации производства.

Уровень перспективного менеджмента означает развертывание корпоративной стратегии в систему конкретных управленческих мероприятий. В частности, речь может идти о ресурсном обеспечении намеченных планов, осуществлении самостоятельных или приобретении чужих разработок, мониторинге процессов управления и совершенствовании существующей системы управления организацией. Поэтому наиболее важными типами знаний становятся знания о бизнес-процессах (о том, как выполняется процесс и кто его может выполнить).

В связи с этим в стратегическом управлении знаниями можно выделить три основных направления работы со знаниями:

- сбор и сохранение уже имеющихся знаний «ноу-хау» и получение от них прибыли;
- сбор и анализ знаний «ноу-хау» и построение систем распределения зон ответственности;
- развитие знаний компании по приоритетным направлениям.

На уровне практического действия управление знаниями состоит в образовании, обучении и формировании человеческих ресурсов соответствующего качества, поскольку процесс обучения является источником формирования новых знаний. В таком понимании именно обучение становится важнейшим фактором организационного развития и изменения. При этом необходимо подчеркнуть, что обучение рассматривается как развитие в течение времени, включая наше прошлое, настоящее и будущее; предполагает реконструирование или изменение структуры знаний (не исключая простого накопления знаний или исправления совершенных ошибок).

Таким образом, управление знаниями, прежде всего, связано со следующими процессами:

- с генерацией знаний – индивидуальным или организационным обучением;
- с формализацией знаний – разработкой принципов, правил, процедур;
- с сохранением знаний – определением подходящего типа носителей, которые допускают распространение знаний;
- с диффузией знаний – распределением знаний в пределах организации и в ограниченном варианте вне организации;
- с координацией и контролем знаний – обеспечением того, что организационное знание точно и постоянно используется.

Таким образом, организационное обучение представляет собой важный компонент системы управления знаниями, и само по себе является производным от знания. В то же время эффективная система управления знаниями посредством формализации процедур позво-



- Участие в обучении дает право претендовать на продвижение по организационной иерархии и сделать следующий шаг в развитии карьеры
- Содержание и форма учебного материала зависит от представлений обучающихся, обычно он выдается в виде жестко структурированных знаний, которые затем трудно адаптировать к реальности
- Процесс обучения помогает рождать новые идеи и дает возможность поддерживать себя в «тонусе»
- Учебный материал формируется в соответствии с реальными потребностями и реальной практикой обучающихся, большей частью в форме легко адаптируемых модулей

### Основные методы обучения

При выборе форм и методов необходимо учитывать следующие особенности обучения взрослых людей:

- Самостоятельные люди должны хотеть учиться. Поэтому необходимо создать условия для внутренней мотивации индивидов к обучению.
- Взрослые будут изучать только то, что, по их мнению, изучить необходимо. Они хотят знать, «чем это поможет мне прямо сейчас».
- Люди учатся в процессе работы. Через год взрослый человек забывает 50% того, что он изучал пассивно, через два года – 80%, поэтому необходимо, чтобы полученные знания он применял хотя бы периодически.
- Учеба взрослых людей должна быть сконцентрирована на проблемах реалистичных.
- На учебу индивидов большое влияние оказывает предшествующий опыт.
- Взрослые лучше обучаются в неформальной обстановке, при этом должны использоваться разнообразные методы обучения (в основном активные).
- Взрослых людей нужно не оценивать, а направлять.

В то время как инструктирующее обучение направлено на рутинную передачу существующих знаний, современный подход рассматривает обучение как процесс создания новых знаний. Согласно этому подходу обучение представляет собой не просто развитие индивидов посредством повышения их квалификации, а решение наиболее острых проблем организации<sup>1</sup>.

Можно выделить 6 ключевых моментов организационного обучения и создания знаний в компании:

1. Личное мастерство: сделать доступными источники творчества.
2. Диалог: искусство совместного думания.
3. Системное и сценарное мышление: понимание комплексности.
4. Процессное консультирование: управление изменениями и создание взаимоподдерживающих отношений.
5. Параллельные обучающие структуры: создание особого пространства для инноваций и изменений.
6. Предчувствие: способность воспринимать и реализовывать тенденции будущего.

Это требует применения в процессе организационного обучения новых технологий, особенно технологий, основанных на действии<sup>2</sup>, с точки зрения которых обучение в большей степени заключается не только в приобретении новых знаний и фактов, а скорее в переосмыслении того, что уже «известно».

Согласно такому подходу, обучение представляет собой комбинацию отобранных знаний и прошлого опыта, измененных на основе некоторых революционных вопросов. Это

<sup>1</sup> Автор не предлагает полностью отказаться от инструктирующего типа обучения. Более того, оно даже необходимо, когда требуется обучить сотрудников элементарным профессиональным навыкам или внедрить новые производственные технологии, изучить передовой опыт конкурентов и пр.

<sup>2</sup> К наиболее известным технологиям, основанным на действии, относятся «Обучение действием», «коучинг».

связано с тем, что нашему обучению мешает то, что мы идеализируем прошлое и верим в его опыт. Нередко встречаются ситуации, когда устоявшийся образ мыслей может быть потенциальным барьером на пути к успешному решению проблемы.

Появление и активное использование таких технологий позволяет говорить о смене парадигмы организационного обучения. Изменение сущности обучения в контексте развития и выживания деловой организации заставляет изменить содержание и методику процесса организационного обучения, который, в первую очередь, предполагает перенос центра тяжести с поиска правильных ответов на поставленные вопросы, на развитие умения решать возникшие проблемы и замену пассивного типа обучения (роль слушающего, усваивающего, повторяющего) активным обучением, когда клиент (обучаемый) сам становится активным творцом знаний, инициатором обмена информацией, способным брать на себя ответственность и готовым самостоятельно принимать решения.

Новый подход непосредственно связан с изменением человеческого сознания в отношении методов обучения и организационного мышления. Современные организации больше основаны на действии, поэтому там все чаще обсуждаются проблемы, а не властные полномочия. Это связано с тем, что процесс представляет собой действие, а власть – это статическое состояние. Такие же изменения происходят и в обучающих процессах. Традиционное обучение представляет собой поиск единственно правильных ответов, когда ведущая роль отводится причинно-следственному мышлению. Однако современный взгляд на обучение предполагает соединение обучения и действия. Поэтому понятие «действие» становится ключевым понятием организационного обучения.

В настоящее время все труднее становится достигать желаемых результатов, используя существующие организационное мышление и структуры. Для облегчения преодоления неопределенности внешней среды нужны новые подходы, в соответствии с которыми темпы обучения должны быть равны или превосходить темпы изменений в окружающей среде. Эта формула подчеркивает критическое значение обучения для выживания в условиях изменяющейся среды. Для организаций это означает, что необходимо поддерживать и развивать системы организационного обучения, позволяющие отслеживать изменения в окружающей среде, и осуществлять действия по предотвращению их нежелательных последствий.

Единственным ресурсом организации, способным к обучению, является ее персонал. Разнообразный опыт, которым они обладают, является ценным капиталом, если научиться эффективно его использовать. Технологии, основанные на действии, позволяют наиболее эффективно решать возникшие организационные проблемы, разрабатывать структуру и динамику организационных изменений, поскольку обучение является составной частью данного процесса.

Более того, существует мнение, что изменения могут быть лучше всего реализованы, если мы сконцентрируемся на способности человека обучаться. Никто не знает, что будет завтра, и поэтому самое лучшее, что можно сделать – это использовать уникальную способность человека обучаться в процессе решения проблем.

С точки зрения технологий, основанных на действии, организационное обучение рассматривается именно как процесс решения проблем, принципы которого сводятся к следующим:

- самое важное – выделение правильной проблемы, что означает постановку правильных вопросов;
- лучшие люди для нахождения и решения проблем – это те, которые зависят от результатов и несут за них ответственность;
- процесс выявления и решения проблем в группах превосходит советы экспертов;
- решение проблем происходит только тогда, когда мы направляем и контролируем действие в реальном мире [5].

Индивидуальная компетентность только в том случае перерастает в организационную, когда у людей появляются реальные возможности принимать правильные решения и совершать конструктивные действия. Важно, чтобы руководство открывало и поддерживало источники самостоятельного обучения внутри организации, создавая при этом атмосферу, в которой переоценка и конструктивная критика прошлого опыта членов организации происходили бы регулярно. В целом технологии, основанные на действии, являются очень мощным организационным инструментом изменения системы работы и последующего пересмотра организационных целей, самой сильной стороной которого можно считать раскрепощение сотрудников и переоценку накопленного ими опыта.

Сочетание освобожденной энергии с передачей права решения проблемы тем, кому предстоит участвовать в реализации этих решений, является реальным делегированием полномочий, что имеет два основных преимущества: во-первых, развивает у тех, кто «владеет» проблемой, чувство приверженности предложенным решениям, дает возможность осознанного обучения и наглядно демонстрирует всем преимущества автономной групповой работы; во-вторых, автономия восприятия в процессе обучения и реинтеграция рабочих групп позволяют топ-менеджерам сконцентрироваться на функциях мониторинга непредсказуемой окружающей среды и проектирования будущего для обеспечения организационного развития.

Поскольку обучение действием (Action Learning) – это мощный процесс изменения организации, предполагающий делегирование полномочий и сокращение круга обязанностей менеджеров, который проводится в большинстве случаев в условиях кризиса, важно, чтобы обладатели реальной организационной власти должны хотеть учиться, анализируя результаты происшедших изменений. Это означает, что им необходимо стать частью всеобщей организационной системы обучения, играя одновременно существенную роль в ее развитии.

Таким образом, обучение действием можно определить как ориентированный на проблему подход к индивидуальному и организационному развитию, который способствует обучению и улучшает качество процесса решения проблем. Однако организационное обучение, как часть системы управления знаниями, не может ограничиваться только использованием технологий, основанных на действии. Оно должно сочетать в себе целый спектр новейших методик и подходов, в том числе технологии e-Learning. В последние годы ключевые лица в компаниях (например, топ-менеджеры по маркетингу и продажам), которые работают в условиях быстро меняющихся бизнес-процессов, увидели в e-Learning быстрый и наиболее дешевый способ получения необходимых для работы знаний.

Система корпоративного обучения, основанная на e-Learning-технологии, которая уже стала традиционной, предполагает реализацию ряда автоматизированных процедур:

- 1) управление учебным процессом;
- 2) распределение прав доступа к образовательным ресурсам и средствам управления системой;
- 3) разграничение взаимодействия участников образовательного процесса;
- 4) ведение журналов активности пользователей учебного комплекса;
- 5) обучение и оценка знаний в среде Интернет, в корпоративных и локальных сетях.

Специально разработанные тестовые программы позволят с максимальной объективностью оценить степень усвоения учебного материала. Кроме того, эти программы могут быть использованы в процессе аттестации персонала организации.

Однако при внедрении подобных систем у организаций возникает ряд дополнительных трудностей: разные технологии (что затрудняет выбор); отсутствие крупных поставщиков готовых корпоративных электронных ресурсов; нет четких критериев оценки качества и стоимости разработки и внедрения. Кроме того, обучение, построенное на e-Learning-

технологии, предполагает полное отсутствие очных контактов с тьютором и другими слушателями между собой, что непосредственно сказывается на качестве обучения, поскольку при виртуальном взаимодействии теряется потенциал управленческой группы, когда в ходе группового взаимодействия возникает синергетический эффект, что значительно повышает ценность обучения специалистов-практиков.

Доказано, что эффективное обучение достигается только в процессе совместной деятельности обучаемого с преподавателем (тьютором, консультантом) и другими обучаемыми (малые группы).

При этом необходимо учитывать следующие важные принципы:

– организацию совместной работы по планированию, реализации и оцениванию результатов обучения;

– индивидуализацию обучения, предполагающую ориентацию на конкретные образовательные потребности, цели, опыт, уровень подготовки, в том числе психологические, когнитивные особенности каждого обучающегося;

– систематичность обучения, предусматривающую соответствие целей, содержания, форм, методов, средств обучения и оценивания результатов.

Эти принципы требуют сочетания технологий e-Learning с перспективными методами группового обучения (преимущественно в малых группах) на основе применения активных методов обучения, а также творческого использования хорошо зарекомендовавших себя на практике традиционных форм обучения. Это находится в русле концепции комбинированного обучения (blended education), суть которой состоит в использовании различных средств, методов и технологий, как традиционного очного, так и дистанционного обучения.

Система корпоративного обучения только в том случае может стать эффективным элементом общеорганизационной системы управления знаниями, если будет органично сочетать в себе все компоненты эффективного обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Prusak L. Knowledge in Organizations / L. Prusak (Ed.) – Butterworth – Heinemann, Newton, MA, USA, 1997. 423 p.

2. Wigg K. Knowledge Management Foundation: How People and Organizations Create, Represent and Use Knowledge / K. Wigg. Schema Press, Arlington, TX, USA, 1993. 359 p.

3. Lundvall B.-A. The Learning Economy / B.-A. Lundvall, B. Johnson // Journal of Industry Studies. 1994. Vol. 1. № 2. P. 23-42.

4. Стонхауз Дж. Управление организационным знанием / Дж. Стонхауз // Менеджмент в России и за рубежом. 1999. № 1. С. 37-48.

5. Шаш Н.Н. Action Learning. Уникальный подход к развитию людей и организаций / Н.Н. Шаш. М.: ГроссМедиа, 2004. 253 с.

**Шаш Наталия Николаевна –**

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и учения» Саратовского государственного технического университета

**Е.В. Шилова****ИНВЕСТИЦИИ В ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА**

*Представлен краткий анализ основных теоретических моделей экономического роста. Определено влияние инвестиций на экономический рост в российской транзитивной экономике.*

**E.V. Shilova****INVESTMENTS INTO THE THEORETICAL MODELS OF ECONOMIC GROWTH**

*Brief analysis of the main theoretical economic growth models is represented here. Investments impact on economic growth in Russia's transitional economics is determined in the article.*

Поддержание необходимых темпов экономического роста – важнейшая задача проводимой правительством политики. Интенсивный поиск эффективных моделей роста, источников, факторов, условий и предпосылок проводится как зарубежными, так и российскими исследователями. Традиции одних научных школ опираются на принципы невмешательства государства в экономику, при этом темпы роста рассматриваются как результат внутренних механизмов рыночного саморегулирования хозяйственных систем. При таком подходе проведение властью политики ускорения темпов экономического роста противоречит исходным методологическим принципам теории. Другие научные школы признают необходимость краткосрочного конъюнктурного государственного регулирования экономики и разработки соответствующих программ развития.

Основные направления воздействия макроэкономической политики на экономический рост описаны современной экономической теорией. Обсуждаемые в зарубежной и отечественной литературе модели роста служат основой выработки определенной политики государства и формирования региональных стратегий развития. Политика стимулирования экономического роста предполагает анализ как «собственно моделей роста и долгосрочного макроэкономического равновесия, так и моделей, описывающих краткосрочную экономическую динамику, а также анализ основанной на них экономической политики и ее среднесрочных и долгосрочных последствий» [1].

Теория экономического роста и ее отдельные аспекты активно разрабатывались представителями различных зарубежных научных школ и направлений. Источники и факторы, закономерности и особенности, а также условия современного экономического роста являются предметом многочисленных дискуссий.

«Экономический рост страны, – писал Саймон Кузнец, – может быть определен как долговременное увеличение возможностей удовлетворять все более разнообразные потребности населения в продуктах экономической деятельности. Эта возрастающая способность основана на развитии техники и технологии и на необходимых изменениях в институциональной структуре и идеологии. Важны все три составные части определения. Длительное увеличение предложения товаров есть результат экономического роста, который им и определяется» [2]. Кузнец особо обращает внимание на комплексный подход к формированию условий экономического роста. В своей Нобелевской лекции он подчеркивает, что хотя передовые технологии и являются

важным условием экономического роста, одного этого источника недостаточно. Необходимы соответствующие институциональные и идеологические условия, которые обеспечивали бы должное использование нововведений, генерируемых возрастающим объемом знаний человечества. В этом случае технологии применяются широко и более эффективно, кроме того, использование новейших технологий стимулирует развитие экономики.

Основы модели экономического роста, которая характерна для индустриально развитых стран, сформировались в эпоху, начавшуюся в конце восемнадцатого века. Эту модель Кузнец назвал «современный экономический рост», подробно проанализировав шесть базовых характеристик. Он считал, что современный экономический рост отличают, во-первых, высокие темпы прироста производства на душу населения и темпы прироста численности населения, многократно превышающие показатели предшествующих периодов. Во-вторых, темп прироста выпуска на единицу всех ресурсов, т.е. многократное увеличение производительности по сравнению с прошлым периодом. В-третьих, высокий темп структурных изменений в экономике (сдвиги в отраслевых пропорциях, изменения в структуре потребления и т.д.). В-четвертых, структурные изменения в обществе, процессы урбанизации, миграции, изменение характера участия в экономической деятельности и др. В-пятых, географическое расширение влияния экономически развитых стран, которые благодаря более совершенным технологиям (как гражданским, так и военным) стремятся сделать мир экономически интегрированным. В-шестых, распространение современного экономического роста ограничено в том смысле, что страны, составляющие три четверти всего населения Земли, до сих пор не достигли минимального уровня, который может быть обеспечен современной технологией.

Общеизвестно, что технологические и научно-технические изменения материализуются, прежде всего, в инвестициях. Для того, чтобы любые нововведения были материализованы в современных технологиях и высокопроизводительном оборудовании, необходимы инвестиционные ресурсы. Без инвестиций невозможно не только реализовать научно-технические достижения, но и обеспечить развитие хозяйства на старой производственной основе. Производство и накопление, наряду с потреблением, являются основными формами экономической деятельности и в «закрытой» экономике образуют замкнутую систему потоков. Взаимосвязи и взаимозависимости экономических потоков формируют механизмы экономического роста.

Повышение конкурентоспособности экономики, проведение структурных реформ в России, ускорение на этой основе темпов экономического роста и увеличение объемов валового внутреннего продукта требуют значительных инвестиционных ресурсов. Масштабные инвестиции необходимы также для создания современной инфраструктуры, которая в настоящее время не отвечает мировым стандартам.

В экономической науке представлены два концептуальных обоснования влияния инвестиций на экономический рост: во-первых, макроэкономический подход Кейнса и его последователей, в основе которого поддержание эффективного спроса; во-вторых, теоретические исследования неоклассиков, базирующиеся на механизмах свободного ценообразования, конкуренции, частичного и общего равновесия. Фундаментальный экономический анализ и теоретическое обоснование влияния структуры и динамики совокупного спроса на экономический рост выполнил Кейнс, который доказал неспособность капиталистической системы к автоматическому саморегулированию, сделал вывод о необходимости конъюнктурного вмешательства государства и разработал принципы антикризисной политики.

Стимулируя инвестиционный спрос и увеличивая расходы, государство может позитивно воздействовать на экономическую динамику. Концепция мультипликатора устанавливает устойчивую положительную зависимость между инвестициями и национальным доходом. Размер инвестиций Кейнс считал главным фактором поддержания эффективного спроса, занятости и экономического роста. Вопросы государственного регулирования экономики Кейнс рассматривал на основе анализа агрегированных макроэкономических величин, таких как национальный доход, занятость, инвестиции, совокупный спрос, потребление, сбережения и

др. Усиление государственного вмешательства в экономику через регулирование совокупного спроса было актуальным в период кризиса, депрессии и на этапе экстенсивного роста.

Как доминирующая экономическая доктрина кейнсианство уже в начале 70-х гг. XX в. уступило свои позиции сторонникам обновленной неоклассической теории. В странах Запада к этому времени доминировали идеи монетаризма, основные принципы теории рациональных ожиданий и теории предложения, в которых приоритетное положение занимали «модель свободного рынка» и «экономика свободного предпринимательства». Новая экономическая реальность предполагала другие концептуальные подходы к макроэкономическому регулированию. В середине 60-х гг. XX в. возникла Чикагская школа, главными представителями которой выступили Ф. Найт, М. Фридмен, Дж. Стиглер, Г. Саймонс. Выступая против вмешательства государства, сторонники Чикагской школы отвергали кейнсианские методы финансового регулирования, считая главным инструментом воздействия на рыночное хозяйство изменение объемов денежной массы.

Приоритеты фискальной политики уступили место монетарным методам регулирования. При этом подчеркивалась важность денежно-кредитной политики, а не налогово-бюджетной, как считали сторонники кейнсианства. Выступая как комплекс экономических мер, направленных на создание неинфляционной экономики, кредитно-денежная (монетарная) политика регулирует спрос и предложение на денежном рынке, а основным институтом ее реализации является центральный банк. Наиболее действенными инструментами регулирования денежной массы считаются изменение нормы обязательных резервов, операции на открытом рынке, политика учетной ставки. Купля-продажа ценных бумаг способна гибко увеличивать (при покупке у банков и населения) или уменьшать (при продаже) объемы денежной массы. Изменение учетной ставки процента позволяет регулировать активность коммерческих банков. При повышении происходит сокращение банковских резервов и мультипликационное сжатие денежного предложения. На изменение денежного предложения влияет также регулирование нормы обязательных резервов.

На неоклассической модели экономического роста сформировалось целое направление научных исследований, где активно обсуждались ключевые источники и факторы роста, а также особенности экономического поведения субъектов хозяйствования, к примеру, условия принятия инвестиционных решений «в настоящем» для роста производства «в будущем».

Для количественной оценки тенденций и закономерностей экономического роста был использован аппарат производственных функций. Будучи основополагающим понятием неоклассических моделей, производственная функция отражает равновесное состояние выпуска продукции и определяющих его факторов, таких как капитал, труд, земля, технологии, с одной стороны, и соотношение между национальным продуктом и источниками богатства общества, используемыми в экономике, с другой. «Все неоклассические модели исходят из а) производственной функции, в которой труд и капитал рассматриваются как факторы роста; б) совершенства механизма конкуренции и способности агентов рынка мгновенно и верно реагировать на любые изменения рыночной конъюнктуры; в) свободного ценообразования на все товары, услуги, включая факторы производства; г) свободного замещения одного фактора другим и столь же свободного перелива капитала из одной сферы в другую и т.д.» [3].

Аппарат производственных функций позволяет определить, во-первых, динамику факторов производства, во-вторых, их пропорции, детерминирующие выбор в данных макроэкономических условиях определенной технологической комбинации факторов, труда и капитала. Стратегия экономического роста, отражаемая перемещением от изокванты более низкого порядка к изокванте более высокого порядка, позволяет выбрать трудоемкий, трудосберегающий, капиталоемкий, капиталосберегающий, нейтральный и другие варианты развития. При этом дается количественная оценка затрат замещения одного фактора другим и

различных вариантов их комбинаций. Для оценки влияния технологических изменений используют модифицированные производственные функции.

В трактовке неоклассиков экономика свободного рынка даже в случае отклонения от состояния равновесия обладает достаточными внутренними ресурсами для того, чтобы его восстановить и перейти на новую траекторию устойчивого роста, изменив структуру инвестиций в пользу наиболее выгодных сфер приложения капитала. Идеи неоклассической теории роста оказались притягательными для представителей разных научных направлений, на одну и ту же базовую модель опираются Лукас, Прескотт, Маленво, Шелл и другие исследователи. Будучи исторически исходной в становлении экономической науки, «классическая» теория в ее «неоклассическом варианте» сохраняет базовые принципы «свободного рынка» и «саморегулирования», полагая, что механизмы восстановления рыночного равновесия и регулирования экономики содержатся в ней самой. Значительный вклад в теорию экономического роста внесли П. Самуэльсон, Р. Солоу, Узава и другие.

Введение представлений о гибкости макротехнологии позволило Солоу теснее увязать теорию экономического роста с фактами реальной жизни и основными общеэкономическими представлениями. Взаимодействие между экономическим ростом и циклом было представлено как чередование равновесных траекторий развития. Был сделан вывод о том, что теория роста создает основу для лучшего понимания проблем и обсуждения различных макроэкономических политик, направленных на их решение. Эмпирические исследования с использованием агрегированных производственных функций дали важные положительные результаты.

Солоу выделял три фактора роста: количественный рост затрат труда, количественный рост основного капитала и «остаток», интерпретируемый как научно-технический прогресс. Многие экономисты в последующем рассматривали его как «остаток Солоу». Важно отметить, что в теоретической модели Солоу научно-технический прогресс в решающей степени может оказать воздействие на производство только при условии инвестирования в новое оборудование, которое качественно отличается от «старого». Темпы роста валовых инвестиций через интенсивность внедрений инноваций воздействуют на экономический рост. При этом основной капитал уже нельзя было рассматривать как однородную «массу», важным элементом анализа стал учет изменений его структуры.

Теория экономического роста в условиях негибких цен, когда важную роль играет инвестиционная функция, представлена в исследованиях Эдмонда Маленво, который рассматривал в качестве основной детерминанты инвестиций прибыльность. В работах Эдварда Денисона и других экономистов была усовершенствована методика оценивания экономического роста, основанная на разложении научно-технического прогресса в широком смысле слова на составляющие его компоненты, среди которых характеристики человеческого капитала, технологические сдвиги и т.д.

Эдвард Н. Вульф в результате анализа темпов роста в долгосрочной перспективе по семи развитым странам на основе оценки столетних временных рядов обнаружил положительную корреляцию между темпом технического прогресса и скоростью инвестирования. Он пришел к выводу о том, что страны с высокой скоростью инвестирования смогли лучше воспользоваться имеющимся потенциалом нововведений и запасом имеющихся знаний. Солоу также считает, что «стимулирование инвестиций будет способствовать более быстрому экономическому росту в среднесрочном плане через воздействие на скорость переноса новых технологий из лаборатории на заводы» [4]. Агрегированный вариант описания «годовой модели роста экономики США» предложили Хикмен и Коэн.

Большое значение для развития теории экономического роста имели работы посткейнсианцев, таких как Р. Харрод, Е. Домар, Дж. Робинсон, Н. Кальдор, П. Сраффа и др. Теоретический подход Кейнса, который ориентировался на депрессивную экономику в краткосрочном периоде, был развит и распространен на развитие в долгосрочном периоде. Харрод и Домар рассматривали баланс между объемом основных производственных

фондов и предложением рабочей силы (рост без нарастающего дефицита рабочей силы или нарастающей безработицы) как условие сбалансированного роста с постоянным темпом. Они выделили инвестиции в качестве стратегической переменной долгосрочного экономического роста. Ими были сформулированы теоретическая и эконометрическая модели, где прирост совокупного спроса зависит от прироста инвестиций. Если в модели Домара инвестиции заданы экзогенно, то Харрод пытался разработать модель экономического роста, используя эндогенную функцию инвестиций. При этом технология в модели Домара описывается функцией Леонтьева с постоянной предельной производительностью капитала в условиях избытка предложения труда, что обуславливает постоянство уровня цен. Были сделаны определенные допущения, в частности, инвестиционный лаг принимается равным нулю; капиталовооруженность и нормы сбережений являются постоянными; выпуск зависит только от капитала. В модели Харрода мультипликатор Кейнса дополняется принципом акселератора, в модель также вводятся ожидания предпринимателей. Предполагалось, что любое изменение дохода вызывает соответствующее изменение инвестиций прямо пропорционально изменению дохода. Харрод сформулировал фундаментальное уравнение равновесного экономического роста, дополнив статическую концепцию Кейнса предпосылками экономической динамики. Концентрируя внимание на динамических процессах, он определил темпы роста дохода, необходимого для полного использования все возрастающего объема капитала. Опираясь на научную традицию кейнсианской экономической теории, Харрод исследовал траекторию роста хозяйственной системы.

Пытаясь оценить темпы роста национального дохода, необходимые для того, чтобы обеспечить полную занятость, Домар предложил гипотезу о двойственной роли инвестиций. С одной стороны, они создают доход, способствуя расширению совокупного спроса, с другой стороны, увеличивают производственные мощности, влияя на расширение рыночного предложения. Эти модели дополняли друг друга и были объединены в одну модель Харрода-Домара, которая широко использовалась в кейнсианской теории развития. Связь между темпами роста инвестиций и темпами экономического роста подтверждалась эконометрическими расчетами.

Определенный интерес представляют эндогенные модели экономического роста. Современный этап развития обусловил необходимость разработки моделей экономического роста, учитывающих влияние информационных технологий, человеческого капитала, НИОКР. В настоящее время широкое распространение получили эндогенные модели долгосрочного роста, основанные на возрастании совокупной отдачи от масштаба при условии накопления человеческого капитала.

Идеи, которые высказал Пол Ромер (1983), Роберт Лукас (1985) и другие исследователи по поводу источников и факторов долгосрочного роста, заново возродили интерес к теории роста вообще и в частности к неоклассической теории роста. Это было чрезвычайно важно, поскольку в экономической литературе все чаще обращали внимание на то, что теория роста «выдохлась». Статья Ромера «Возрастающая отдача и долгосрочный рост» была опубликована в 1986 г., позже были написаны и другие работы, основанные на идеях эндогенного роста. В эндогенных моделях долгосрочного роста запас человеческого капитала рассматривается как «общественный фактор производства», который не зависит от решений экономических агентов, однако, влияет на их производительность.

Современным моделям роста посвящены работы Даймонда (Diamond, 1965), Коопманса (Coopmans, 1965), Кэсса (Cass, 1965), Солоу (Solow, 1956), Суона (Swan, 1956), Рамсея (Ramsey, 1928) и ряда других авторов. В большинстве работ рассматривается полностью агрегированная модель с одним производимым благом ( $Y$ ), потребляемым ( $C$ ) или капитализируемым ( $K$ ). Предложение труда предполагается неэластичным ( $L$ ), темпы роста предложения труда и занятости являются величиной постоянной. Производство основано на неменяющихся технологиях, которые обеспечивают постоянную отдачу от масштаба.

Исследования показали, что признаки конвергенции можно обнаружить между экономически развитыми странами и невозможно между экономически развитыми, с одной стороны, и развивающимися, с другой. Это наблюдение побудило Ромера и Лукаса к теоретическим исследованиям, которые легли в основу «новой теории роста». Если не существует конвергенции, тогда сами темпы роста должны быть эндогенными, что предполагает возможность межстрановых различий в темпах роста. Ромер и Лукас использовали подход моделирования запаса человеческого капитала как производимого ресурса, влияющего на темпы экономического роста, который ранее применялся в работах Эрроу (Arrow, 1962) и Узавы (Uzawa, 1965). Объяснения дивергенции на основе различий в человеческом капитале находят подтверждение и создают базу для экономической теории, что и показали в своих исследованиях Ромер и Лукас. Если традиционно различия в темпах роста валового внутреннего продукта на душу населения объяснялись различиями в технологиях, то Ромер (Romer, 1986) выдвинул предположение, что человеческий капитал имеет возрастающую предельную производительность. Таким образом, с теоретической точки зрения, экономический рост на основе инвестиций в человеческий капитал, по сути, бесконечен. В предложенной теоретической модели Ромер (Romer, 1986) абстрагируется от технологических изменений, зависящих только от времени. Основными экономическими агентами являются фирмы и домохозяйства. Технология фирмы представлена производственной функцией  $F(k, K, x)$ , которая требует иной интерпретации:  $x$  – основной капитал, неквалифицированный труд и прочие затраты, которые являются неизменными (их можно не обозначать);  $k$  – текущий запас человеческого капитала фирмы,  $K$  – агрегированный запас человеческого капитала, равный  $Sk$ , если экономика содержит  $S$  идентичных фирм. Именно  $K$  порождает внешние эффекты. Капитал начинает влиять при определенных условиях. Отдельная фирма не может на него влиять, являясь «price taker», «ценополучателем». Функция  $F(k, K, x)$  имеет возрастающую отдачу от масштаба. Внешние эффекты, порождаемые совокупным запасом человеческого капитала, имеют возрастающую предельную производительность.

Необходимо уточнить, что  $k$  (текущий запас человеческого капитала фирмы) в большей степени соответствует запасу технических знаний, который приводит к получению нового результата. То есть модель, фактически, описывает эндогенный технический прогресс. Если фирма улавливает внешние эффекты, создаваемые ее собственными инвестициями в исследования, то она будет иметь возрастающую отдачу от масштаба собственного производства. В результате был сделан вывод о необходимости расширения затрат на образование, профессиональную подготовку и другие виды деятельности, увеличивающие человеческий капитал, которые должны субсидироваться государством.

В настоящее время все шире используются модели, основанные на аппарате производственных функций, где в качестве объясняющих переменных выступают не только труд и капитал, но и человеческий капитал, технологии, информация, НИОКР. Для того, чтобы оценить влияние этих факторов на выпуск, часть из них аналитики рассматривают как особый вид капитала, который включается в качестве дополнительной переменной в производственную функцию. В разработанных в экономической литературе моделях эти факторы играют роль «входных» переменных, их можно регулировать, они несут смысловую нагрузку объясняющих переменных. Технологическое обновление производства, использование современной техники является необходимым, но недостаточным условием поддержания высоких темпов роста. Технологическая модернизация должна сопровождаться повышением качества рабочей силы. Возросшие требования к качеству человеческого капитала предполагают активные структурные сдвиги в экономике, направленные на интенсивное развитие социальной инфраструктуры и рынка услуг. Это обстоятельство влияет на изменение структуры инвестиций.

Подводя итог проведенному анализу, важно подчеркнуть ключевую роль инвестиций в моделях экономического роста.

Во-первых, увеличение инвестиционных ресурсов повышает экономический потенциал страны, что формирует предпосылки экономического роста. Эффективная структура инвестиций

способствует технологическому обновлению производства, изменению отраслевых и секторальных пропорций, росту производительности труда. Важнейшим фактором, определяющим уровень выпуска, является норма сбережения (накопления). В частности, модель Солоу показывает, что норма сбережения определяет устойчивый уровень капиталовооруженности. Он подчеркивает, что страны с высокой нормой сбережения больше инвестируют и имеют более высокий уровень капиталовооруженности, что обеспечивает высокий уровень душевого дохода. Важным для России, как следует из теоретических выводов модели, является, с одной стороны, повышение нормы сбережения, с другой стороны, отладка механизма трансформации сбережений в инвестиционные ресурсы, а также решение проблемы «оттока капитала».

Во-вторых, увеличение инвестиционных ресурсов может опираться на комбинацию следующих источников: собственные средства предприятий, которые включают амортизационные отчисления и часть прибыли; инвестиционные кредиты банков; потенциал фондового рынка. Технологическое обновление производства развитых стран в значительной мере было основано на механизме ускоренной амортизации. Российским предприятиям этот механизм также позволяет получить ряд преимуществ.

В-третьих, в рыночной экономике важнейшим механизмом привлечения инвестиций и перераспределения капитала является фондовый рынок. В экономически развитых странах фондовый рынок выступает основным поставщиком инвестиционных ресурсов в развивающиеся сегменты экономики. Трансформация сбережений в инвестиции формирует финансовые предпосылки экономического роста. Исследователи фондового рынка считают, что экономика России располагает такими потенциальными финансовыми ресурсами, которые во много раз превосходят существующие потребности в них. В последние годы произошло качественное изменение роли фондового рынка в российской экономике, который все более превращается в реальный механизм инвестирования предприятий и капитализации экономики, обеспечивая трансформацию части сбережений в инвестиции.

В-четвертых, значительное влияние на инвестиционный процесс оказывает развитие финансовых институтов. В российской экономике инвестиционный процесс осуществляется в значительной степени за счет собственных средств предприятий, доля банковских кредитов или эмиссии акций невелика. Это существенно отличает российскую инвестиционную модель от западной, где доминирующую роль играют банковские кредиты и рынок ценных бумаг. В перспективе акции должны стать инструментом масштабного привлечения капиталовложений в реальный сектор экономики, а банковская система – соответствовать структуре и задачам развития корпоративного сектора.

В-пятых, на государственном уровне в настоящее время реализуется стратегия активного привлечения инвестиций в ведущие отрасли промышленности, а также в инфраструктурное развитие территорий. Взят курс на обновление основных средств, внедрение высоких технологий, замену устаревшего оборудования. Эта позитивная тенденция формирует новые источники экономического развития.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лисин В.С. Макроэкономическая теория и политика экономического роста / В.С. Лисин. М.: ЗАО «Издательство “Экономика”», 2004. 320 с.
2. Кузнец С. Современный экономический рост: результаты исследований и размышления: Нобелевская лекция / С. Кузнец // Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков: в 5 т. Т. V: в 2 кн. Кн. 1. Всемирное признание: лекции нобелевских лауреатов / Отв. ред. Г.Г. Фетисов. М.: Мысль, 2004. С. 106-124.
3. Дзарасов С.С. Обсуждение теоретических проблем экономического роста / С.С. Дзарасов // Теория капитала и экономического роста. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 192-218.

4. Солоу Р. Теория роста и дискуссия о ней / Р. Солоу // Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков: в 5 т. Т. V: в 2 кн. Кн. 1. Всемирное признание: лекции нобелевских лауреатов / Отв. ред. Г.Г. Фетисов. М.: Мысль, 2004. С. 574-593.

**Шилова Евгения Витальевна –**

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Финансы»  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

УДК 502.656:34

**А.Я. Щукина**

### **АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

*Приведено обоснование возможности применения основных законов термодинамики в анализе эколого-экономических отношений. Дается вывод математического выражения для функции полезности, используемой для прогноза количества выпускаемой или приобретаемой продукции при определенном располагаемом ресурсе. Это позволяет оптимально производить и приобретать необходимую продукцию и проводить широкий круг других экономических расчетов.*

**A.Ya. Shchukina**

### **THE ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND ECONOMICAL INTERRELATIONS ON THE BASIS OF FUNDAMENTAL LAWS OF NATURAL SCIENCES DEVELOPMENT**

*The possibility to apply fundamental laws of thermodynamics when analyzing ecological and economical interrelations has been given in the present article. The conclusion of mathematical formula is given for the function of usage applied to forecast the quantity of manufactured products and acquired ones having certain resource. It makes it possible to manufacture and purchase necessary products in an optimum way as well as to perform a wide range of other economical calculations.*

Современное общество все более проявляет признаки бисоциальной системы, которая включает экономическую, социальную и экологическую сферы, названные экосферой [1]. Это заставляет пересмотреть сложившиеся взгляды на анализ развития производительных сил и производственных отношений, включив в него экологическую составляющую, которая по прогнозам ученых станет определяющей в экономике XXI века и будет серьезно влиять на социальное развитие общества.

Существует ряд концепций, отражающих роль окружающей среды в развитии экономики, промышленности и общества в целом. Так, например, классическая модель производ-

ства рассматривает природные ресурсы и экосистемы как неистощимые и не лимитированные источники, используемые для удовлетворения потребностей общества [2]. Однако, она не учитывает экологическую составляющую в экономических процессах, не рассматривает развитие общества в гармонии с окружающей природной средой. Как будто нет сведений о протекании глобального экологического кризиса, начавшегося еще в конце XIX века, как будто не было конференций ООН и РиО-92 по охране окружающей среды и принятого курса «устойчивого развития», как будто нет прогноза Римского клуба о возможности наступления в середине XXI века тотальной экологической катастрофы.

Экономика, как область больших массивов информации, является весьма богатным объектом обобщения и анализа на основе законов развития естественных наук и применения метода математического моделирования и прогнозирования. Для прогнозирования развития экономических систем в работе предлагается использовать предполагаемые аналогии в поведении и свойствах эколого-экономических и термодинамических процессов.

Подходы, основанные на поиске аналогий в поведении сложных эколого-экономических и термодинамических систем, рассматривались нами ранее [3-6], и в обобщенном виде представлены в данной статье.

### **Понятие системы в термодинамике и экономике (экологии)**

Под системой в термодинамике понимается ряд тел, находящихся во взаимодействии друг с другом и мысленно выделяемых в пространстве. Эти тела выделяются от других тел условной оболочкой. В экономике и экологии – это ряд природных объектов, поставляющих природные ресурсы, предприятия, участки внутри предприятий, взаимодействующих друг с другом и выделяемых, в первом приближении, из остальных объектов.

### **Принцип эквивалентности**

В термодинамике – это установленное опытом точное соответствие между собой разных видов энергии (под видами энергии понимается сложившееся в XIX веке представление о механической, электрической и других видах энергии).

В эколого-экономических взаимоотношениях – это наличие всеобщего эквивалента товаров в денежном выражении.

### **Основное выражение первого закона термодинамики**

В термодинамике – это

$$E_2 - E_1 = Q - L - W...$$

Здесь: в левой части – изменение внутренней энергии системы, в правой части – виды взаимодействий системы с окружающей средой: теплота, работа и так далее.

В экономике – это

$$K_2 - K_1 = I - Э...$$

Здесь: в левой части – изменение капитала в эколого-экономической системе, в правой части – импорт  $I$ , экспорт  $Э$  и другие виды взаимодействия системы с окружающей средой или между экономическими системами. Применительно к окружающей природной среде понятие «экспорт» означает поставку природой необходимых ресурсов для потребления экономикой. Понятие «импорт» – принятие природой для обезвреживания токсичных отходов деятельности промышленности.

Данные аналогии позволяют продолжить поиск однозначных параметров в терминологии. Представление о температуре в термодинамике связано с мерой кинетической энергии системы, определяемой как частное от деления внутренней энергии на теплоемкость. В экономике – это частное от деления капитала эколого-экономической системы на количество рабочих внутри системы. Как видно, экономическая трактовка первого закона термодинамики находит полное подтверждение. Рыночные подходы к охране окружающей природной среды позволяют распространить вышеприведенные аналогии на анализ экологического рынка и на поиск равновесных состояний между экологией и экономикой с термодинамических позиций. В этом случае

методология анализа и математический аппарат расчета различных термодинамических состояний вполне применим к расчету эколого-экономических равновесий.

Применимость второго закона термодинамики к эколого-экономическим системам можно представить аналогично.

В термодинамике –

$$dS > 0 ,$$

где  $dS$  – изменение энтропии в системе. Это выражение свидетельствует о том, что в замкнутой термодинамической системе, в которой происходят неравновесные термодинамические процессы, изменение энтропии  $S$  больше нуля. Если в системе есть разность температур, то начинается самопроизвольный процесс выравнивания температур так, что теплота передается от тел более нагретым к телам менее нагретым.

В экономике – это

$$dS = dK \cdot \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) > 0 .$$

Здесь  $dK$  – передача капитала внутри системы;  $T$  – эколого-экономическая температура, под которой понимается капитал, включая используемые природные ресурсы, приходящиеся на одного человека. В таких системах капитал передается не только от большего уровня к меньшему, но и наоборот, что происходит при его накоплении. Как следует из аналогии с термодинамикой, это накопление вызывается искусственным процессом, аналогом внешней работы. В экономике это объясняется стремлением капитала к укрупнению в форме монополистического. В этом случае изменение энтропии отрицательно и с точки зрения рационального уровня жизни людей более приемлема естественная форма, когда энтропия увеличивается. В экологии такое накопление капитала означает снижение экспорта природных ресурсов от природы к экономике, что равносильно снижению антропогенной нагрузки на природу. Отрицательная величина изменения энтропии в этом случае означает деградацию природной среды. Эти противоположные процессы в реальных условиях создают равновесные состояния, в которых изменение энтропии равно нулю. Расчеты таких равновесных состояний важны для эколого-экономических взаимоотношений и предлагаемый вариант подхода, на наш взгляд, может быть весьма плодотворным. Это важный вывод, так как методология расчета различных термодинамических равновесий применительно к закрытым и открытым системам в данной науке разработана достаточно полно.

Другой важной задачей эколого-экономических отношений является нахождение кривых оптимального соотношения между количеством производимых и реализуемых товаров и услуг. Задача приобретает важное значение для экологии, так как позволяет значительно снизить антропогенную нагрузку на природу путем прекращения производства товаров, не пользующихся спросом или существенно загрязняющих природу на единицу выпускаемой продукции, когда общественная ценность товара становится величиной отрицательной.

Теория рыночной экономики не дает каких-либо практических способов построения таких кривых, называемых кривыми замещения или кривыми безразличия. Наиболее известна кривая Коба-Дугласа, названная неоклассической и описываемая уравнением (1).

$$I = y_1^{0,25} \cdot y_2^{0,75} , \quad (1)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – количество первого и второго товаров;  $I$  – функция полезности.

Интерес к поиску действительных зависимостей между количествами товаров связан с заманчивой возможностью математической оптимизации и определения количества производимых товаров при располагаемом ресурсе  $S$  по точке касания кривых (1) и (2).

$$y_2 = \frac{S - y_1 \cdot p_1}{p_2} . \quad (2)$$

Здесь  $p_1, p_2$  – цены товаров, или природных ресурсов.

Для  $N$  товаров располагаемый ресурс определяется выражением:

$$S = \sum_1^N p_i \cdot y_i . \quad (3)$$

Отсутствие каких-либо рекомендаций по построению этих кривых в существующей экономической литературе является основным препятствием для практического применения сделанного вывода. Поэтому многие эколого-экономические анализы интуитивны и реализуются практически с последующими неизбежными ошибками, выражающимися в перепроизводстве товаров и перерасходе природных ресурсов. Попытки получить количественную зависимость между различными товарами предпринимались неоднократно и отражены в школах «кардиналистов» и «ординалистов». Возникло предположение о возможности отыскания способов расчета кривых замещения путем поиска решения аналогичных задач в других науках.

В неравновесной термодинамике известны случаи взаимодействия систем с разнородными веществами, имеющими разные показатели рассматриваемой активности. Применительно к эколого-экономическим взаимоотношениям элементарные вероятности товаров равны:

$$dM_1 = \frac{dY_1}{Y_1} b_1 , \quad dM_2 = \frac{dY_2}{Y_2} b_2 \dots \quad (4)$$

Здесь  $dY_i, Y_i, b_i$  – соответственно: элементарное изменение, количество и престижность товаров, услуг или используемых природных ресурсов. Под престижностью понимается показатель, отличающий активность одного товара от другого в процессе купли-продажи или производстве. Находя суммарную вероятность и представляя ее через некоторый эквивалентный товар

$$dM = \frac{dI}{I} \cdot \sum b_i = \sum \frac{dY_i}{Y_i} b_i , \quad (5)$$

путем интегрирования получаем выражение для определения функции полезности:

$$I = Y_1^{c_1} \cdot Y_2^{c_2} \dots \quad (6)$$

Здесь:

$$c_1 = \frac{b_1}{\sum b_i} , \quad c_2 = \frac{b_2}{\sum b_i} \dots \quad (7)$$

В отличие от уравнения (1) уравнение (6) позволяет рассматривать неограниченное количество товаров, а уравнение (7) делает представление о показателях степеней более определенным. Если за престижность ( $b_i$ ) принять выручку от продаж, определяемую как:

$$b_i = p_i \cdot Y_i , \quad (8)$$

то при оптимизации многомерные поверхности замещения и располагаемых ресурсов имеют единственную точку касания  $Y_i$ . Это служит доказательством того, что функция полезности (6) является универсальной. Более того, для ее построения с учетом прогноза рыночного движения товаров требуется знать значения, входящие в (8), только за предыдущий период. Если известна располагаемая сумма ресурсов  $S$ , то количество каждого товара в общей закупке определяется из выражения

$$y_i = S \cdot c_i / p_i . \quad (9)$$

Эта формула решает первую задачу экономики – определение номенклатуры и количества закупаемых товаров по заданной располагаемой сумме.

Предложенный математический аппарат расчета коэффициентов  $c_1$  и  $c_2$  в уравнении (6) обладает глубокой прогностической способностью. Например, по нему можно рассчитать полезность сделок для каждого участника и вычислить объемы оптимальных закупок при располагаемой сумме на рынке ценных бумаг. В качестве примера в работе [6] приведена обработка опубликованной базы данных по рынку ценных бумаг одной из фирм, подтверждающая сделанные выводы.

Полезность такого анализа для наиболее рационального использования располагаемого ресурса средств выражается в том, что любые отклонения от этих значений вызывают убытки, которые можно рассчитать. Это фактически означает, что применение универсальной кривой замещения позволяет избавиться от произвольного выбора соотношения приобретаемых или выпускаемых товаров разных компаний и более рационально использовать располагаемые средства. Предложенная методология применима к расчету номенклатуры и количества выпускаемой продукции любого предприятия и, естественно, скажется как на объеме потребляемых ресурсов, так и объеме загрязнений, поступающих в окружающую природную среду.

Продолжая поиск аналогий, можно утверждать, что подходящим аналогом термодинамической температуры в экономике может быть принят капитал предприятия, приходящийся на одного работающего человека. По аналогии с термодинамикой примем, что элементарной экономической энтропией называется отношение элементарного движения капитала к фондовооруженности. Экономическая энтропия  $S_e$  обладает теми же свойствами, что и термодинамическая, а именно: абсолютное ее значение неизвестно, но она может быть вычислена от любого условного уровня. Она обладает свойством аддитивности, то есть значение для сложной системы равно сумме энтропий составляющих более простых систем, и является функцией состояния для равновесной системы. Последнее свойство дает возможность представлять экономические процессы в  $k-S_e$  диаграмме (Аналог  $T-S$  диаграммы в термодинамике). При этом располагаемый ресурс должен быть представлен в эквивалентных единицах [6].

Отмеченная аналогия поведения эколого-экономических систем с термодинамическими системами может быть той отправной точкой поиска новых эколого-экономических обобщений, которые позволят продолжить процесс интеграции экономических дисциплин и создания единой теории развития взаимоотношений в системе природа – общество.

Предложенный метод формализации экономических процессов и комплексного анализа экономической информации с помощью термодинамических и математических принципов позволит более точно осуществлять различные экономические прогнозы, что весьма полезно для практики хозяйствующего субъекта. Математический аппарат термодинамических систем разработан детально и его приложение к экономической информации позволит проводить дальнейшее обобщение и систематизацию экономических знаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Т.А. От экологии к макроэкологии / Т.А. Акимова // Экос-информ. 2004. № 6. С. 29.
2. Курс экономики / под ред. Б.А. Ройсберга. М.: Инфра-М, 1997. 714 с.
3. Щукина А.Я. Формализация экономических процессов с помощью термодинамических и математических принципов / А.Я. Щукина, В.К. Ляхов, В.П. Щукин // Менеджмент и экономика в системе высшего профессионального образования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Нестор, СПбГУ, 1998. С. 132.

4. Щукин В.П. Термодинамические подходы к анализу эколого-экономических отношений / В.П. Щукин, В.К. Ляхов, А.Я. Щукина // Наука, техника, образование г. Тольятти и Волжского региона: межвуз. сб. трудов. Тольятти: Изд-во ТолПИ, 1999. С. 77.

5. Щукина А.Я. Фундаментализация эколого-экономических отношений на основе согласования законов развития фундаментальных наук / А.Я. Щукина, В.К. Ляхов, В.П. Щукин // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. Тольятти: Изд-во ВУиТ, 2001. С. 17.

6. Щукина А.Я. Функциональная экономика / А.Я. Щукина, В.К. Ляхов, В.П. Щукин. Тольятти: ТПИ, 2003. 180 с.

**Щукина Алла Яковлевна –**

кандидат экономических наук,

доцент кафедры «Теоретическая и прикладная экономика»

Волжского университета им. В.Н. Татищева

## БЕЗОТКАЗНОСТЬ ЭНТУЗИАЗМА И ФИЗИКА ОТКАЗОВ



19 января 2006 г. исполнилось 80 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» (АТП) КУРАНОВА Владимира Георгиевича. Уже более 45 лет – с 1960 г. – работает в нашем вузе профессор Куранов: сначала доцентом кафедры «Гироскопические приборы» (ГП), деканом энергоприборостроительного факультета, затем – с 1976 г. – заведующим кафедрой «Автоматизация и комплексная механизация» (АКМ) – ныне кафедра АТП, деканом машиностроительного факультета и, в настоящее время, профессором кафедры АТП.

Родился он в семье школьных учителей в селе Колено Екатериновского района Саратовской области. Владимир Георгиевич к преодолению трудностей привык с детства. Четырнадцатилетним подростком В.Г. Куранов управлял трактором и комбайном не хуже взрослых хлеборобов. Первые два года войны работал в поле, потом попытался было поступить в танковое училище, но его расфор-

мировали и волею судьбы В.Г. Куранов осенью 1943 года оказался в столице, стал студентом Московского авиационного технологического института (МАТИ). На первых курсах не только постигали азы науки, но и занимались делом, не имевшим никакого отношения к авиации: валили лес в тайге на севере Ярославской области: «Все для фронта, все для победы». Надо ли говорить, что жили, как и все в то время, впроголодь. В память об этом времени осталась медаль «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», а за мирный труд В.Г. Куранов награжден орденом «Знак Почета». Ну, а после Победы налег на учебу, доказав на государственных экзаменах, что вполне освоил серьезную науку и способен на многое. В 1949 году, когда выпускник МАТИ Владимир Куранов прибыл на Саратовский завод имени С.Орджоникидзе, разворачивалась гонка вооружений между США и СССР, и ему довелось своим трудом внести посильную лепту в победу нашей космической программы, увенчавшейся успешным запуском первого спутника и первого космонавта. Работая в цехе гироскопических приборов, молодой инженер-технолог (впоследствии главный контролер качества продукции) отвечал за надежность выпускаемой продукции. В то время возникла проблема отказов платиновых контактов, которая связана (как тогда считали) с образованием на них налета коричневого цвета в результате попадания паров органических растворителей, применявшихся при производстве приборов. Образование полимерной пленки на контактах считалось аксиомой, и В.Г. Куранова обвинили в неспособности устранить причину полимеризации. Ему пришлось вникнуть в тонкости теории и практики и доказать, что отказы контактов вызваны не нарушением технологии, а окислением платины в результате трения контактов, единственного в своем роде процесса, способствующего окислению не окисляющихся металлов за счет внутреннего атомарного кислорода. Так было сделано первое (но не единственное) в его жизни открытие. Когда в 1967 г. космическая станция «Венера» совершила посадку и стала передавать изображение поверхности планеты, тогда телеметрическая информация шла через коммутаторы с безотказными контактами, разработанными В.Г. Курановым совместно с учеными Уральского научного центра. Разработки В.Г. Куранова рождаются на стыке наук и обусловлены глубочайшим проникновением в тонкости структурного строения материалов.

В.Г. Куранов – ученый с мировым именем – он постоянно поддерживает научные контакты с коллегами из России, Украины, Польши, Словакии, Германии, Великобритании, Франции и других стран, выступает с докладами на международных трибологических конференциях, симпозиумах, конгрессах. Международный Совет по избирательному переносу и фрикционным покрытиям оценил работу профессора Куранова как научное открытие неизвестного ранее явления фрикционной непроводимости (ФН) с вручением золотой медали. Приоритет автора на открытие явления ФН подтвержден заключением Российской инженерной академии. В.Г. Куранов опубликовал около 200 научных трудов, в том числе 18 авторских свидетельств и патентов. Профессор Куранов является одним из корифеев в области создания новых триботехнологий, его школа признана ведущими учеными-трибологами. Под руководством профессора Куранова разработаны и запатентованы узлы трения, использующие новые трибологические принципы и эффекты: «эффект скачка» при образовании пленки оксида, «эффект активации фрикционной коррозии» при испарении конденсированной влаги и др.

Одна из последних разработок – запатентованный «Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения» была по достоинству оценена золотой медалью IV Международного салона инноваций и инвестиций, проводившегося в феврале 2004 г. на ВВЦ в г. Москве. Такой подшипник найдет широкое применение как в транспортной технике (в узлах подвески, карданных передачах, шарнирах и др.), так и в буровом оборудовании и других областях техники.

Открытие явления ФН, а также решение проблемы совместимости проводимости и износостойкости нашли широкое применение в промышленности, так, экономический эффект от внедрения результатов хозяйственных работ составил 5 млн. рублей (в ценах до 1991 г.). В настоящее время в результате конверсии научных результатов образовано новое научное направление в трибологии: «Разработка и исследование шарнирных узлов и подшипников, основанных на новых трибологических принципах и эффектах».

Сфера деятельности Владимира Георгиевича распространяется и на подшипники качения. Так, при исследовании процессов окончательной доводки шаров подшипников было открыто явление «трибоцементации» – науглероживания их поверхностного слоя за счет переноса углерода, как из материала доводочных дисков, так и изнутри шара к его поверхности. В результате шары после доводки становятся переупрочненными и теряют свой ресурс. Разработанные методы борьбы с этим явлением нашли свое отражение в очередном патенте и внедрении технологии на ОАО СПЗ.

Достижения Владимира Георгиевича не были случайными – это результат целенаправленной творческой работы человека, болеющего душой за свое дело.

Несмотря на солидный возраст, Владимир Георгиевич имеет высокую работоспособность, ясность мысли и продолжает успешно и плодотворно работать. Под его руководством работает творческий коллектив, в который входят молодые ученые нашего вуза. Профессор Куранов – член научно-методического Совета по трибологии Министерства образования РФ при МГТУ им. Баумана, член докторского диссертационного совета Д 212.242.02 при СГТУ.

Кроме того, Владимир Георгиевич успевает находить время и для своих увлечений: охоты и работы на дачном участке.

Высокий творческий потенциал Владимира Георгиевича Куранова сохраняется и поныне – он полон творческих сил и новых планов, его научные разработки востребованы не только в Саратове, но и в целом в подшипниковой отрасли, так, в скором времени ему предстоит обмен опытом с самарскими учеными и производственниками.

Давайте пожелаем ему счастья, здоровья, долгих лет жизни, а также исполнения всех его замыслов и надежд.

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, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул MS Word Microsoft Equation. 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. К статье прилагается 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.