

**ВЕСТНИК  
САРАТОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
2006**

**№ 2 (12)  
Выпуск 1**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Май 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 29.05.06  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 21,24 Уч.-изд. л. 22,32  
Тираж 500 экз. Заказ 270  
Отпечатано в РИЦ СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**Подписной индекс 18378**  
(каталог «Газеты. Журналы» на 2-е полугодие 2006 г. Дополнение № 1)

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2006**

**№ 2 (12)  
Edition 1**

Scientific Journal

Since 2003  
*Once in a quarter*  
May 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: 29.05.06  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 21,24 Acc.-pbl. l. 22,32  
Edition 500 psc. Order 270  
Printed in EPC of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

<b>Андрейченко Д.К.</b> Аналог метода Хилла в задачах устойчивости периодических решений нелинейных дискретно-континуальных систем .....	5
<b>Крысько А.В., Овсянникова О.А.</b> Хаотические колебания двухслойной упругой защемленной по контуру прямоугольной неспаянной пластинки .....	16
<b>Ольшанский В.Ю., Михайлов В.Ю., Серебряков А.В.</b> Результаты применения метода выпрямления фронтов при моделировании термического расщепления графита .....	19
<b>Шагивалеев К.Ф.</b> Расчет пространственной системы из двух оболочек, соединенных промежуточными связями .....	24
<b>Шляхов С.М., Кривулина Э.Ф.</b> Задача термоупругости для круглой, не выделяющей тепло плиты при пористом ее охлаждении .....	31

**НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

<b>Багайсков Ю.С., Шумячер В.М.</b> Совершенствование структурно-механических свойств абразивных инструментов высокой плотности .....	38
<b>Любимов И.И., Михайлов А.Ф., Сычёв А.М.</b> Низкочастотные колебания колёсных машин с нелинейной характеристикой подвески .....	42
<b>Мартюченко И.Г.</b> Буровой инструмент с тяговым винтовым наконечником .....	45
<b>Назарьева В.А., Васин А.Н., Бочкарев П.Ю.</b> Разработка программного обеспечения для определения режимов резания при шлифовании .....	49
<b>Шумячер В.М., Куликова Л.Н., Надеева И.В., Гришин Я.В.</b> Исследование механизма износа абразивного материала в процессе микрорезания .....	56

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Архипова Н.В., Михайлова А.М., Симаков В.В., Третьяченко Е.В.</b> Моделирование кинетики топоэлектрохимической реакции в системе $\text{Li/Sb}_2\text{S}_x$ .....	60
<b>Бекренев Н.В., Приходько С.В.</b> Ультразвуковое модифицирование поверхности дентальных имплантатов в процессе ее абразивно-струйной обработки под электроплазменное напыление биопокрытий .....	64
<b>Гришина О.А., Бесшапошникова В.И., Никитина Т.Г., Куликова Т.В., Луцкова Л.В.</b> Огнезащищенные полимерные волокнистые материалы для спецодежды .....	70
<b>Родионов И.В., Серянов Ю.В.</b> Применение технологии анодного оксидирования при создании биосовместимых покрытий на дентальных имплантатах .....	77
<b>Яковлев А.В., Яковлева Е.В., Забудьков С.Л., Финаенов А.И.</b> Очистка воды от ионов $\text{Ni}(\text{II})$ и $\text{Fe}(\text{II})$ фильтрами из терморасширенного графита .....	88

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

<b>Киселев В.А.</b> Автоматизированная система контроля температурной стабильности магнитных периодических фокусирующих систем с малым диаметром рабочих каналов в диапазоне температур $-65 \div +250^\circ\text{C}$ .....	94
---	----

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Долинина О.Н., Каримов Р.Н.</b> Методы обработки многомерных данных объектов числовой и нечисловой природы .....	100
---	-----

**ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

<b>Леванде А.Б., Терентьев А.А., Фурсаев М.А., Зяблов А.С.</b> Оценка области применения простейших моделей амплитрона .....	110
<b>Тертышник В.В., Зиновьев А.В.</b> Моделирование алгоритмов распознавания объектов по их радиолокационным портретам .....	115

**ЭКОЛОГИЯ**

<b>Дячук О.А., Губина Т.И., Мельников Г.В.</b> Люминесцентные методы определения полициклических ароматических углеводородов в оценке экологического состояния среды .....	128
--	-----

**ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА**

<b>Бабошкин А.В.</b> Социально-экономические проблемы обеспечения устойчивости пенсионной системы в условиях пенсионной реформы .....	135
<b>Бигдай О.Б.</b> Взаимодействие государства с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства .....	138
<b>Кром И.Л.</b> Современные подходы к оценке качества жизни, связанного со здоровьем, в практике института медико-социальной экспертизы .....	144
<b>Миринова Л.К.</b> Современные подходы в управлении занятостью молодежи .....	151
<b>Пучков П.В.</b> Социальная защита геронтологической категории населения в обстоятельствах семейного геронтологического эбюзинга .....	157
<b>Слепухин А.Ю., Костюченко Л.С.</b> Болонский процесс: есть ли реальная альтернатива? .....	165
<b>Тесленко А.Н.</b> Ценностные ориентиры образования как фактор социализации молодого специалиста .....	174
<b>Щукина А.Я.</b> Теоретические основы рыночного механизма охраны природных объектов .....	178

## CONTENTS

### PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

<b>Andreichenko D.K.</b> The hill method analog in the stability problems of periodic solutions of nonlinear discrete-continual systems .....	5
<b>Krysko A.V., Ovsianikova O.A.</b> Chaotic vibrations of two-layered flexible restrained rectangular uncoupled plates.....	16
<b>Olshansky V.Y., Mikhailov V.Y., Serebrjakov A.V.</b> Results of applying of the straightening fronts method while simulating graphite thermal exfoliation .....	20
<b>Shagivaleev K.F.</b> Three-dimensional analysis of two built-up connection shells.....	24
<b>Shlyakhov S.M., Krivoulina E.F.</b> Thermoelasticity problem for a round not heat evolving plate at it's porous cooling.....	32

### MACHINE RELIABILITY

<b>Bagaiskov U.S., Shumatcher V.M.</b> Abrasive tools of high compactness structural and meghanical properties improvement.....	38
<b>Ljubimov I.I., Mihajlov A.F., Sychev A.M.</b> Low-frequency fluctuations on wheel machines with the nonlinear characteristic of a suspension .....	42
<b>Martyuchenko I.G.</b> Drilling tool with draft spiral tip .....	46
<b>Nazarjeva V.A., Vasin A.N., Bochkarev P.J.</b> Cutting at grinding definition modes software development.....	50
<b>Shumacher V.M., Kulikova L.N., Nadeeva I.V., Grishin Y.V.</b> The abrasive material wear-resistance research in act of micro-cutting .....	57

### NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

<b>Arkhipova N.V., Mikhailjva A.M., Simacov Y.V., Tretyachenco E.V.</b> Modelling of a kinetics of the topoelectrochemical reaction in a Li/Sb <sub>2</sub> S <sub>x</sub> system.....	60
<b>Bekrenev N.V., Prihodko S.V.</b> Ultrasonic modifying of dental implants surface in the process of its abrasive machining with electroplasma spraying of biocoverings.....	64
<b>Grishina O.A., Besshaposhnikova V.I., Nikitina T.G., Kulikova T.V., Lutskova L.V.</b> Fire-resistant polymer fibrous materials for overalls .....	71
<b>Rodionov I.V., Seryanov Yu.V.</b> Application of anodic oxidisation technology at of biocompatible coverings on dental implants creation.....	77
<b>Yakovlev A.V., Yakovleva E.V., Zabud'kov S.L., Finaenov A.I.</b> Water purification from Ni (II) and Fe (II) ions by thermally expanded graphite filters.....	88

### AUTOMATION AND MANAGEMENT

<b>Kiselev V.A.</b> The automated check-out system of the temperature stability of MPFS at temperature range from -65 ÷ +250°C .....	94
--	----

### INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Dolinina O.N., Karimov R.N.</b> Methods of presentation and joint processing of multidimensional data for objects of numeric and non-numeric origin.....	100
---	-----

### ELECTRONICS AND INSTRUMENT MARKING

<b>Levande A.B., Terentyev A.A., Fursaev M.A., Zyablov A.S.</b> Simplest of simulations of amplitrans range of usage assessment .....	110
<b>Tertishnik V.V., Zinoviev A.V.</b> Modeling of algorithms of objects recognition according to their radiolocation portraits.....	115

### ECOLOGY

<b>Djachuk O.A., Gubina T.I., Melnikov G.V.</b> The luminescent methods of determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the monitoring of environment .....	128
---	-----

### HUMANITARIAN AND ECONOMICAL PROBLEMS OF MODERN SOCIETY

<b>Baboshkin A.V.</b> Socio economic problems of pension provision stability within the pension reform.....	135
<b>Bigdai O.B.</b> The state and the agricultural entrepreneurs interrelationships .....	139
<b>Krom I.L.</b> Modern approaches of life quality evaluation connected with health in the practice of medical-social examination institute .....	145
<b>Mironova L.K.</b> New approaches in youth employment management .....	152
<b>Puchkov P.V.</b> Social protection of gerontology category of population under circumstances of elderly abusing .....	157
<b>Slepukhin A.Yu., Kostyuchenko L.S.</b> The bologna process: is there any alternative? .....	165
<b>Teslenko A.N.</b> Value orientation of education as a factor of young professional socialization.....	174
<b>Shchukina A.J.</b> Theoretical principles of nature objects protection through market means .....	179

# ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 531.36

Д.К. Андрейченко

## АНАЛОГ МЕТОДА ХИЛЛА В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Предложен аналог метода Хилла исследования устойчивости периодических решений применительно к дискретно-континуальным механическим системам, движение дискретных элементов которых описывается нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями с запаздывающим аргументом.*

D.K. Andreichenko

## THE HILL METHOD ANALOG IN THE STABILITY PROBLEMS OF PERIODIC SOLUTIONS OF NONLINEAR DISCRETE-CONTINUAL SYSTEMS

*The analog of the stability Hill method research of periodic solutions with reference to discrete - continual mechanical systems is offered here, driving of which discrete elements are described by the nonlinear ordinary differential equations with lagging argument.*

### Введение

Исследование устойчивости в малом периодических решений нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений, в соответствии с теорией Флоке, сводится к вычислению матрицы монодромии и исследованию ее собственных значений [1, с.187]. Применительно к системам обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом либо к дискретно-континуальным системам (ДКС), описываемым совокупностями обыкновенных дифференциальных уравнений и связанными с ними граничными условиями и условиями связи уравнениями в частных производных, численное построение матрицы монодромии становится проблематичным. В настоящей статье, на примере рассмотренной ранее в [2] нелинейной газореактивной системы стабилизации спутника с упругим стержнем и закрепленным на его конце телом, показана принципиальная возможность развития метода Хилла [3, с. 269] к исследованию устойчиво-

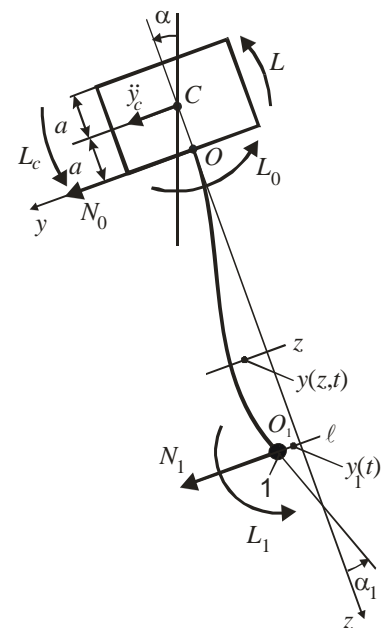


Рис. 1

сти периодических решений ДКС, движение континуальных элементов которых описывается линейными уравнениями в частных производных с не зависящими явно от времени коэффициентами, а движение дискретных элементов – нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями с запаздывающим аргументом.

### 1. Уравнения движения дискретно-континуальной системы

Уравнения движения показанной на рис. 1 ДКС (совершающего плоское движение абсолютно жесткого спутника с моментом инерции  $J_c$  и массой  $m_c$  под действием возмущающего момента  $L$ , с жестко закрепленным на расстоянии  $a$  от центра массы спутника прямолинейным однородным упругим стержнем, несущим жестко закрепленное на противоположном конце абсолютно жесткое тело с массой  $m_1$  и моментом инерции  $J_1$ ) в безразмерной форме имеют вид

$$J_c \ddot{\alpha} = L - f(w(t - \tau)) + L_0 - aN_0, \quad w(t) = b_1 \dot{\alpha}(t) + b_2 \alpha(t) + b_3 \int_0^t \alpha(\xi) d\xi, \quad (1.1)$$

$$m_c \ddot{y}_c = N_0, \quad J_1 (\ddot{\alpha} + \ddot{\alpha}_1) = L_1, \quad m_1 [\ddot{y}_c + \ddot{y}_1 - (1+a)\ddot{\alpha}] = N_1, \quad (1.2)$$

$$\ddot{y}(z, t) + \ddot{y}_c - (a+z)\ddot{\alpha} = -(y''''(z, t) + \gamma y''''(z, t)), \quad ( )' = \partial / \partial z, \quad (1.3)$$

$$z = 0: y(0, t) = y'(0, t) = 0; \quad z = 1: y(1, t) = y_1(t), \quad y'(1, t) = -\alpha_1(t), \quad (1.4)$$

$$L_0 = -y''(0, t) - \gamma \dot{y}''(0, t), \quad N_0 = -y'''(0, t) - \gamma \dot{y}'''(0, t) \\ L_1 = y''(1, t) + \gamma \dot{y}''(1, t), \quad N_1 = y'''(1, t) + \gamma \dot{y}'''(1, t) \quad (1.5)$$

$$t \leq 0: \alpha(t) = \dot{\alpha}(t) = y_c(t) = \dot{y}_c(t) = y(z, t) = \dot{y}(z, t) = 0. \quad (1.6)$$

Здесь  $f(w)$  – некоторая функция своего аргумента, описывающая нелинейность типа насыщения,  $b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты обратных связей  $( )' = \partial( ) / \partial z$ ,  $( \dot{ } ) = \partial( ) / \partial t$ . Примем далее

$$f(w) = \text{th}(w).$$

Линеаризация в окрестности состояния равновесия приводит уравнение (1.1) к виду (уравнения (1.2)-(1.6) при этом своего вида не изменяют)

$$J_c \ddot{\alpha} = L - b_1 \dot{\alpha}(t - \tau) - b_2 \alpha(t - \tau) - b_3 \int_0^{t-\tau} \alpha(\xi) d\xi + L_0 - aN_0, \quad j = 1, 2, 3. \quad (1.1.a)$$

Области устойчивости линейной ДКС (1.1.a), (1.2)-(1.6) в пространстве параметров обратных связей  $b_1, b_2, b_3$ , приведенные в [5], подробно исследовались на основе предложенных в [4] теорем об устойчивом квазимногочлене и об устойчивых, неустойчивых и асимптотически устойчивых квазирациональных дробях, а также предложенного в [5] варианта метода  $D$ -разбиений. Следует отметить, что наличие малого запаздывания  $\tau$  резко ограничивало области устойчивости за счет дестабилизации управляемой деформируемой конструкции по высшим формам колебаний. В случае, когда параметры обратных связей выходят за пределы областей устойчивости, исходные уравнения (1.1)-(1.6) при  $L(t)=0$  (с точностью до несущественного выбора начального момента времени) допускают  $2\pi/\omega$ -периодические решения

$$\alpha = \alpha^{(0)}(t), \quad \alpha_1 = \alpha_1^{(0)}(t), \quad y_c = y_c^{(0)}(t), \quad y_1 = y_1^{(0)}(t), \quad y(z, t) = y^{(0)}(z, t), \quad (1.7)$$

которые описывают возможные периодические автоколебательные режимы с частотой  $\omega$ , исследованные численно в [2] на основе метода гармонического баланса в высших приближениях. Во всех случаях период возможных автоколебаний (даже по высшим формам) превосходил характерное время запаздывания:

$$2\pi/\omega > \tau . \quad (1.8)$$

При численном моделировании развития начальных возмущений [2] выполнялась дискретизация уравнения (1.1) на основе проекционного метода Бубнова-Галеркина с использованием в качестве координатных базисных функций ортогональных полиномов Чебышева 1-го рода, и далее полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом интегрировалась численно. При этом было выяснено, что на фазовой плоскости  $(\alpha, \dot{\alpha})$  фазовые траектории достаточно быстро попадали в окрестность одного из возможных предельных циклов, однако вопрос о строгом исследовании устойчивости предельных циклов по Ляпунову остался открытым.

## 2. Исследование устойчивости предельных циклов

С точностью до выбора несущественного начального момента времени  $t=0$ , линейные уравнения движения ДКС, возмущенной в малой окрестности возможного предельного цикла, имеют вид (уравнения (1.2)-(1.5) своего вида не изменяют)

$$\begin{aligned} J_c \ddot{\alpha} &= -f^{(0)}(t-\tau)w(t-\tau) + L_0 - aN_0, \quad w(t) = b_1 \dot{\alpha}(t) + b_2 \alpha(t) + b_3 v(t), \quad \dot{v}(t) = \alpha(t) \\ f^{(0)}(t) &= f' \left( b_1 \dot{\alpha}^{(0)}(t) + b_2 \alpha^{(0)}(t) + b_3 \int \alpha^{(0)}(t) dt \right), \quad f'(z) = 1/\operatorname{ch}^2(z) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Обозначим

$$Y(t) = \{v(t), \alpha(t), \dot{\alpha}(t), \alpha_1(t), \dot{\alpha}_1(t), y_c(t), \dot{y}_c(t), y_1(t), \dot{y}_1(t), y(z,t), \dot{y}(z,t)\} .$$

Аналогично [1, с. 298], поскольку исходные уравнения (1.1), (1.2)-(1.5) не зависят от времени, с точностью до несущественного выбора начального момента времени при  $L(t) \equiv 0$  уравнения возмущенного движения (2.1), (1.2)-(1.5) по форме записи аналогичны уравнениям относительно набора величин

$$\dot{Y}(t) = \{\dot{v}(t) = \alpha(t), \dot{\alpha}(t), \ddot{\alpha}(t), \dot{\alpha}_1(t), \ddot{\alpha}_1(t), \dot{y}_c(t), \ddot{y}_c(t), \dot{y}_1(t), \ddot{y}_1(t), \dot{y}(z,t), \ddot{y}(z,t)\} ,$$

полученным дифференцированием по времени (1.1), (1.2)-(1.5). Следовательно,  $2\pi/\omega$ -периодические функции

$$v(t) = \alpha^{(0)}(t), \alpha = \dot{\alpha}^{(0)}(t), \alpha_1 = \dot{\alpha}_1^{(0)}(t), y_c = \dot{y}_c^{(0)}(t), y_1 = \dot{y}_1^{(0)}(t), y(z,t) = \dot{y}^{(0)}(z,t) \quad (2.2)$$

заведомо будут решением уравнения возмущенного движения.

Модельные уравнения (2.1), (1.2)-(1.5) задают некоторый линейный оператор

$$\mathcal{L}_t : Y|_{[-\tau,0]} \rightarrow Y|_{[t-\tau,t]} \quad (2.3)$$

(строго говоря, задание «предыстории» на отрезке  $[-\tau,0]$  требуется лишь для функций  $v(t) = \int \alpha(t) dt, \alpha(t), \dot{\alpha}(t)$ , для остальных функций требуется задание начальных условий). Далее, поскольку правые части линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (2.1), (1.2) являются достаточно гладкими функциями времени, а уравнение (1.3) учитывает малое, но ненулевое вязкое трение в материале конструкции согласно модели Фойгта, относительно негладким «предысториям»  $Y|_{[-\tau,0]}$  при  $t > \tau$  будут соответствовать более гладкие решения  $Y|_{[t-\tau,t]}$  (рассматриваемые как функции пространственной переменной и времени). Следовательно, оператор  $\mathcal{L}_t$  при  $t > \tau$  будет вполне непрерывен в смысле [6].

Так как коэффициент линейного уравнения (2.1) при слагаемом с запаздывающим аргументом является  $2\pi/\omega$ -периодической функцией времени, при выполнении условия (1.7)

$$\mathcal{L}_{t+T} = \mathcal{L}_t \mathcal{L}_T = \mathcal{L}_T \mathcal{L}_t, \quad T = 2\pi/\omega \quad (2.4)$$

и соответственно

$$\mathcal{L}_{t+nT} = \mathcal{L}_t \mathcal{L}_T^n = \mathcal{L}_T^n \mathcal{L}_t, \quad T = 2\pi/\omega, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.5)$$

Следует отметить, что условие (1.8) не является достаточно жестким ограничением; так, если оно не выполняется, следует выбрать период  $T > \tau$ , кратный периоду автоколебаний, и соответственно уменьшить частоту  $\omega$ .

Из (2.5) непосредственно следует, что, в соответствии с теорией Флоке, возможные частные решения уравнений (2.1), (1.2)-(1.5) будут представлять собой произведение показательной функции времени  $t$  на  $2\pi/\omega$ -периодические функции времени

$$\begin{aligned} \alpha(t) &= e^{\lambda t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \alpha_n e^{i\omega n t}, \quad \alpha_1(t) = e^{\lambda t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \alpha_n^{(1)} e^{i\omega n t}, \quad y_C(t) = e^{\lambda t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n^{(C)} e^{i\omega n t} \\ y_1(t) &= e^{\lambda t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n^{(1)} e^{i\omega n t}, \quad y(z, t) = e^{\lambda t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n(z) e^{i\omega n t} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Далее, легко убедиться, что совокупность значений функций (2.6) при  $t \in [-\tau, 0]$  представляет собой «собственный элемент» линейного оператора  $\mathcal{L}_T$ ,  $T = 2\pi/\omega$ , а величина  $e^{\lambda T} = e^{2\pi\lambda/\omega}$  является соответствующим ему собственным значением. Поскольку оператор  $\mathcal{L}_T$  вполне непрерывен, его спектр ограничен, состоит из не более чем счетного множества собственных значений и имеет единственную возможную точку сгущения  $e^{\lambda T} = 0$  [6, с. 189], чему соответствует  $\text{Re } \lambda \rightarrow -\infty$ . Таким образом, имеется лишь конечное число решений, которым соответствуют показатели  $\lambda$ , лежащие в правой комплексной полуплоскости  $\text{Re } \lambda > 0$ , и обеспечивающие неустойчивость предельных циклов. Из (2.2) следует наличие среди (2.6) по крайней мере одного чисто периодического решения, которому соответствует показатель  $\lambda = 0$ . Следует отметить, что добавление к показателю  $\lambda$  величины  $i\omega$  приводит к сдвигу на 1 индекса Фурье-коэффициентов в (2.6), т.е. фактически подобные показатели неразличимы.

Далее полагаем

$$f^{(0)}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f_n^{(0)} e^{i\omega n t}. \quad (2.7)$$

Выражения (2.2) позволяют удовлетворить уравнениям движения (1.2)-(1.5) (в силу их линейности), при этом уравнения относительно  $\alpha_n$ ,  $\alpha_n^{(1)}$ ,  $y_n^{(c)}$ ,  $y_n^{(1)}$ ,  $y_n(z)$  аналогичны уравнениям (2.2)-(2.5) из [2] при замене  $\lambda \rightarrow \lambda + i\omega n$  и приводятся к следующему результату

$$\begin{aligned} \varphi_{v1}(\lambda + i\omega n) \alpha_n + \varphi_{v2}(\lambda + i\omega n) \alpha_n^{(1)} + \varphi_{v3}(\lambda + i\omega n) y_n^{(1)} + (\lambda + i\omega n)^2 \varphi_{v4}(\lambda + i\omega n) y_n^{(c)} = 0 \\ n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad v = 2, 3, 4 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Подстановка (2.6), (2.7) в (2.1) и перемножение рядов Фурье приводит к следующим линейным уравнениям (вообще говоря, бесконечным)

$$\begin{aligned} \varphi_{11}(\lambda + i\omega n) \alpha_n + \varphi_{12}(\lambda + i\omega n) \alpha_n^{(1)} + \varphi_{13}(\lambda + i\omega n) y_n^{(1)} + (\lambda + i\omega n)^2 \varphi_{14}(\lambda + i\omega n) y_n^{(c)} = \\ = -(\lambda + i\omega n) e^{-\tau(\lambda + i\omega n)} \sum_{j \neq n} f_{n-j}^{(0)} [b_1(\lambda + i\omega j) + b_2 + b_3/(\lambda + i\omega j)] \alpha_j, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned} \quad (2.9)$$

Здесь

$$\varphi_{11}(\lambda) = (J_c + a\mu_{21} - \mu_{11})\lambda^3 + f_0^{(0)}(b_1\lambda^2 + b_2\lambda + b_3)e^{-\tau\lambda},$$

а остальные величины полностью аналогичны [2]

$$\varphi_{14}(\lambda) = \lambda(a\mu_{24} - \mu_{14}), \quad \varphi_{12}(\lambda) = (1 + \gamma\lambda)\lambda(a\mu_{22} - \mu_{12}), \quad \varphi_{13}(\lambda) = (1 + \gamma\lambda)\lambda(a\mu_{23} - \mu_{13}),$$

$$\varphi_{21}(\lambda) = -\mu_{21}\lambda^2, \quad \varphi_{22}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{22}, \quad \varphi_{23}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{23}, \quad \varphi_{24}(\lambda) = m_c\lambda^2 - \mu_{24},$$

$$\varphi_{31}(\lambda) = (J_1 - \mu_{31})\lambda^2, \quad \varphi_{32}(\lambda) = J_1\lambda^2 - (1 + \gamma\lambda)\mu_{32}, \quad \varphi_{33}(\lambda) = -(1 + \gamma\lambda)\mu_{33}, \quad \varphi_{34}(\lambda) = -\mu_{34},$$



$$\begin{aligned}
 \varphi_{41} &= -[m_1(1+a) + \mu_{41}]\lambda^2, \quad \varphi_{42}(\lambda) = -(1+\gamma\lambda)\mu_{42}, \quad \varphi_{43}(\lambda) = m_1\lambda^2 - (1+\gamma\lambda)\mu_{43}, \quad \varphi_{44} = m_1\lambda^2 - \mu_{44}, \\
 \mu_{vj} &= \mu_{vj}[k(\lambda)], \quad v, j = 1, 2, 3, 4, \quad k(\lambda) = e^{i\pi/4}\sqrt{\lambda}(1+\gamma\lambda)^{-1/4}, \\
 \mu_{v1}(k) &= a\mu_{v1}^{(1)}(k) + \mu_{v1}^{(2)}(k), \quad v = 1, 2, 3, 4, \\
 \mu_{11}^{(1)}(k) &= k^{-2}(\operatorname{ch} k - \cos k - \operatorname{sh} k \sin k) / \sigma(k), \quad \mu_{11}^{(2)}(k) = k^{-3}[k(\operatorname{ch} k - \cos k) - \sin k(\operatorname{ch} k - 1) + \\
 &+ \operatorname{sh} k(\cos k - 1)] / \sigma(k), \quad \mu_{12}(k) = k(\operatorname{sh} k - \sin k) / \sigma(k), \quad \mu_{13}(k) = k^2(\operatorname{ch} k - \cos k) / \sigma(k), \\
 \mu_{14}(k) &= -\mu_{11}^{(1)}(k), \quad \mu_{21}^{(1)}(k) = k^{-1}[\sin k(\operatorname{ch} k - 1) + \operatorname{sh} k(\cos k - 1)] / \sigma(k), \\
 \mu_{21}^{(2)}(k) &= k^{-2}[\operatorname{ch} k - \cos k - k(\operatorname{sh} k + \sin k) + \operatorname{sh} k \sin k] / \sigma(k), \quad \mu_{22}(k) = -\mu_{13}(k), \\
 \mu_{23}(k) &= -k^3(\operatorname{sh} k + \sin k) / \sigma(k), \quad \mu_{24}(k) = -\mu_{21}^{(1)}(k), \\
 \mu_{31}^{(1)}(k) &= -\mu_{11}^{(1)}(k), \quad \mu_{31}^{(2)}(k) = k^{-3}[(1 - \operatorname{ch} k) \sin k + (\cos k + k \sin k - 1) \operatorname{sh} k] / \sigma(k), \\
 \mu_{32}(k) &= k(\operatorname{ch} k \sin k - \operatorname{sh} k \cos k) / \sigma(k), \quad \mu_{33}(k) = k^2 \operatorname{sh} k \sin k / \sigma(k), \quad \mu_{34}(k) = \mu_{11}^{(1)}(k), \\
 \mu_{41}^{(2)} &= k^{-2}(\cos k - \operatorname{ch} k + k \operatorname{ch} k \sin k + (k \cos k - \sin k) \operatorname{sh} k) / \sigma(k), \\
 \mu_{41}^{(1)}(k) &= \mu_{21}^{(1)}(k), \quad \mu_{42}(k) = \mu_{33}(k), \quad \mu_{43}(k) = k^3(\operatorname{ch} k \sin k + \operatorname{sh} k \cos k) / \sigma(k), \quad \mu_{44}(k) = -\mu_{21}^{(1)}(k), \\
 \sigma(k) &= \operatorname{ch} k \cos k - 1.
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

Функции  $\mu_{vj}(k)$ ,  $v, j = 1, 2, 3, 4$  аналитичны в окрестности точки  $k=0$  и при конечных  $\gamma > 0$  не имеют особенностей в правой половине и на мнимой оси комплексной плоскости ( $\lambda$ ). Легко проверить

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{-\beta_{vj}} \mu_{vj}[k(\lambda)] = b_{vj} = \text{const}, \quad \operatorname{Re} \lambda \geq 0, \quad v, j = 1, 2, 3, 4, \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned}
 b_{11} &= a\gamma^{1/2}, \quad \beta_{11} = -1/2, \quad b_{12} = b_{13} = 0, \quad \beta_{12} = \beta_{13} = 0, \quad b_{14} = -\gamma^{-1/2}, \quad \beta_{14} = 1/2, \quad b_{21} = (1+i)a\gamma^{1/4} / \sqrt{2}, \\
 \beta_{21} &= -1/4, \quad b_{22} = b_{23} = 0, \quad \beta_{22} = \beta_{23} = 0, \quad b_{24} = \sqrt{2}\gamma^{-3/4}, \quad \beta_{24} = 3/4, \quad b_{31} = -i\sqrt{2}\gamma^{3/4}, \quad \beta_{31} = -3/4, \\
 b_{32} &= -\sqrt{2}\gamma^{-1/4}, \quad \beta_{32} = 1/4, \quad b_{33} = b_{34} = \gamma^{-1/2}, \quad \beta_{33} = \beta_{34} = 1/2, \quad b_{41} = (a+1)\sqrt{2}\gamma^{1/4}, \quad \beta_{41} = -1/4, \\
 b_{42} &= \gamma^{-1/2}, \quad \beta_{42} = 1/2, \quad b_{43} = b_{44} = \sqrt{2}\gamma^{-3/4}, \quad \beta_{43} = \beta_{44} = 3/4, \\
 \mu_{vj}[k(\bar{\lambda})] &= \overline{\mu_{vj}[k(\lambda)]}. \tag{2.12}
 \end{aligned}$$

### 3. Аналог метода Хилла

Вводя обозначение  $v_v = \alpha_v / (\lambda + i\omega v)$ , удобно представить бесконечную однородную систему линейных уравнений (2.8), (2.9) в форме

$$v_v + \Phi(\lambda + i\omega v) e^{-\tau(\lambda + i\omega v)} \sum_{j \neq v} f_{v-j}^{(0)} [\beta_1(\lambda + i\omega j)^2 + \beta_2(\lambda + i\omega j) + \beta_3] v_j = 0, \quad v = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \tag{3.1}$$

Здесь

$$\Phi(\lambda) = Q(\lambda) / D(\lambda), \quad D(\lambda) = \det\{\varphi_{vj}(\lambda)\}, \quad v, j = 1, 2, 3, 4; \quad Q(\lambda) = \det\{\varphi_{vj}(\lambda)\}, \quad v, j = 2, 3, 4 \tag{3.2}$$

$\Phi(\lambda)$ ,  $D(\lambda)$ ,  $Q(\lambda)$  – соответственно, аналоги передаточной функции, характеристического и возмущающего квазимногочленов ДКС [2], [4]. В соответствии с (2.10)-(2.12), функции  $D(\lambda)$  и  $Q(\lambda)$  аналитичны при  $\text{Re } \lambda \geq 0$ , и

$$\begin{aligned} D(\bar{\lambda}) &= \overline{D(\lambda)}, \quad Q(\bar{\lambda}) = \overline{Q(\lambda)}, \\ \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{-7} D(\lambda) &= \text{Const}, \quad \text{Re } \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

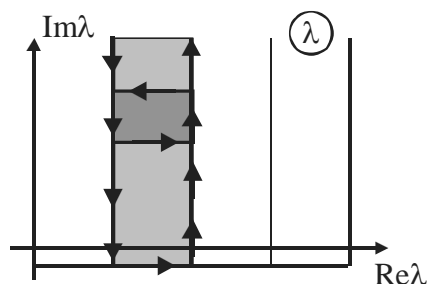


Рис. 2

Рассуждения, аналогичные п. 2, позволяют установить, что характеристический квазимногочлен  $D(\lambda)$  имеет не более чем конечное число нулей при  $\text{Re } \lambda > 0$ . Заметим, что аналитичность функций  $D(\lambda)$  и  $Q(\lambda)$ , а также конечность числа нулей функции  $D(\lambda)$  в правой полуплоскости позволяют достаточно быстро на основании принципа аргумента провести проверку наличия у них совпадающих нулей в правой комплексной полуплоскости. Для этого достаточно сначала проверить наличие нулей  $D(\lambda)$  и  $Q(\lambda)$  в некоторых вертикальных полубесконечных полосах, а затем, если таковые будут выявлены, проверить наличие нулей  $D(\lambda)$  и  $Q(\lambda)$  в прямоугольниках некоторой конечной

высоты в пределах полуплоскости (рис. 2).

Из приведенного в [4] доказательства теоремы об устойчивом квазимногочлене следует, что, в соответствии с (3.3), число нулей (с учетом их кратности) характеристического квазимногочлена  $D(\lambda)$  в правой полуплоскости  $\text{Re } \lambda > 0$  определяется величиной

$$P = \frac{1}{2\pi} \left( 7 - 2 \Delta_{0 \leq \sigma < \infty} \arg D(i\sigma) \right). \quad (3.4)$$

Будем далее предполагать, что квазимногочлены  $D(\lambda)$  и  $Q(\lambda)$  не имеют совпадающих нулей при  $\text{Re } \lambda > 0$ ; в таком случае величина (3.4) определяет суммарную кратность полюсов передаточной функции  $\Phi(\lambda)$  в правой полуплоскости.

Определитель бесконечной системы линейных уравнений (3.1), являющийся аналогом определителя Хилла, вычисляется следующим образом:

$$\mathcal{D}(\lambda) = \lim_{n \rightarrow \infty} \mathcal{D}_n(\lambda), \quad \mathcal{D}_n(\lambda) = \det \{ \mathcal{D}_{vj}(\lambda) \}, \quad -n \leq v \leq n, \quad -n \leq j \leq n, \quad (3.5)$$

$$\mathcal{D}_{vv}(\lambda) = 1, \quad \mathcal{D}_{vj}(\lambda) = f_{v-j}^{(0)} e^{-\tau(\lambda + i\omega v)} \Phi(\lambda + i\omega v) \left[ b_1(\lambda + i\omega j)^2 + b_2(\lambda + i\omega j) + b_3 \right], \quad v \neq j. \quad (3.6)$$

Используя неравенство Адамара [7, с. 35], можно показать, что в некоторой конечной области правой комплексной полуплоскости, последовательность (3.5) сходится равномерно, и, следовательно, функция  $\mathcal{D}(\lambda)$  обладает свойствами, типичными для определителя Хилла:

$$\mathcal{D}(\bar{\lambda}) = \overline{\mathcal{D}(\lambda)}, \quad (3.7)$$

$$\mathcal{D}(\lambda + i\omega) = \mathcal{D}(\lambda), \quad (3.8)$$

$$\mathcal{D}(\lambda) \rightarrow 1 \text{ при } \text{Re } \lambda \rightarrow \infty. \quad (3.9)$$

Сверх того, из равномерной сходимости последовательности (3.5) и свойства периодичности (3.8) следует, что функция  $\mathcal{D}(\lambda)$  будет аналитична при  $\text{Re } \lambda \geq 0$ , за исключением счетного числа полюсов, получающихся сдвигом полюсов передаточной функции  $\Phi(\lambda)$  (т.е. нулей характеристического квазимногочлена  $D(\lambda)$ ) на величину  $i n \omega$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

С вычислительной точки зрения, последовательность (3.5) может сходиться достаточно медленно, однако сходимость соответствующего ей ряда

$$\mathcal{D}(\lambda) = 1 + (\mathcal{D}_1(\lambda) - 1) + (\mathcal{D}_2(\lambda) - \mathcal{D}_1(\lambda)) + (\mathcal{D}_3(\lambda) - \mathcal{D}_2(\lambda)) + \dots$$

значительно улучшается преобразованием в непрерывную дробь [8].

Можно показать, что, если в правой части бесконечной однородной системы уравнений (3.1) заменить нули некоторой последовательностью, для которой сходится сумма квадратов модулей элементов, то решение можно найти по формулам, аналогичным формулам Крамера, и оно также будет представлять последовательность, для которой будет сходиться сумма квадратов модулей элементов. Следовательно, для того, чтобы бесконечная однородная система линейных уравнений (3.1) допускала нетривиальное решение относительно Фурье-коэффициентов  $v_v, v = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , необходимо потребовать выполнения условия, аналогичного уравнению Хилла

$$\mathcal{D}(\lambda) = 0. \tag{3.10}$$

Аналогично теореме Андронова-Витта можно полагать, что предельный цикл будет орбитально асимптотически устойчив [1, с. 309], если, с точностью до несущественного сдвига на кратную  $i\omega$  величину, все возможные показатели  $\lambda$  будут иметь отрицательные мнимые части, кроме одного показателя  $\lambda=0$  кратности 1.

Применительно к обыкновенным дифференциальным уравнениям, когда отсутствует запаздывание аргумента, а передаточная функция  $\Phi(\lambda)$  представляет собой рациональную дробь, расположение и кратность полюсов которой известны, имеется возможность выделения особенностей определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$  и его дальнейшего упрощения на основе теоремы Лиувилля. Однако в случае ДКС сложность поведения передаточной функции  $\Phi(\lambda)$  в левой комплексной полуплоскости исключает подобную возможность.

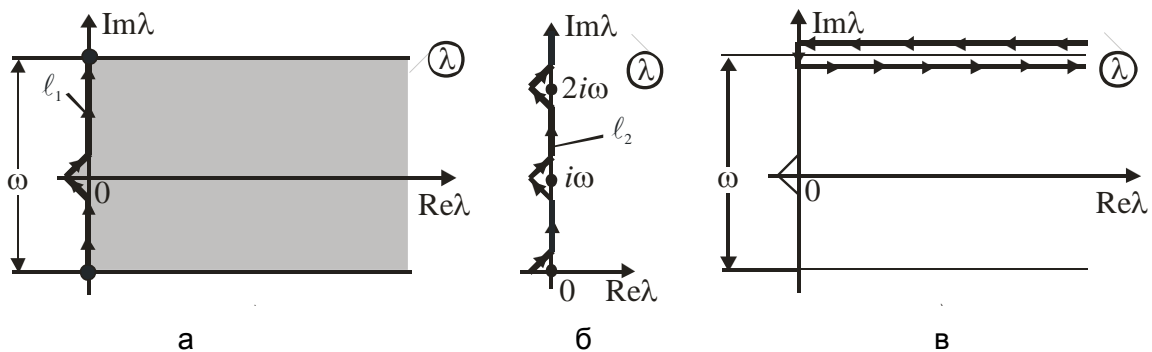


Рис. 3

Из свойства периодичности (3.8) следует, что, при исследовании устойчивости предельного цикла достаточно исследовать наличие либо отсутствие корней определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$  в некоторой полубесконечной полосе (рис. 3, а) в правой комплексной полуплоскости, параллельной действительной оси и имеющей ширину  $\omega$ , причем там может быть лишь конечное число корней. Далее, из свойства периодичности следует, что в рассматриваемую полуполосу попадет лишь столько различных полюсов определителя Хилла, сколько имеется в правой полуплоскости различных полюсов передаточной функции  $\Phi(\lambda)$ , если только полюса не отличаются друг от друга на величину, кратную  $i\omega$ . С другой стороны, из (3.6) непосредственно следует, что, если  $\lambda=\lambda_0$  и  $\lambda=\lambda_1$  являются различными полюсами передаточной функции  $\Phi(\lambda)$ , отличающимися на величину, кратную  $i\omega$ , то  $\lambda=\lambda_0$  будет полюсом определителя Хилла, причем его кратность будет равна суммарной кратности двух указанных полюсов передаточной функции. Следовательно, суммарная кратность полюсов определителя Хилла в рассматриваемой полубесконечной полосе априорно известна, совпадает с суммар-

ной кратностью полюсов передаточной функции  $\Phi(\lambda)$  в правой полуплоскости и определяется величиной (3.4). Однако в подобном случае число нулей в рассматриваемой полуполосе легко устанавливается на основе принципа аргумента.

Значение  $\lambda=0$  априорно является корнем определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$ , причем устойчивому периодическому предельному циклу соответствует корень  $\lambda=0$  кратности 1. Следовательно, с учетом (3.8), (3.9), суммарная кратность полюсов  $P$  и «опасных» нулей  $N$  определителя Хилла в полубесконечной полосе (пути обхода контуров  $\ell_1$  и  $\ell_2$  показаны на рис. 3, а и б соответственно) оценивается выражениями

$$P = \frac{1}{2\pi} \left( 7\pi - 2 \Delta_{\lambda \in \ell_2} \arg D(\lambda) \right), \quad (3.11)$$

$$N = \frac{1}{2\pi} \left( 2\pi P - \Delta_{\lambda \in \ell_1} \arg \mathcal{D}(\lambda) \right) - 1. \quad (3.12)$$

Полуполоса на рис. 3, а должна выбираться так, чтобы ее верхняя и, следовательно, нижняя полубесконечные границы не проходили через полюса определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$ , т.е. через нули функций  $D(\lambda + in\omega)$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ . Такой выбор расположения верхней границы заведомо возможен, т.к. в правой комплексной полуплоскости в любой параллельной действительной оси полубесконечной полосе ширины  $\omega$  функция  $\mathcal{D}(\lambda)$  имеет не более чем конечное число полюсов, и может быть достигнут, например, перемещением верхней границы по вертикали (с некоторым шагом) от точки  $i\omega/2$  до точки  $i\omega$ . В свою очередь, проверка отсутствия нулей функций  $D(\lambda + in\omega)$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  в узкой окрестности верхней границы проверяется посредством анализа изменения аргумента указанных функций при обходе контура, показанного на рис. 3, в.

В случае, когда входящая в (2.1) функция  $f^{(0)}(t)$  мало отличается от константы, т.е. коэффициенты соответствующих модельных уравнений практически не зависят от времени, для коэффициентов Фурье-разложения (2.7) выполняется условие  $|f_v^{(0)}| \ll |f_0^{(0)}|$ ,  $v = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ . В тех областях правой комплексной полуплоскости, где отсутствуют полюса передаточных функций  $\Phi(\lambda + in\omega)$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , внедиагональные элементы определителя Хилла (3.5) будут пренебрежимо малы. Следовательно, некоторые из возможных нулей определителя Хилла будут содержаться в достаточно малых окрестностях полюсов передаточных функций  $\Phi(\lambda + in\omega)$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , т.е. в малых окрестностях корней (нулей) характеристического квазимногочлена  $D(\lambda)$ , сдвинутых на величину, кратную  $i\omega$ .

Таблица 1

Re $\lambda$	Im $\lambda$
-0,3030	0
-0,0314	1,281
-0,2979	4,600
0,2734	5,989

В качестве примера рассмотрим спутник с безразмерными параметрами  $a=0,05$ ,  $m_c=3$ ,  $J_c=0,5$ ,  $m_1=1$ ,  $J_1=0,3$ ,  $\gamma=0,08$ ,  $\tau=0,11$ ,  $b_1=0,5$ ,  $b_2=16,5$ ,  $b_3=5$ . В данном случае параметры обратных связей не принадлежат области устойчивости, а приведенные в табл. 1 собственные частоты колебаний позволяют сделать вывод о дестабилизации 3-й формы колебаний деформируемой конструкции. Система допускает три предельных цикла с частотами автоколебаний  $\omega=1,25, 4,39, 5,81$ , показанные на рис. 4, а штриховой линией, пунктиром и сплошной линией соответственно. Фазовые траектории (показаны на рис. 4, б пунктиром) на плоскости  $(\alpha, \dot{\alpha})$ , соответствующие процессу развития малых начальных возмущений, достаточно быстро подходят к предельному циклу с частотой  $\omega=5,81$  (показан сплошной линией). Приращение аргумента характеристического определителя  $D(\lambda)$  при обходе контура  $\ell_2$ , показанного на рис. 3, б, составляет  $7\pi/2$ , а его годограф в специальном масштабе  $u + iv = D(\lambda) \ln(1 + |D(\lambda)|) / |D(\lambda)|$  приведен на рис. 4, в. Следовательно, согласно (3.11), в

правой полуплоскости корни характеристического определителя  $D(\lambda)$  отсутствуют. Далее, приращение аргумента определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$  при обходе контура  $\ell_1$ , показанного на рис. 3, а, равно  $2\pi$ , а его годограф показан на рис. 4, г. Согласно (3.12), определитель Хилла не имеет «опасных» корней в полосе, показанной на рис. 3, а, и предельный цикл с частотой  $\omega=5,81$  устойчив по отношению к малым возмущениям. Ближайшим к мнимой оси корнем определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$ , кроме  $\lambda = 0$ , оказывается  $\lambda = -0,0368 \pm 1,41i$ .

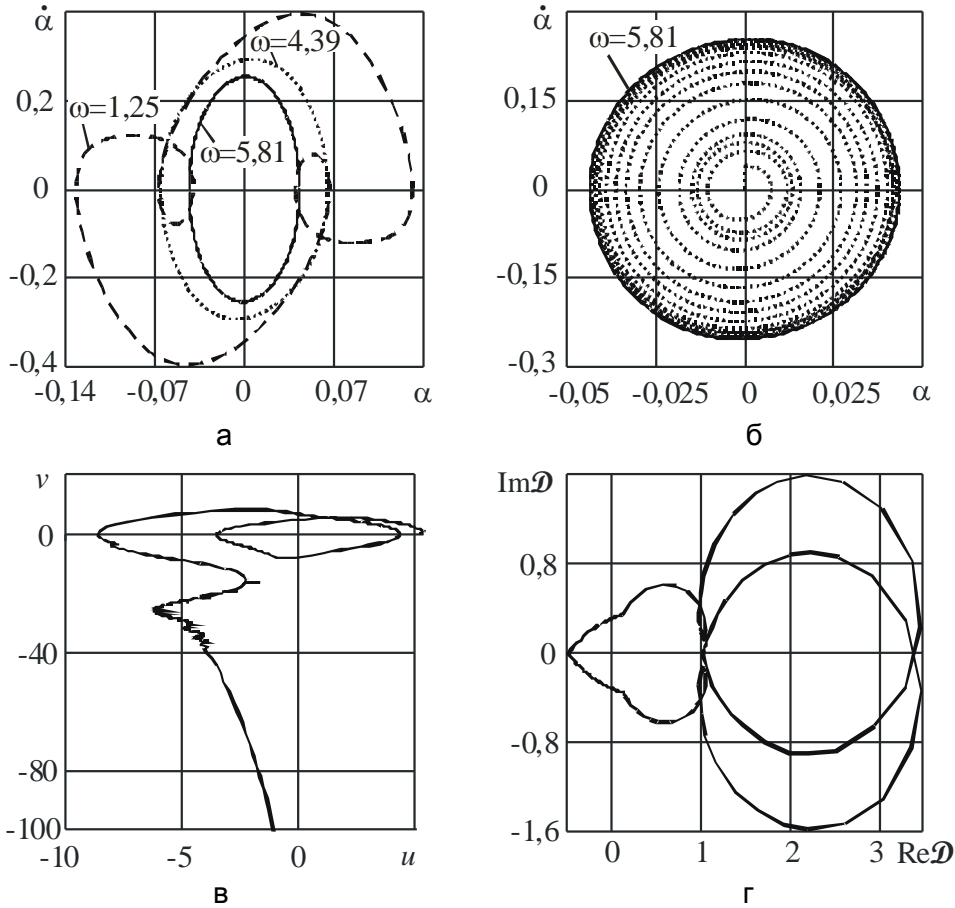


Рис. 4

Два других предельных цикла с частотами автоколебаний  $\omega=1,25$  и  $\omega=4,39$  оказываются неустойчивыми. Согласно (3.12), для предельного цикла с частотой  $\omega=1,25$  в показанной на рис. 3, а полубесконечной полосе определитель Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$  кроме корня  $\lambda=0$  имеет еще 3 корня ( $\lambda = 0,0561$  и  $\lambda = 0,1463 \pm 0,6002i$ ). Для предельного цикла с частотой  $\omega=4,39$  определитель Хилла согласно (3.12) имеет 1 «опасный» корень ( $\lambda=0,4024$ ).

В качестве другого примера приведем рассмотренный ранее в [2,5] спутник с параметрами  $a=0,05$ ,  $m_c=34,75$ ,  $J_c=0,07442$ ,  $m_1=3$ ,  $J_1=0,007$ ,  $\gamma=0,01$ ,  $\tau=0,01$ ,  $b_1=0,7$ ,  $b_2=200$ ,  $b_3=150$ . В данном случае параметры обратных связей не принадлежат области устойчивости, а приведенные в табл. 2 собственные частоты колебаний позволяют сделать вывод о дестабилизации 4-й формы колебаний деформируемой конструкции. Возникает предположение о том, что развитие малых возмущений может привести к возникновению автоколебаний.

Таблица 2

Re $\lambda$	Im $\lambda$
-0,9948	0
-0,00076	1,003
-0,8905	13,69
-5,550	34,05
6,861	50,55

Формально, система допускает три предельных цикла с частотами автоколебаний  $\omega=6,787, 11,46, 20,12$ , показанные на рис. 5, а штриховой линией, пунктиром и сплошной линией соответственно. В начальные моменты времени  $0 \leq t \leq 4,5$  фазовые траектории (показаны на рис. 5, б пунктиром) на плоскости  $(\alpha, \dot{\alpha})$ , соответствующие процессу развития малых начальных возмущений, достаточно быстро подходят к предельному циклу с частотой  $\omega=20,12$  (показан сплошной линией). Далее, как показано на рис. 5, в, в моменты времени  $4,5 \leq t \leq 180$  (чему соответствует примерно 560 предполагаемых периодов автоколебаний), фазовые траектории заполняют некоторую относительно узкую окрестность предельного цикла, и становится неясно, является ли предельный цикл устойчивым. Приращение аргумента характеристического определителя  $D(\lambda)$  при обходе контура  $\ell_2$ , показанного на рис. 3, б, составляет  $-\pi/2$ , а его годограф приведен на рис. 5, г.

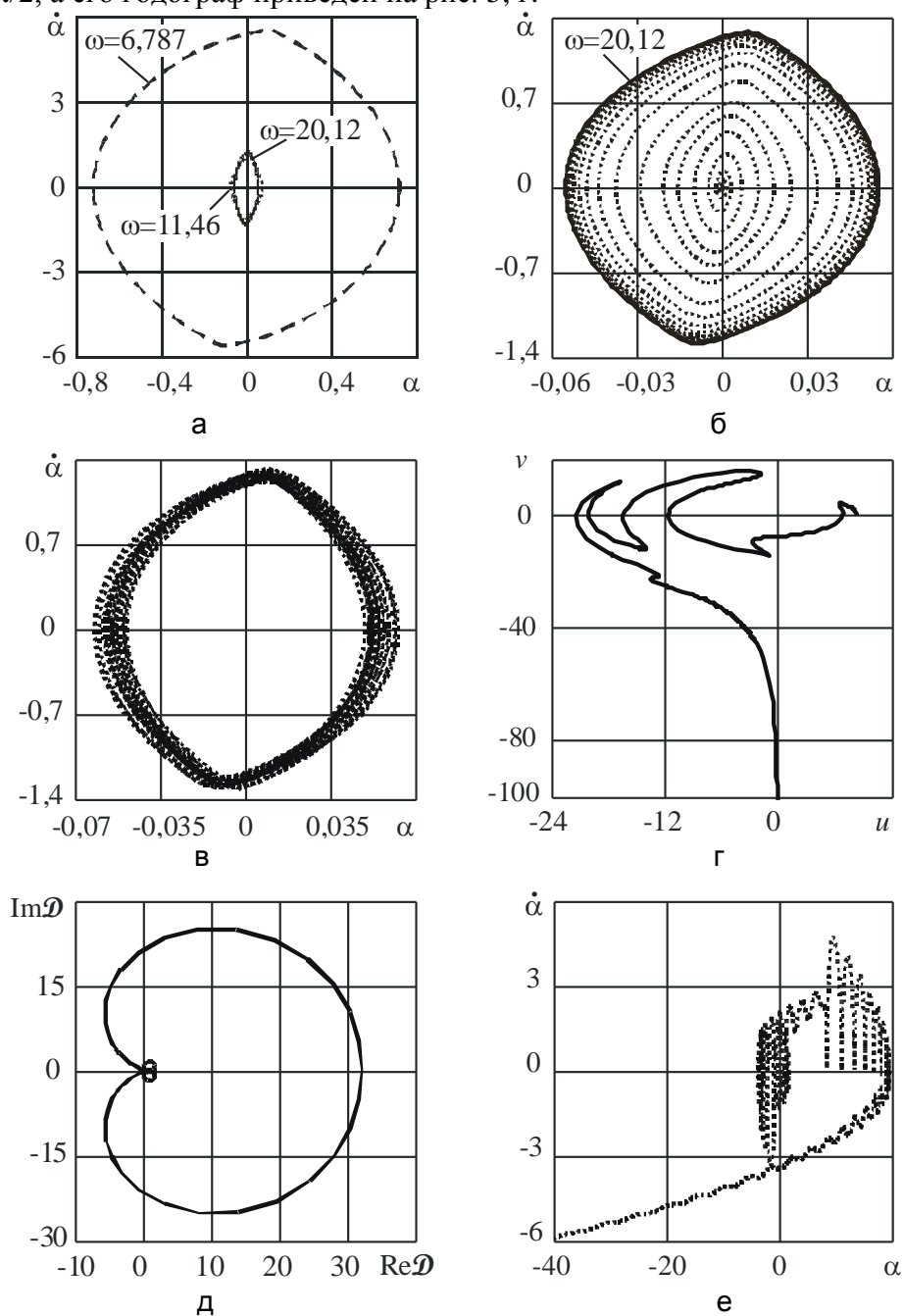


Рис. 5

Следовательно, согласно (3.11),  $D(\lambda)$  имеет две пары комплексно сопряженных корней в правой полуплоскости ( $\lambda = 0,05583 \pm 0,9162i$  и  $\lambda = 0,1251 \pm 10,19i$  соответственно). Далее, приращение аргумента определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$  при обходе контура  $\ell_1$ , показанного на рис. 3, а, равно нулю, а его годограф показан на рис. 5, д. Согласно (3.12), определитель Хилла имеет в полосе, показанной на рис. 3, а, две пары комплексно сопряженных корней ( $\lambda = 0,04654 \pm 0,9373i$  и  $\lambda = 0,03037 \pm 9,136i$  соответственно), которые и обеспечивают постепенное отталкивание фазовых траекторий от неустойчивого предельного цикла. Далее, с возрастанием времени  $t$ , фазовые траектории постепенно уходят на бесконечность (рис. 5, е). Следует отметить, что корни определителя Хилла  $\mathcal{D}(\lambda)$  в рассматриваемом случае оказались достаточно близкими к корням характеристического квазимногочлена  $D(\lambda)$ , что в принципе позволило бы установить слабую неустойчивость возможного автоколебательного режима при помощи анализа частотного годографа характеристического квазимногочлена  $D(\lambda)$ .

Два других предельных цикла с частотами автоколебаний  $\omega=6,787$  и  $\omega=11,46$  также оказываются неустойчивыми.

### Заключение

Следует отметить, что, после несущественных изменений, предложенный метод будет применим и к исследованию устойчивости вынужденных периодических колебаний ДКС с нелинейными дискретными элементами. Как показано в настоящей работе, информация о расположении областей устойчивости управляемых деформируемых конструкций в пространстве параметров обратных связей имеет существенное значение, так как малоамплитудные высокочастотные автоколебания, вызванные неудачным выбором параметров проектируемой конструкции, могут, вообще говоря, оказаться неустойчивыми, что приведет к дальнейшему (теоретически – неограниченному) нарастанию начальных возмущений. В связи с этим далее представляет интерес применение моделей упругих элементов конструкций, более точно описывающих их поведение в высокочастотной области (например, с использованием моделей тонкостенных конструкций типа Тимошенко), а также уточнение математических моделей запаздывающих звеньев в системе управления. Также представляет интерес развитие строгих методов исследования устойчивости периодических режимов и для ДКС с нелинейными непрерывными элементами. Однако решение данных задач выходит за рамки настоящей работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ (грант № МД-2328.2005-1).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости / Б.П. Демидович. М.: Изд-во МГУ, 1998. 480 с.
2. Моделирование влияния запаздывающего аргумента в нелинейной газореактивной системе стабилизации спутника с упругим стержнем и закрепленным на его конце телом / К.П. Андрейченко, Д.К. Андрейченко, В.С. Шорин, С.Г. Наумов / Вестник СГТУ. 2005. № 3. С. 17-27.
3. Уиттекер Э.Т. Курс современного анализа. Ч.2. Трансцендентные функции / Э.Т. Уиттекер, Дж.Н. Ватсон. М.: Физматгиз, 1963. 516 с.
4. Андрейченко Д.К. К теории комбинированных динамических систем / Д.К. Андрейченко, К.П. Андрейченко // Известия РАН. Теория и системы управления. 2000. № 3. С. 54-69.

5. Андрейченко Д.К. К теории стабилизации спутников с упругими стержнями / Д.К. Андрейченко, К.П. Андрейченко // Известия РАН. Теория и системы управления. 2004. № 6. С. 149-162.

6. Люстерник Л.А. Краткий курс функционального анализа / Л.А. Люстерник, В.И. Соболев. М.: Высшая школа, 1982. 271 с.

7. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. М.: Наука, 1978. 832 с.

8. Андрейченко Д.К. Эффективный алгоритм численного обращения интегрального преобразования Лапласа / Д.К. Андрейченко // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2000. Т. 40. № 7. С. 1030-1044.

**Андрейченко Дмитрий Константинович –**

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры «Механика деформируемого твердого тела»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 539.3

**А.В. Крысько, О.А. Овсянникова**

### **ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ДВУХСЛОЙНОЙ УПРУГОЙ ЗАЩЕМЛЕННОЙ ПО КОНТУРУ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ НЕСПАЯННОЙ ПЛАСТИНКИ**

*В работе изучается контактное взаимодействие при колебаниях двухслойных неспаянных пластинок, каждый слой которой подчиняется гипотезе Кирхгофа. Построена математическая модель, создан алгоритм расчета динамики контактных задач двухслойных неспаянных пластин. Исследуется влияние зазора на колебания двухслойных неспаянных пластин при действии поперечной нагрузки на верхнюю пластинку. Приводятся примеры численного решения указанных выше задач.*

**A.V. Krysko, O.A. Ovsiannikova**

### **CHAOTIC VIBRATIONS OF TWO-LAYERED FLEXIBLE RESTRAINED RECTANGULAR UNCOUPLED PLATES**

*Vibrations of two-layered uncoupled plates (Kirchhoff hypothesis) with contact interaction are studied here. Math model designed and numerical algorithm implemented. Dependence between vibration and standoff between plates under external orthogonal force is studied in this article. Numerical solutions are included.*

Математическая модель двухслойной конструкции, состоящей из тонких упругих пластинок на прямоугольном плане [1]

$$\begin{aligned} D_1 \Delta^2 w_1(x, y, t) + k \frac{E}{h} w_1(x, y, t) \Psi(x, y, t) &= q_1^* + k \frac{E}{h} (w_2 + h_0) \Psi(x, y, t), \\ D_2 \Delta^2 w_2(x, y, t) + k \frac{E}{h} w_2(x, y, t) \Psi(x, y, t) &= q_2^* + k \frac{E}{h} (w_1 + h_0) \Psi(x, y, t). \end{aligned} \quad (1)$$



Здесь функция

$$\Psi = \frac{1}{2}[1 + \text{sign}(w_1 - w_2 - h_0)] \quad (2)$$

равна единице в зоне контакта и нулю вне ее. Из-за нелинейности множителя  $\Psi$  в уравнениях (1) они являются нелинейными, а задача в целом конструктивно нелинейна. Конструктивная нелинейность связана с возможностью включения и выключения односторонних связей.

Срединная поверхность для верхней пластинки расположена в плоскости  $z=0$ , а нижняя – в плоскости  $z = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) + h_0$ , где  $h_0$  – расстояние между пластинками,  $\delta_1, \delta_2$  – толщины соответственно верхней и нижней пластинок. Каждая из пластинок – это трехмерная область пространства  $R^3$  с декартовой системой координат: оси  $Ox$  и  $Oy$  направлены вдоль срединной плоскости верхней пластинки.

К системе (1) следует присоединить краевые условия на границе  $\partial\Omega_1$ :

$$w_i|_{\partial\Omega_i} = \frac{\partial w_i}{\partial n_i}|_{\partial\Omega_i} = 0, \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

и начальные условия

$$w_i|_{t=0} = f_1^{(i)}(x, y), \quad \frac{\partial w_i}{\partial t}|_{t=0} = f_2^{(i)}(x, y). \quad (4)$$

Согласно принципу Д'Аламбера в  $q_i^*$  учтены силы инерции на  $i$ -ю пластинку и демпфирование среды  $q_i^*(x, y, t) = q_i(x, y, t) - \frac{\gamma_i}{g} \frac{\partial^2 w_i}{\partial t^2} - \varepsilon_i \frac{\partial w_i}{\partial t}$ .

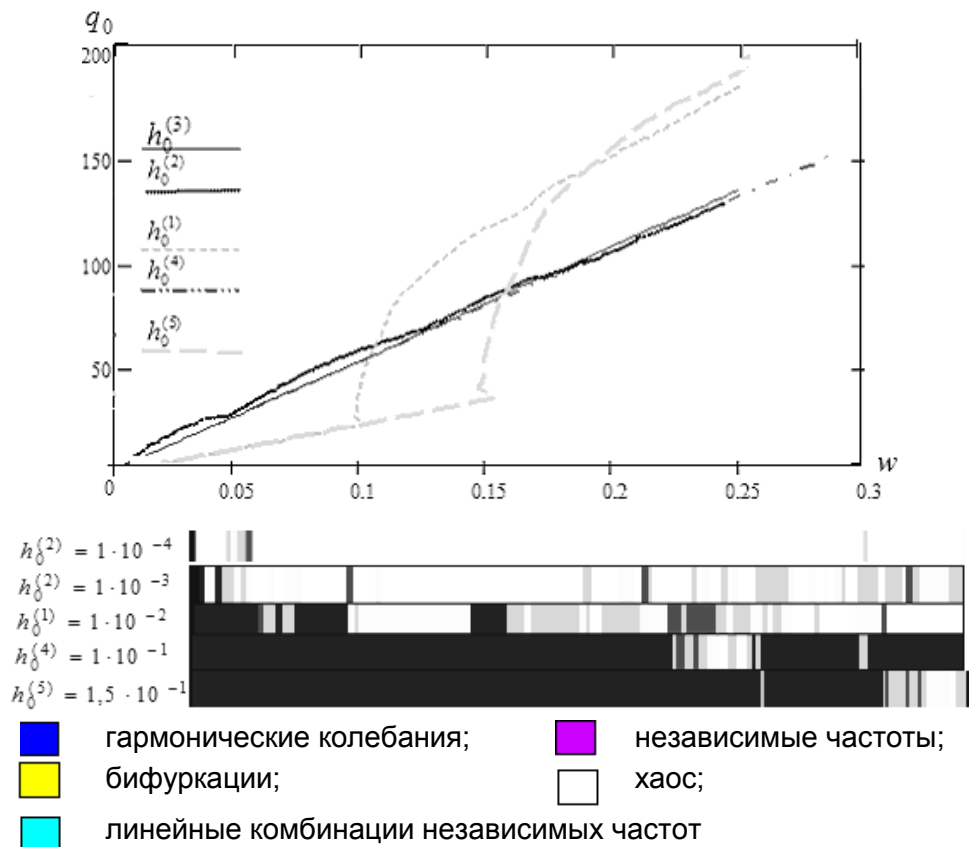
Уравнения в частных производных (1) сводятся к системе обыкновенных дифференциальных уравнений по времени методом конечных разностей с аппроксимацией  $O(h^2)$ , которая решается методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. По принципу Рунге было выявлено, что оптимальным шагом по пространственным координатам является разбиение области  $\Omega_i$  на  $15 \times 15$  отрезков, а шаг по времени –  $\Delta t = 1 \cdot 10^{-3}$ .

Изучены колебания квадратных в плане пластинок одинаковой толщины ( $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ ) при действии поперечной нагрузки на верхнюю пластинку  $q_1 = q_0 \sin(\omega_p t)$ , где  $q_0$  – амплитуда поперечной нагрузки,  $\omega_p$  – частота гармонического возбуждения. Краевые условия (3), коэффициент диссипации  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,4$ . Ниже приведена шкала характера колебаний двухслойной неспянной пластинки при различных зазорах  $\bar{h}_0 = \frac{h_0}{\delta} = \{1 \cdot 10^{-4}; 1 \cdot 10^{-3}; 1 \cdot 10^{-2}; 1 \cdot 10^{-1}; 1 \cdot 15^{-1}\}$  ( $\bar{h}_0$  – безразмерный параметр).

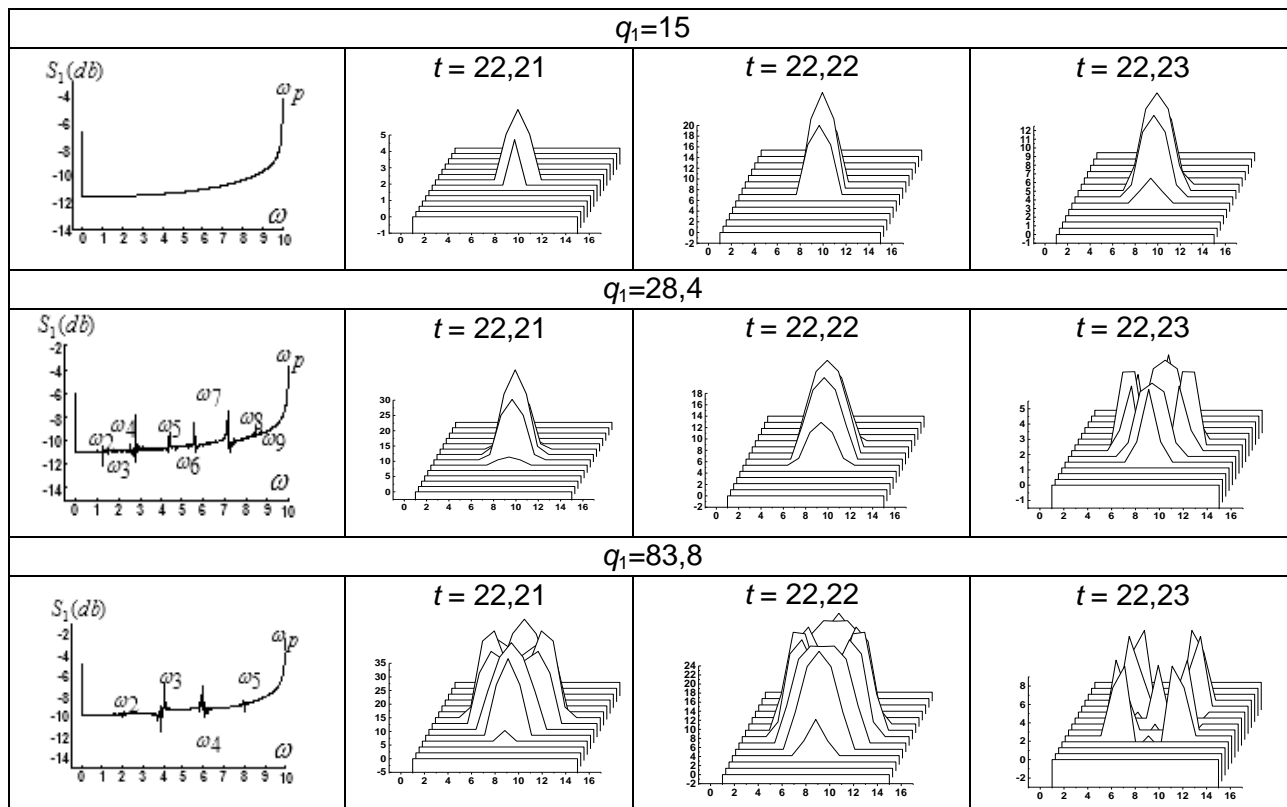
Шкала динамических режимов строилась на анализе спектра мощности и ляпуновских показателей для каждого набора управляющих параметров  $\{q_1, \omega_p\}$ , что позволяет изучить все многообразие поведения конструкции и выявить оптимальные параметры нагрузки для конкретных условий. Проанализирована эволюция колебаний при переходе от гармонических в хаотические.

При ограничении на прогиб  $w(0) \leq 0,25$  и  $q_1 \leq 100$  для зазоров  $h_0 = 1 \cdot 15^{-1}$  и  $h_0 = 1 \cdot 10^{-1}$  колебания совершаются на основной частоте возбуждения  $\omega_p$  и являются гармоническими. Фазовый портрет представляет предельное множество однооборотного цикла. При увеличении зазора появляются зоны хаоса и зоны бифуркаций. Чем меньше зазор между пластинами, тем более обширны зоны хаотических колебаний.

Для одной и той же системы могут наблюдаться различные сценарии перехода к хаосу, соответствующие различным областям пространства параметров и направлениям движения в нем. Более того, наблюдаемые бифуркационные последовательности могут быть сложным образом скомбинированы.



Проанализировано для указанной выше конструкции, как меняется величина контактного давления при зазоре между пластинками  $h_0 = 1 \cdot 10^{-2}$  и увеличении нагрузки на верхнюю пластинку, для одних и тех же моментов времени. Данные приведены в таблице.



Для  $q_1 \leq 15$  колебания являются гармоническими, контактное давление локализовано в центре, его форма практически не меняется во времени. С увеличением амплитуды внешнего воздействия ( $q_1=28,4$ ) колебания пластинок происходят уже на 3 независимых частотах ( $\omega_p=9,976$ ;  $\omega_2=1,28$ ;  $\omega_3=1,56$ ) и их линейных комбинациях ( $\omega_p-\omega_2=\omega_9$ ;  $\omega_p-\omega_3=\omega_8$ ;  $\omega_2+\omega_3=\omega_4$ ;  $\omega_2+2\omega_3=\omega_5$ ;  $2\omega_2+2\omega_3=\omega_6$ ;  $2\omega_2+3\omega_3=\omega_7$ ). Контактное давление существенно меняется во времени – от локализации в центре при  $t=22,21$  до локального распада по кругу при  $t=22,23$ . При увеличении поперечной нагрузки на верхнюю пластинку до  $q_1=83,8$  колебания пластинок происходят на 2 независимых частотах ( $\omega_p=9,976$ ;  $\omega_2=2,03$ ) и их линейных комбинациях ( $2\omega_2=\omega_3$ ;  $3\omega_2=\omega_4$ ;  $4\omega_2=\omega_5$ ), с хаотическими составляющими. При  $t=22,21$  можно увидеть небольшое углубление в поверхности контактного давления прогибов, которое на следующем шаге по времени ( $t=22,22$ ) становится глубже и четче, а при  $t=22,23$  образуются 5 острых пиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сложные колебания двухслойных неспаянных пластин при действии продольных знакопеременных нагрузок / А.В. Крысько, В.А. Крысько, О.А. Овсянникова, Т.В. Бабенкова // Известия вузов. Строительство. 2002. № 6. С. 23-30.
2. Крысько А.В. Математическая модель контактного взаимодействия двухслойных неспаянных пластин при действии поперечных знакопеременных нагрузок / А.В. Крысько, О.А. Овсянникова // Труды XIII межвуз. конф. Самара, 2003. С. 92-95.

**Крысько Антон Вадимович** –  
доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры «Прикладная математика и теория навигационных приборов»  
Саратовского государственного технического университета

**Овсянникова Ольга Александровна** –  
аспирант кафедры «Высшая математика»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 517.958:536.2

**В.Ю. Ольшанский, В.Ю. Михайлов, А.В. Серебряков**

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВЫПРЯМЛЕНИЯ ФРОНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ ГРАФИТА**

*Представлены результаты численного моделирования теплопереноса при термическом расщеплении предварительно окисленного графита. В рамках модели, основанной на задаче Стефана, получено нестационарное распределение температуры. Также определено положение подвижных границ раздела фаз. Для решения задачи использован метод выпрямления фронтов. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с результатами экспериментов.*

V.Y. Olshansky, V.Y. Mikhailov, A.V. Serebrjakov

## RESULTS OF APPLYING OF THE STRAIGHTENING FRONTS METHOD WHILE SIMULATING GRAPHITE THERMAL EXFOLIATION

*The results of numerical simulation of heat transfer while thermal exfoliations of preliminary oxidized graphite were presented here. Within the limits of simulation based on Stefan problem, a nonstationary temperature distribution was obtained. The position of moving boundaries of interphase was defined. The problem was solved by means of the method of straightening fronts. The results of calculations satisfactory agree with the results of experiments.*

Рассмотрим термическое расщепление предварительно окисленного графита (ОГ). Ограничимся случаем, когда два размера технологической формы много больше третьего. Это позволяет провести расчеты на основе одномерной модели, рассмотрев термическое расщепление ОГ в бесконечном слое, помещенном между двумя пластинами, через которые осуществляется нагрев. В первоначальной засыпке технологической формы  $h_0/L < 1$ . Здесь  $h_0$  – толщина слоя графита,  $L$  – расстояние между пластинами, принятое за характерную длину при переходе к безразмерным величинам.

В рамках предложенной модели процесс термического расщепления разделяется на три стадии. На первой происходит нагрев слоя ОГ за счет конвективного теплообмена через нижнее основание. При этом между слоем графита и верхней пластиной существует воздушная прослойка. Интенсивность теплообмена с этой прослойкой считается пренебрежимо малой. Распределение температуры в слое графита определяется из решения задачи нестационарной теплопроводности

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = Fo^{(1)} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2}, \quad 0 < x < h_0/L, \quad 0 < t < t_1, \quad (1)$$

$$u_1(x,0) = u_0, \quad 0 < x < h_0/L, \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=0} - Bi^{(1)} \cdot u_1(0,t) + Bi^{(1)} \cdot u_\infty = 0, \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=h_0/L} = 0. \quad (4)$$

Через  $Fo$ ,  $Bi$  обозначены соответственно числа Фурье и Био. Первая стадия завершается в момент  $t=t_1$ , для которого  $u(0,t_1)=u^*$ . Здесь  $u^*$  – температура, при которой возникает фаза терморасщепленного графита (ТРГ).

На второй стадии происходит нагрев через нижнее основание пакета слоёв ТРГ-ОГ. Для этой стадии характерно наличие двух подвижных границ: поверхности раздела фаз  $x = \xi_n(t)$  и свободной поверхности ОГ  $x = \varphi(t)$ . Движение свободной поверхности связано с изменением объема графита при термическом расщеплении. Имеет место зависимость  $\varphi(t) = \frac{h_0}{L} + \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) \cdot \xi_n(t)$ , где  $\kappa = \text{const}$ ,  $\kappa > 1$  – относительное изменение объёма ОГ при его переходе в ТРГ. Распределения температуры  $u_1(x,t)$  в слое ОГ и  $u_2(x,t)$  в слое ТРГ определяются соответственно из решения задачи нестационарной теплопроводности для уравнения

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = Fo^{(1)} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2}, \quad \xi_n(t) < x < \varphi(t), \quad t_1 < t < t_2 \quad (5)$$

при граничных условиях

$$u_1(\xi_n(t), t) = u_* , \quad \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=\varphi(t)} = 0 \quad (6)$$

с начальным условием

$$u_1(x, t_1) = u_1^{(1)}(x, t_1), \quad \xi_n(t) < x < \varphi(t) \quad (7)$$

и задачи для уравнения

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = Fo^{(2)} \cdot \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2}, \quad 0 < x < \xi_n(t), \quad t_1 < t < t_2 \quad (8)$$

при граничных условиях

$$u_2(\xi_n(t), t) = u_* , \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=0} - Bi^{(2)} \cdot u_2(0, t) + Bi^{(2)} \cdot u_\infty = 0 \quad (9)$$

с начальным условием в виде

$$u_2(x, t_1) = u_* + Bi^{(2)}(u_\infty - u_*)(\xi_n(t) - x), \quad 0 < x < \xi_n(t). \quad (10)$$

В формуле (10)  $\xi_n(t)$  определяется из предположения, что в начале второй стадии поверхность  $x=\xi_n(t)$  движется в течение малого промежутка времени  $\delta t_2$  с постоянной скоростью. Скорость определяется выражением  $\frac{d\xi_n}{dt} = Bi^{(2)} \cdot (u_\infty - u_*) \cdot \frac{\kappa}{\Lambda}$ , где  $\Lambda$  – безразмерный комплекс, связанный с энтальпией фазового перехода.

В дальнейшем скорость движения поверхности раздела фаз определяется из условия

$$\left( \frac{\partial u_1}{\partial x} - \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) \Big|_{x=\xi_n(t)} = \frac{\Lambda}{\kappa} \frac{d\xi_n}{dt}. \quad (11)$$

Здесь  $k_1, k_2$  – коэффициенты теплопроводности ОГ и ТРГ соответственно. Наличие условия (11) связывает между собой задачи (5)-(7) и (8)-(10). Решение ведется в рамках модели, основанной на задаче Стефана.

Для решения задач (5)-(7) и (8)-(10) с условием (11) использован метод выпрямления фронтов [1,2]. В областях ОГ и ТРГ соответственно вводятся новые переменные

$$\eta = \frac{\xi_n(t) - x}{\xi_n(t) - \varphi(t)} \quad \text{и} \quad \zeta = 1 - \frac{x}{\xi_n(t)}. \quad (12)$$

При этом уравнение (5) принимает вид

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{Fo^{(1)}}{(\varphi(t) - \xi_n(t))^2} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial \eta^2} + \frac{d\xi_n/dt}{\varphi(t) - \xi_n(t)} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{\kappa}\right) \cdot \frac{\partial u_1}{\partial \eta} \quad 0 < \eta < 1, \quad t_1 < t < t_2, \quad (13)$$

а уравнение (8) – вид

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = \frac{Fo^{(2)}}{\xi_n(t)^2} \cdot \frac{\partial^2 u_2}{\partial \zeta^2} + \frac{d\xi_n/dt}{\xi_n(t)} \cdot (\zeta - 1) \cdot \frac{\partial u_2}{\partial \zeta} \quad 1 > \zeta > 0, \quad t_1 < t < t_2. \quad (14)$$

Условия (6), (7), (9) и (10) преобразуются соответственно. Условие (11) принимает вид

$$\frac{1}{\xi_n(t) - \varphi(t)} \cdot \left. \frac{\partial u_1}{\partial \eta} \right|_{\eta=0} + \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{1}{\xi_n(t)} \cdot \left. \frac{\partial u_2}{\partial \zeta} \right|_{\zeta=0} = \frac{\Lambda}{\kappa} \frac{d\xi_n}{dt}. \quad (15)$$

Решение ведется шагами по времени. Скорость  $d\xi_n/dt$  определяется из условия (15). Далее, в предположении, что ее значение не меняется на промежутке времени  $\Delta t$ , решаются

задачи нестационарной теплопроводности для  $u_1(\eta, t)$ ,  $u_2(\zeta, t)$  с использованием конечноразностной схемы. Затем снова применяется условие (15) и повторяются вычисления для следующего промежутка времени. Стадия нестесненного расширения пакета слоев ТРГ-ОГ завершается в момент времени  $t=t_2$ , когда свободная поверхность ОГ касается верхней пластины, т.е. при выполнении условия  $\varphi(t_2)=1$ .

На третьей, заключительной стадии происходит нагрев пакета слоёв ТРГ-ОГ-ТРГ с поверхностями раздела  $x=\xi_n(t)$  и  $x=1-\xi_6(t)$ . При этом объём между пластинами полностью занят ОГ и ТРГ, и переход из ОГ в ТРГ сопровождается изменением плотности ТРГ с течением времени по закону

$$\rho_{2n} = \rho_{26} = \rho_1 \cdot \left( 1 - \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \cdot \frac{\xi_n(t_2)}{\xi_n(t) + \xi_6(t)} \right). \quad (16)$$

В формуле (16)  $\rho_1$ ,  $\rho_{2n}$ ,  $\rho_{26}$  — плотности в слоях пакета.

Решение задачи ведется методом выпрямления фронтов. Замены переменных

$$\eta = \frac{x - \xi_n(t)}{1 - \xi_n(t) - \xi_6(t)}, \quad \zeta = 1 - \frac{x}{\xi_n(t)}, \quad v = \frac{1 - x}{\xi_6(t)} \quad (17)$$

соответственно в слое ОГ, нижнем слое ТРГ и верхнем слое ТРГ приводят к уравнениям

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_2}{\partial t} &= \frac{Fo^{(2)}}{\xi_n(t)^2} \cdot \frac{\partial^2 u_2}{\partial \zeta^2} + \frac{d\xi_n/dt}{\xi_n(t)} \cdot (\zeta - 1) \cdot \frac{\partial u_2}{\partial \zeta}, \\ \frac{\partial u_1}{\partial t} &= \frac{Fo^{(1)}}{(1 - \xi_6(t) - \xi_n(t))^2} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial \eta^2} + \frac{d\xi_n/dt - \eta \cdot (d\xi_6/dt + d\xi_n/dt)}{1 - \xi_6(t) - \xi_n(t)} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial \eta}, \\ \frac{\partial u_3}{\partial t} &= \frac{Fo^{(3)}}{\xi_6(t)^2} \cdot \frac{\partial^2 u_3}{\partial v^2} + \frac{d\xi_6/dt}{\xi_6(t)} \cdot v \cdot \frac{\partial u_3}{\partial v} \end{aligned} \quad (18)$$

при соответствующих краевых условиях. Условия для тепловых потоков на поверхностях  $x=\xi_n(t)$  и  $x=1-\xi_6(t)$  брались с учетом малой скорости перемещения слоя ОГ. После замены переменных (17) эти условия принимают соответственно вид

$$\begin{aligned} & \left. \frac{1}{1 - \xi_n(t) - \xi_6(t)} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial \eta} \right|_{\eta=0} + \left. \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{1}{\xi_n(t)} \cdot \frac{\partial u_2}{\partial \zeta} \right|_{\zeta=0} = \\ & = \Lambda \cdot \left( \frac{d\xi_n}{dt} + \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \cdot \xi_n(t_2) \cdot \frac{d\xi_6/dt \cdot \xi_n(t) - d\xi_n/dt \cdot \xi_6(t)}{(\xi_n(t) + \xi_6(t))^2} \right), \\ & - \left( \left. \frac{1}{L - \xi_n(t) - \xi_6(t)} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial \eta} \right|_{\eta=1} + \left. \frac{k_3}{k_1} \cdot \frac{1}{\xi_6(t)} \cdot \frac{\partial u_3}{\partial v} \right|_{v=1} \right) = \\ & = \Lambda \cdot \left( \frac{d\xi_6}{dt} - \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \cdot \xi_n(t_2) \cdot \frac{d\xi_6/dt \cdot \xi_n(t) - d\xi_n/dt \cdot \xi_6(t)}{(\xi_n(t) + \xi_6(t))^2} \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Третья стадия и вместе с ней весь процесс завершаются в момент времени  $t=t_3$ , для которого выполняется условие  $\xi_n(t_3) + \xi_6(t_3) = 1$ , то есть весь объём окисленного графита переходит в терморасщепленный графит.

Рассматривался также случай граничных условий первого рода

$$u_2 \Big|_{x=0} = u_\infty \text{ при } t > 0, \quad u_2 \Big|_{x=1} = u_\infty \text{ при } t > t_2. \quad (20)$$

Так как нагрев происходит при значении  $u_\infty > u_*$ , то первая стадия отсутствует и  $t_1=0$ . Для малых значений  $t$  распределение температуры было получено аналитически. Использовались асимптотические разложения

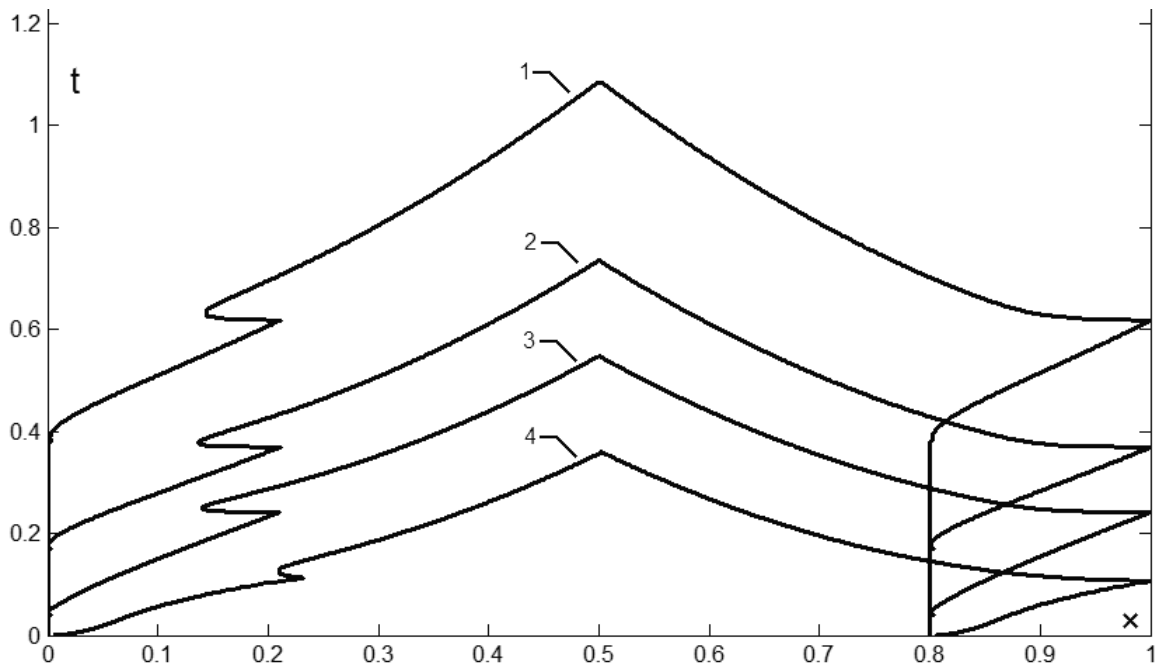
$$u_1 = \sum_{i=0}^{\infty} u_{1i}(x) \cdot t^{i/2} + \sum_{i=0}^{\infty} \hat{u}_{1i}(x) \cdot t^i, \quad u_2 = \sum_{i=0}^{\infty} u_{2i}(x) \cdot t^{i/2} \quad (21)$$

для температуры и представление

$$\xi_{\mu}(t) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \cdot t^{(i+1)/2}. \quad (22)$$

Подставив разложения (21), (22) в уравнения теплопроводности и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях  $t$ , получим ряд обыкновенных дифференциальных уравнений для функций-коэффициентов. Далее в решении сохранялись слагаемые, соответствующие  $i=0$ . Условие (11) позволяет определить числовое значение  $\alpha_0$ , которое используется далее в методе выпрямления фронтов.

На рисунке представлено распространение с течением времени свободной поверхности ОГ и поверхностей раздела ОГ-ТРГ, которое получено в результате расчетов при  $h_0/L=0,8$ ,  $\kappa=20$ ,  $t_0=300$  с,  $Fo^{(1)}=3,9$ ,  $Fo^{(2)}=51,4$ ,  $Bi^{(2)} / Bi^{(1)} = 10$ ,  $k_2/k_1=0,1$ ,  $\Lambda=0,21$ ,  $u_\infty/u_*=2$ ,  $u_0/u_*=0,066$ . Расчеты проводились при разных значениях  $Bi^{(1)}$  и при граничных условиях первого рода. Ранее авторами были получены результаты для нестесненного термического расщепления графита. Эти результаты представлены в работах [3,4].



1 –  $Bi^{(1)}=0,4$ , 2 –  $Bi^{(1)}=0,8$ , 3 –  $Bi^{(1)}=2,0$ , 4 – граничные условия первого рода

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Будак Б.М. Разностные методы решения некоторых краевых задач типа Стефана / Б.М. Будак, Ф.П. Васильев, А.Б. Успенский // Численные методы в газовой динамике: сб. работ ВЦ МГУ. М.: Изд-во МГУ, 1965. С. 139-183.
2. Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача / П.Н. Вабищевич, А.А. Самарский. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.

3. Михайлов В.Ю. Метод выпрямления фронтов при численном моделировании термического расщепления графита / В.Ю. Михайлов, В.Ю. Ольшанский, А.В. Серебряков // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2004. С. 72-76.

4. Михайлов В.Ю. Решение задачи Стефана методом выпрямления фронтов для расчета процесса термического расщепления графита / В.Ю. Михайлов, В.Ю. Ольшанский, А.В. Серебряков // Математика. Механика: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2004. Вып. 6. С. 202-205.

**Ольшанский Владимир Юрьевич –**

доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Высшая математика и механика»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Серебряков Андрей Владимирович –**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика и механика»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Михайлов Владимир Юрьевич –**

аспирант кафедры «Высшая математика и механика»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

УДК 624.04:539.3

**К.Ф. Шагивалеев**

**РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ОБОЛОЧЕК,  
СОЕДИНЕННЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ СВЯЗЯМИ**

*Рассмотрена тонкостенная пространственная система из двух оболочек, соединенных промежуточными связями. Исследовано влияние реактивного давления от места расположения связи, от количества связей.*

**K.F. Shagivaleev**

**THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS  
OF TWO BUILT-UP CONNECTION SHELLS**

*A thin-walled three-dimensional system of two built-up connection shells was examined here. The article explores the reaction pressure effect of the connection site and of the amount of connections.*

Рассмотрим тонкостенную пространственную систему из двух замкнутых цилиндрических оболочек, имеющих шарнирные крепления по концам. Оболочки расположены на некотором расстоянии  $\Delta$  друг от друга и соединены промежуточными связями. Связи пред-



полагаются точечными (жесткими). Одна из оболочек находится под действием радиальной нагрузки  $q(\alpha, \beta)$ . Для каждой оболочки принята своя система координат (рис. 1).

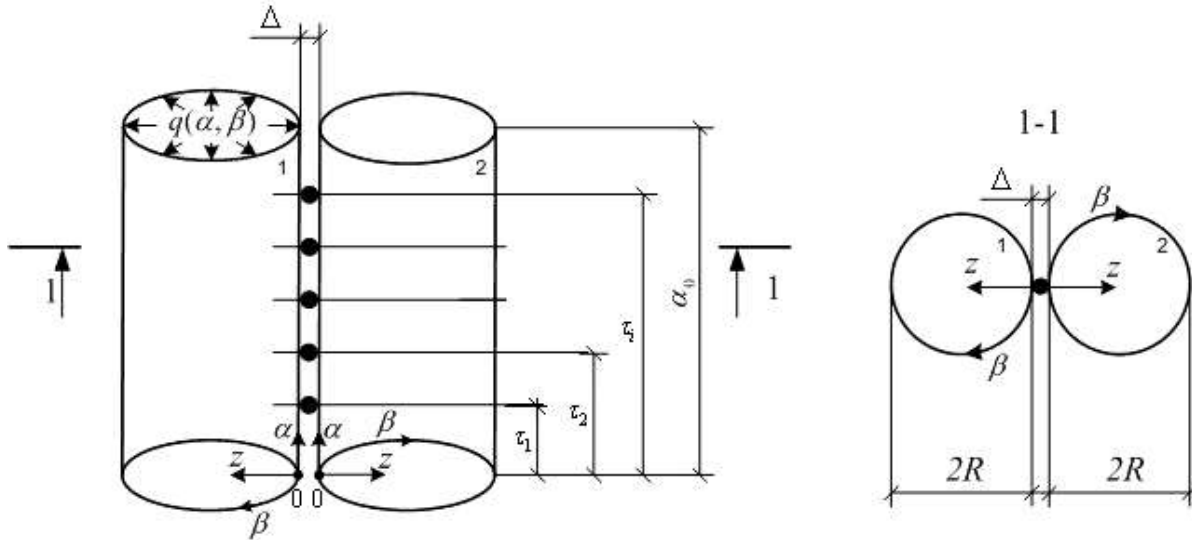


Рис. 1

$\alpha = \frac{x}{R}$ ;  $\beta = \frac{y}{R}$  – 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;  $\alpha_0 = \frac{L}{R}$ ;  $R$  – радиус срединной поверхности оболочки;  $L$  – длина оболочки.

Исходную систему представим в виде двух отдельных замкнутых цилиндрических оболочек (рис. 2 и 3).

На первую оболочку действуют радиальная нагрузка  $q(\alpha, \beta)$  и реактивные давления  $F_i$ , возникающие в местах контакта оболочек (рис. 2).

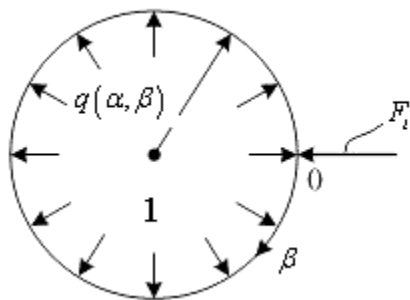


Рис. 2

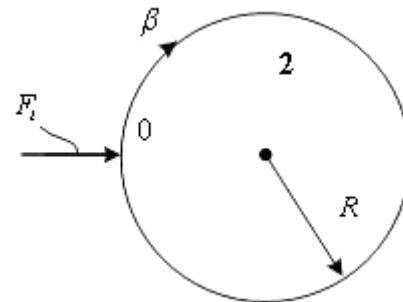


Рис. 3

На вторую оболочку действуют только реактивные давления  $F_i$  (рис. 3). Реактивные давления  $F_i$  являются неизвестными величинами. В рассматриваемом случае реактивные давления  $F_i$  представляют собой сосредоточенные нагрузки, возникающие в местах контакта оболочек. Неизвестные реактивные давления  $F_i$  находим из условий сопряжения оболочек. В точках контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны.

В качестве примера рассмотрена пространственная система из двух цилиндрических оболочек, имеющих следующие параметры:  $R=3$  м; толщина стенки оболочек  $h=0,16$  м; длина оболочек  $L=30$  м; коэффициент Пуассона  $\nu=0,2$ . Одна из оболочек нагружена внутренним

давлением  $q_0$ . Оболочки соединены между собой одной промежуточной связью, расположенной в середине длины оболочек (рис. 4).

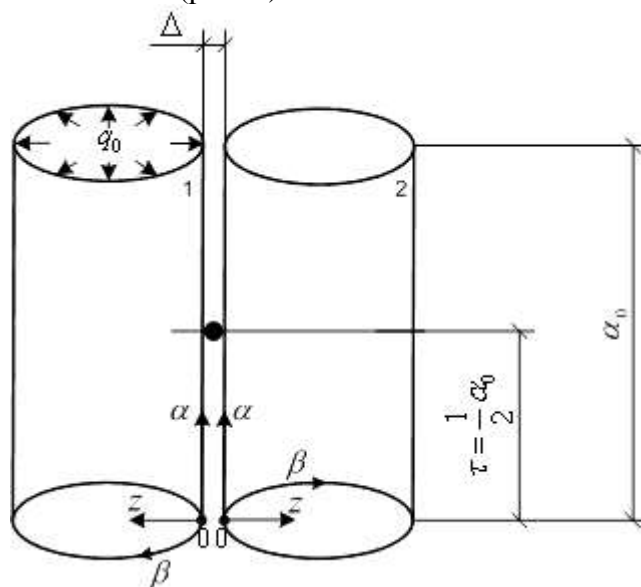


Рис. 4

Сосредоточенную нагрузку  $F$  разложим в тригонометрический ряд по переменной  $\beta$ :

$$\frac{F}{2\pi R} + \frac{F}{\pi R} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\beta. \quad (1)$$

В соответствии с рекомендациями, изложенными в настоящей работе, и решениями, приведенными в работах [1,2], определяем радиальные перемещения в оболочках (в месте контакта оболочек): в первой – от внутреннего давления  $q_0$  и реактивного давления  $F$ ; во второй оболочке – от реактивного давления  $F$ .

Радиальные перемещения от внутреннего давления  $q_0$  находим по формуле [1]:

$$w_0(\alpha) = \frac{q_0 R}{Eh} (1 - X_{01} + d_7 X_{02} + d_8 X_{03}), \quad (2)$$

где

$$X_{01} = \cos \omega \alpha_0 \operatorname{ch} \omega \alpha_0;$$

$$X_{03} = \cos \omega \alpha_0 \operatorname{sh} \omega \alpha_0;$$

$$X_{02} = \sin \omega \alpha_0 \operatorname{ch} \omega \alpha_0;$$

$$X_{04} = \sin \omega \alpha_0 \operatorname{sh} \omega \alpha_0;$$

$$d_7 = -\sin \omega \alpha_0 (\cos \omega \alpha_0 + \operatorname{ch} \omega \alpha_0)^{-1}; \quad d_8 = \operatorname{sh} \omega \alpha_0 (\cos \omega \alpha_0 + \operatorname{ch} \omega \alpha_0)^{-1};$$

$$4\omega^4 = \frac{1-\nu^2}{c^2}; \quad c^2 = \frac{h^2}{12R^2}.$$

В месте контакта оболочек:

$$w\left(\frac{1}{2}\alpha_0; 0\right) = -18,75 \frac{q_0 R}{E}. \quad (3)$$

Определим радиальные перемещения  $w$  в оболочках от сосредоточенной силы  $F$ . В разложении (1) первое слагаемое представляет собой нагрузку, сосредоточенную по длине оболочки и равномерно распределенную по круговому сечению. Выражения для перемеще-

ния, усилий и моментов при действии этого вида нагрузки при различных граничных условиях приведены в работе [1]. Так, выражение для определения радиального перемещения  $w$  при рассматриваемых граничных условиях имеет вид:

$$w(\alpha) = -\frac{\omega F}{2\pi Eh} [(Y_{02} - Y_{03})\eta(\alpha - \tau) - (B_{01} + B_{04})X_{02} + (B_{01} - B_{04})X_{03} + d_9(X_{02} + X_{03}) + d_{10}(X_{02} - X_{03})], \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} Y_{01} &= \cos \omega(\alpha - \tau) ch \omega(\alpha - \tau); & B_{01} &= \cos \omega\tau ch \omega\tau; \\ Y_{02} &= \sin \omega(\alpha - \tau) ch \omega(\alpha - \tau); & B_{02} &= \sin \omega\tau ch \omega\tau; \\ Y_{03} &= \cos \omega(\alpha - \tau) sh \omega(\alpha - \tau); & B_{03} &= \cos \omega\tau sh \omega\tau; \\ Y_{04} &= \sin \omega(\alpha - \tau) sh \omega(\alpha - \tau); & B_{04} &= \sin \omega\tau sh \omega\tau; \end{aligned}$$

$$d_9 = (B_{03} \sin 2\omega\alpha_0 - B_{02} sh 2\omega\alpha_0)(\cos 2\omega\alpha_0 - ch 2\omega\alpha_0)^{-1};$$

$$d_{10} = -(B_{02} \sin 2\omega\alpha_0 + B_{03} sh 2\omega\alpha_0)(\cos 2\omega\alpha_0 - ch 2\omega\alpha_0)^{-1};$$

$\eta(\alpha - \tau)$  – единичная функция, которая при  $\alpha > \tau$  равна 1 и при  $\alpha \leq \tau$  равна 0.

Обращаем внимание на то, что единичная функция  $\eta(\alpha - \tau)$  принята только для сокращения записи выражения. Она указывает, с какого значения координаты  $\alpha$  появляется в выражении данное слагаемое.

Радиальные перемещения, определяемые остальными членами тригонометрического ряда (1), найдем, используя приближенную теорию оболочек в форме Гольденвейзера [3]:

Основное разрешающее уравнение приближенной теории оболочек в форме Гольденвейзера имеет вид:

$$\frac{\partial^8 \Phi}{\partial \beta^8} + 2 \frac{\partial^6 \Phi}{\partial \beta^6} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \beta^4} + \frac{1 - \nu^2}{c^2} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^4} = \frac{R^4}{D} q(\alpha, \beta), \quad (5)$$

где  $\Phi$  – основная разрешающая функция;  $D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость.

Решения дифференциального уравнения (5) и выражения для перемещений, усилий и моментов при действии нагрузок, неравномерно распределенных по поверхности оболочки, при различных граничных условиях приведены в работе [2]. Так, выражения для определения радиальных перемещений  $w$  при рассматриваемых граничных условиях имеют вид:

при  $n=1$

$$w(\alpha, \beta) = \frac{F}{6\pi Eh\alpha_0} \{ \alpha_0 (\alpha - \tau)^3 \eta(\alpha - \tau) - (\alpha_0 - \tau) \alpha^3 - (\alpha_0 - \tau) [(\alpha_0 - \tau)^2 - \alpha_0^2] \alpha \} \cos \beta. \quad (6)$$

при  $n \geq 2$

$$w(\alpha, \beta) = \frac{F 4\omega^4}{\pi Eh} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\chi}{(n^2 - 1)^2} [(Y_2 - Y_3)\eta(\alpha - \tau) - (B_1 + B_4)X_2 + (B_1 - B_4)X_3 + t_9(X_2 + X_3) + t_{10}(X_2 - X_3)], \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} X_1 &= \cos \chi \alpha \operatorname{ch} \chi \alpha; & Y_1 &= \cos \chi (\alpha - \tau) \operatorname{ch} \chi (\alpha - \tau); \\ X_2 &= \sin \chi \alpha \operatorname{ch} \chi \alpha; & Y_2 &= \sin \chi (\alpha - \tau) \operatorname{ch} \chi (\alpha - \tau); \\ X_3 &= \cos \chi \alpha \operatorname{sh} \chi \alpha; & Y_3 &= \cos \chi (\alpha - \tau) \operatorname{sh} \chi (\alpha - \tau); \\ X_4 &= \sin \chi \alpha \operatorname{sh} \chi \alpha; & Y_4 &= \sin \chi (\alpha - \tau) \operatorname{sh} \chi (\alpha - \tau); \\ B_1 &= \cos \chi \tau \operatorname{ch} \chi \tau; & B_3 &= \cos \chi \tau \operatorname{sh} \chi \tau; \\ B_2 &= \sin \chi \tau \operatorname{ch} \chi \tau; & B_4 &= \sin \chi \tau \operatorname{sh} \chi \tau; \end{aligned}$$

$$t_9 = (B_3 \sin 2\chi\alpha_0 - B_2 \operatorname{sh} 2\chi\alpha_0)(\cos 2\chi\alpha_0 - \operatorname{ch} 2\chi\alpha_0)^{-1};$$

$$t_{10} = -(B_2 \sin 2\chi\alpha_0 + B_3 \operatorname{sh} 2\chi\alpha_0)(\cos 2\chi\alpha_0 - \operatorname{ch} 2\chi\alpha_0)^{-1};$$

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

Радиальное перемещение в оболочках в месте контакта от сосредоточенной силы  $w\left(\frac{1}{2}\alpha_0; 0\right) = 54,9382 \frac{F}{Eh}$ . При определении радиальных перемещений в оболочках от реактивного давления  $F$  удерживалось 100 членов тригонометрического ряда (1).

Из условия равенства радиальных перемещений  $w(\alpha, \beta)$  в оболочках в точке их контакта было определено неизвестное реактивное давление  $F = 0,170646q_0Rh$ .

Имея  $F$ , можно определить напряженно-деформированное состояние каждой оболочки [1,2].

На рис. 5 приведены для первой оболочки кривые распределения радиальных перемещений  $w$  вдоль образующей, на которой находится место контакта оболочек: кривая 2 – распределение радиальных перемещений  $w$  от внутреннего давления  $q_0$ ; кривая 1 – распределение радиальных перемещений  $w$  от внутреннего давления  $q_0$  и реактивного давления  $F$ .

Выясним, как изменится реактивное давление  $F$  у той же самой системы при изменении места положения промежуточной связи.

Пусть оболочки соединены между собой одной промежуточной связью, расположенной в точке  $(\alpha = 6,25; \beta = 0)$ . Радиальные перемещения в оболочках в месте контакта  $(\alpha = 6,25; \beta = 0)$  находим по формулам (2), (4), (6), (7): в первой оболочке от внутреннего давления  $q_0: w(6,25; 0) = -18,75 \frac{q_0R}{E}$ ; от реактивного давления  $F: w(6,25; 0) = 52,748544 \frac{F}{Eh}$ . Из условия равенства радиальных перемещений  $w(\alpha, \beta)$  в оболочках в точке их контакта определено неизвестное реактивное давление  $F = 0,17773q_0Rh$ .

Для системы с промежуточной связью, расположенной в точке  $(\alpha = 7,5; \beta = 0)$ : радиальные перемещения в первой оболочке от внутреннего давления  $q_0: w(7,5; 0) = -18,75 \frac{q_0R}{E}$ ; от реактивного давления –  $w(7,5; 0) = 45,722176 \frac{F}{Eh}$ ; неизвестное реактивное давление  $F = 0,205043q_0Rh$ .

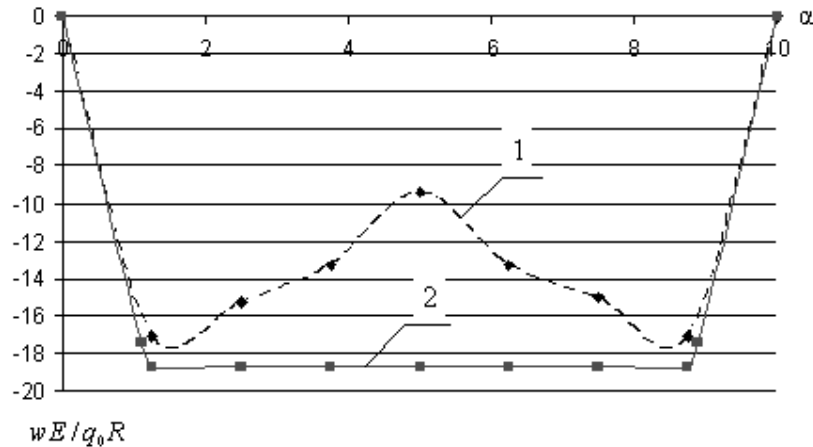


Рис. 5

Для системы с промежуточной связью, расположенной в точке  $(\alpha=8,75; \beta=0)$ : радиальные перемещения в первой оболочке от внутреннего давления  $q_0-w(8,75;0)=-18,7383 \frac{q_0R}{E}$ ; от реактивного давления –  $w(8,75;0)=32,658144 \frac{F}{Eh}$ ; неизвестное реактивное давление  $F=0,286886q_0Rh$ .

Рассмотрим ту же самую систему с промежуточными связями, расположенными в двух точках:  $(\alpha=2,5; \beta=0)$  и  $(\alpha=7,5; \beta=0)$  (рис. 6).

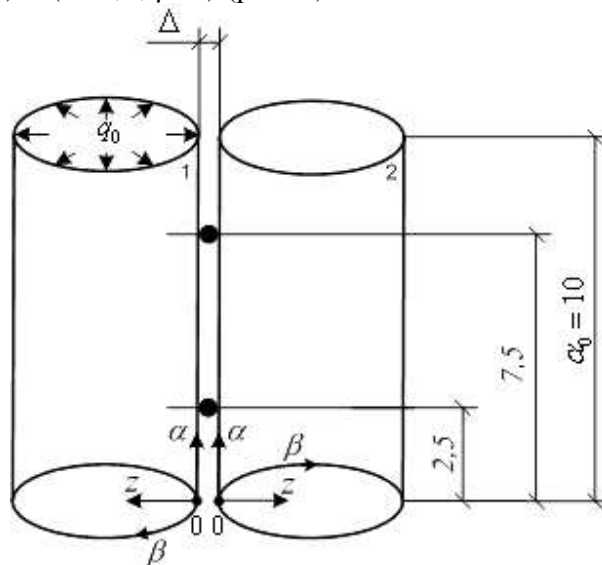


Рис. 6

Определим радиальные перемещения в местах расположения связей: в первой оболочке от внутреннего давления  $q_0$  ( $w(2,5;0)=w(7,5;0)=-18,75 \frac{q_0R}{E}$ ) и неизвестных реактивных сосредоточенных давлений  $F_1, F_2$  (в силу симметрии нагрузки и расположения связей относительно середины длины оболочки  $F_1=F_2=F$ )  $w(\alpha=2,5;\beta=0)=w(\alpha=7,5;\beta=0)=54,93819 \frac{F}{Eh}$ ; во второй оболочке – от неизвестных реактивных сосредоточенных давлений  $F_1, F_2$ .

Из условий равенства радиальных перемещений  $w(\alpha,\beta)$  в оболочках в точках их контакта были определены неизвестные реактивные давления  $F_1=F_2=0,170646q_0Rh$ .

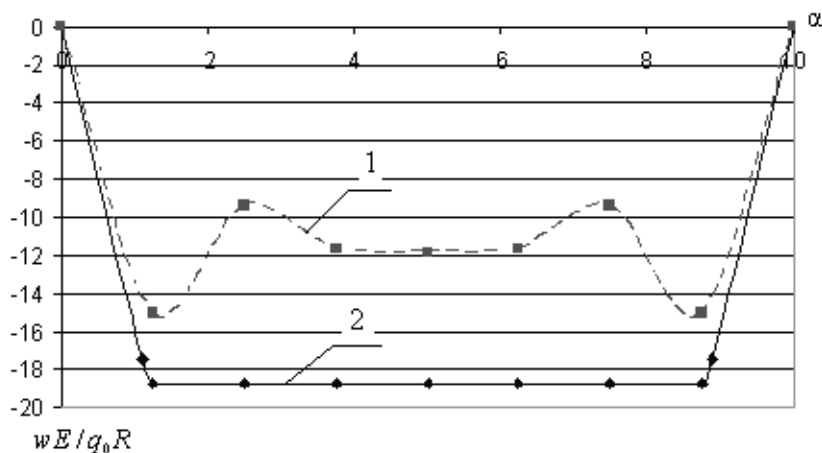


Рис. 7

На рис. 7 приведены для первой оболочки кривые распределения радиальных перемещений  $w$  вдоль образующей, на которой находятся точки контакта оболочек: кривая 2 – распределение радиальных перемещений  $w$  от внутреннего давления  $q_0$ ; кривая 1 – распределение радиальных перемещений  $w$  от внутреннего давления  $q_0$  и реактивных давлений  $F_1, F_2$ .

Рассмотрим ту же самую систему с промежуточными связями, расположенными в трех точках:  $(\alpha=2,5; \beta=0)$ ,  $(\alpha=5; \beta=0)$  и  $(\alpha=7,5; \beta=0)$  (рис. 8).

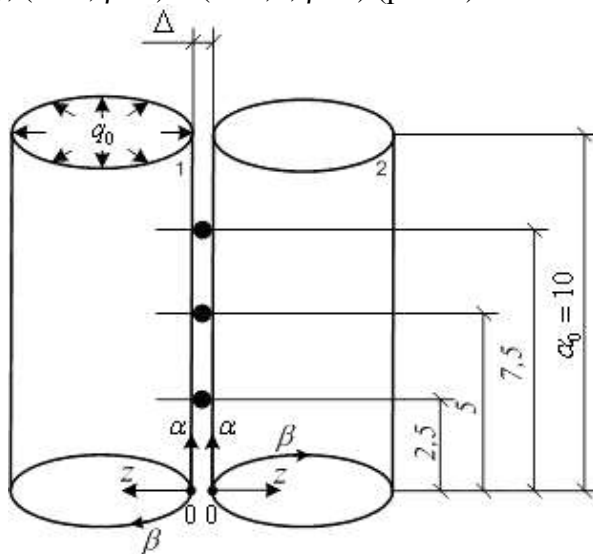


Рис. 8

Определим радиальные перемещения в местах расположения связей: в первой оболочке от внутреннего давления  $q_0$  ( $w(2,5;0)=w(5,0;0)=w(7,5;0)=-18,75 \frac{q_0 R}{E}$ ) и неизвестных реактивных сосредоточенных давлений  $F_1, F_2, F_3$  (в силу симметрии нагрузки и расположения связей относительно середины длины оболочки  $F_1=F_2=F$ )  $w(\alpha=2,5;\beta=0)=w(\alpha=7,5;\beta=0)=-54,93819 \frac{F}{Eh} + 20,090384 \frac{F_2}{Eh}$ ;  $w(\alpha=5,0;\beta=0)=40,180768 \frac{F}{Eh} + 54,93819 \frac{F_2}{Eh}$ ; во второй оболочке – от неизвестных реактивных сосредоточенных давлений  $F_1, F_2, F_3$ .

Из условий равенства радиальных перемещений  $w(\alpha,\beta)$  в оболочках в точках их контакта были определены неизвестные реактивные давления  $F_1=F_3=0,147763q_0Rh$   $F_2=0,063575q_0Rh$ .

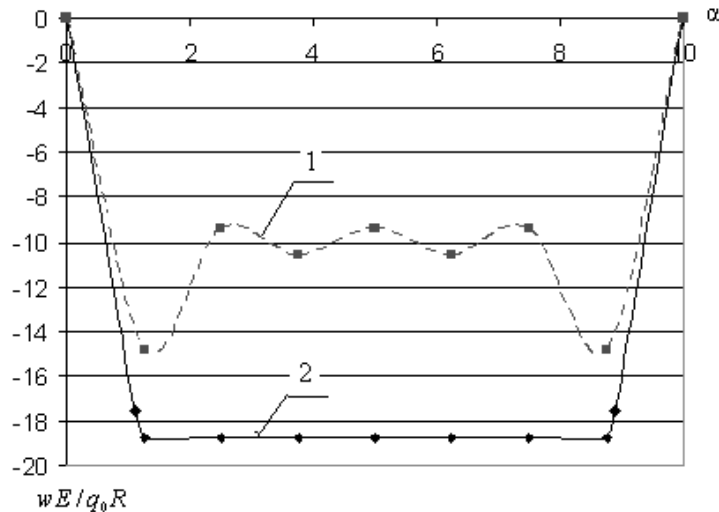


Рис. 9

На рис. 9 приведены для первой оболочки кривые распределения радиальных перемещений  $w$  вдоль образующей, на которой находятся точки контакта оболочек: кривая 2 – распределение радиальных перемещений  $w$  от внутреннего давления  $q_0$ ; кривая 1 – распределение радиальных перемещений  $w$  от внутреннего давления  $q_0$  и реактивных давлений  $F_1, F_2, F_3$ .

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, при любом количестве промежуточных связей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шагивалеев К.Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К.Ф. Шагивалеев. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1991. 206 с.
2. Шагивалеев К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки по приближенной теории / К.Ф. Шагивалеев. Саратов: СГТУ, 2001. 164 с.
3. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек / А.Л. Гольденвейзер. М.: Наука, 1976. 512 с.

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

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

УДК 539.3

**С.М. Шляхов, Э.Ф. Кривулина**

#### **ЗАДАЧА ТЕРМОУПРУГОСТИ ДЛЯ КРУГЛОЙ, НЕ ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ ТЕПЛО ПЛИТЫ ПРИ ПОРИСТОМ ЕЕ ОХЛАЖДЕНИИ**

*Представлено решение задачи термоупругости для пористой круглой плиты, охлаждаемой нагнетанием хладагента через поры. Использован метод конечных элементов. Полученные результаты позволяют оценить НДС пластины при различных режимах ее охлаждения.*

S.M. Shlyakhov, E.F. Krivoulina

### THERMOELASTICITY PROBLEM FOR A ROUND NOT HEAT EVOLVING PLATE AT IT'S POROUS COOLING

*Decision of the thermo elasticity problem is presented in article for porous round plate, cooled by forced refrigerant through holes. The solution is based on finite element method. The Got results allow valuing the strain-stress state of the plate under different modes of its cooling.*

Рассмотрим плоскую, не выделяющую тепло пластину радиуса  $R$ , выполненную из пористого материала. Пластина может быть как свободной, так и закрепленной по внешнему контуру. Температурное поле внутри пластины считается одномерным. Охлаждающая жидкость, нагнетаемая сквозь пластину в положительном направлении  $x$ , имеет при  $x=-\infty$  температуру  $t_0$ .

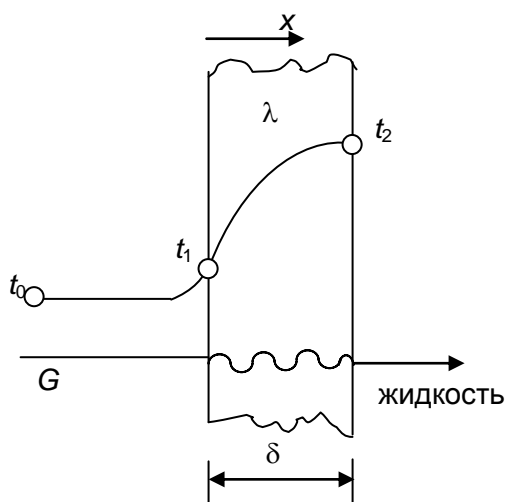


Рис. 1. Схема пористого охлаждения круглой пластины в одномерном поле температур

На верхнем торце пластины поддерживается постоянная температура  $t_2$ . Боковые цилиндрические поверхности – теплоизолированы. Теплофизические и механические характеристики материала зависят от местной температуры и пористости (рис. 1). Тепловой режим в пластине – стационарный. Весовой расход охлаждающей жидкости вблизи пластины  $G$ , удельная теплоемкость  $C$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$  зависят от температуры  $t$  и пористости  $P$  [1, 2].

Перенос тепла в такой пластине можно определить как сумму двух составляющих [3]. Первая составляющая – это теплопроводность внутри твердого тела, равная  $-\lambda_s(1-P)\frac{dt_s}{dx}$ . Вторая составляющая – это теплообмен твердое тело – жидкость. За счет этой составляющей температура жидкости повышается на  $dt_f = dq/GC$ , где  $G=rv$ .

Исходя из этого, количество тепла, отдаваемого твердым телом жидкости, должно быть равно количеству тепла, переносимому за счет теплопроводности:

$$-\lambda_s(1-P)\frac{dt_s}{dx} + \lambda_s(1-P)\left(\frac{dt_s}{dx} + \frac{d^2t_s}{dx^2}dx\right) = GC dt_f . \quad (1)$$

Таким образом, дифференциальное уравнение, которому удовлетворяет температура пластины, имеет вид

$$\frac{d^2t_s}{dx^2} - \xi_s \frac{dt_s}{dx} = 0 \quad \text{при} \quad 0 \leq x \leq \delta, \quad \text{где} \quad \xi_s = \frac{GC}{\lambda_s(1-P)} . \quad (2)$$

Тепловой баланс, составленный для жидкости, выглядит следующим образом

$$\frac{d^2t_f}{dx^2} - \xi_f \frac{dt_f}{dx} = 0 \quad \text{при} \quad -\infty \leq x \leq 0, \quad \text{где} \quad \xi_f = \frac{GC}{\lambda_f} . \quad (3)$$



Из общего решения уравнения (2)

$$t_s = C_1 e^{\xi_s x} + C_2 \quad (4)$$

получим частное решение, которое удовлетворяет граничным условиям  $t=t_1$  при  $x=0$ ,  $t=t_2$  при  $x=\delta$ :

$$t_s = t_1 + \frac{(t_2 - t_1)}{(e^{\xi_s \delta} - 1)} (e^{\xi_s x} - 1) \quad \text{для } 0 \leq x \leq \delta . \quad (5)$$

Общее решение уравнения (3) имеет вид

$$t_f = C_3 e^{\xi_f x} + C_4 . \quad (6)$$

Граничные условия для потока жидкости  $t_f=t_0$  при  $x=-\infty$ ,  $\lambda_f \frac{dt_f}{dx} = \lambda_s (1-P) \frac{dt_s}{dx}$  при  $x=0$ .

Частное решение уравнения (3), удовлетворяющее этим условиям, принимает вид:

$$t_f = t_0 + \frac{(t_2 - t_1)}{(e^{\xi_s \delta} - 1)} e^{\xi_f x} \quad \text{для } -\infty \leq x \leq 0 . \quad (7)$$

Исключая температуру  $t_1$  из уравнений (5) и (7), получим

$$t_s = t_0 + (t_2 - t_0) e^{-\xi_s \delta (1 - \frac{x}{\delta})} . \quad (8)$$

Для поиска температурных напряжений в пластине исходим из посылки, что толщина пластинки мала, и в ней реализуется плоское напряженное состояние. Для общности решения остановимся вначале на случае свободной (не закрепленной) пластинки. Для решения применим приближенный прием, основанный на принципе освобождения от связей, и используем суперэлементный подход.

Представим условно, что плита закреплена по наружному краю радиуса  $R$ . В этом случае в плите возникнут окружные  $\sigma_\theta$  и радиальные  $\sigma_r$  напряжения.

$$\sigma'_r = \sigma'_\theta = -\frac{E(z)}{1 - \mu(z)} \alpha(T) T(z) . \quad (9)$$

Здесь  $\alpha(T)$  – средний в рабочем диапазоне температур коэффициент линейного расширения материала как функция координаты ( $z$ )

$$\alpha(T(z)) = \frac{1}{T - T_n} \int_{T_n}^T \alpha(\tau) d\tau , \quad (10)$$

$T_n$  – начальная температура бруса, принимаемая чаще за ноль;  $E(z)$  – переменный по толщине пластины модуль Юнга, зависящий от пористости и температуры.

На основании [4] представим модуль Юнга и коэффициент Пуассона следующими функциональными зависимостями:

$$E(z) = E(T) \cdot E(P) ,$$

где 
$$E(T) = E_0(1 - k_1 T - k_2 T^2), \quad E(P) = 1 - a_1 P + a_2 P^2 , \quad (11)$$

$$\mu(z) = \mu_0(1 - c_1 P + c_2 P^2 - c_3 P^3) .$$

Напряжения (9), действующие в заделке, дают результирующее радиальное усилие с интенсивностью

$$q_{pez} = \int_0^h \sigma'_r(z) dz \quad (12)$$

и результирующий момент с интенсивностью

$$m_{рез} = \int_{-z_0}^{(h-z_0)} \sigma'_r(z) z dz, \quad (13)$$

где  $z_0$  – расстояние от нейтрального слоя до торца плиты.

Если плита свободна по краю, то, пренебрегая краевым эффектом, напряжения в ней получим, добавив к напряжениям (9) напряжения от нагрузок (12), (13), взятых с обратным знаком, т.е.  $q = -q_{рез}$ ,  $m = -m_{рез}$ .

Для нахождения этих напряжений по схеме суперэлементов разобьем плиту по ее толщине на  $n$  слоев (дисков) [5].

В пределах толщины  $h_i$  каждого  $i$ -го диска полагаем пористость и физико-механические характеристики материала постоянными, средними по слою.

Очевидно, что силовой фактор  $q$  распределится по слоям в соответствии с жесткостными параметрами слоев при соблюдении равновесия и условий совместности деформаций (рис. 2):

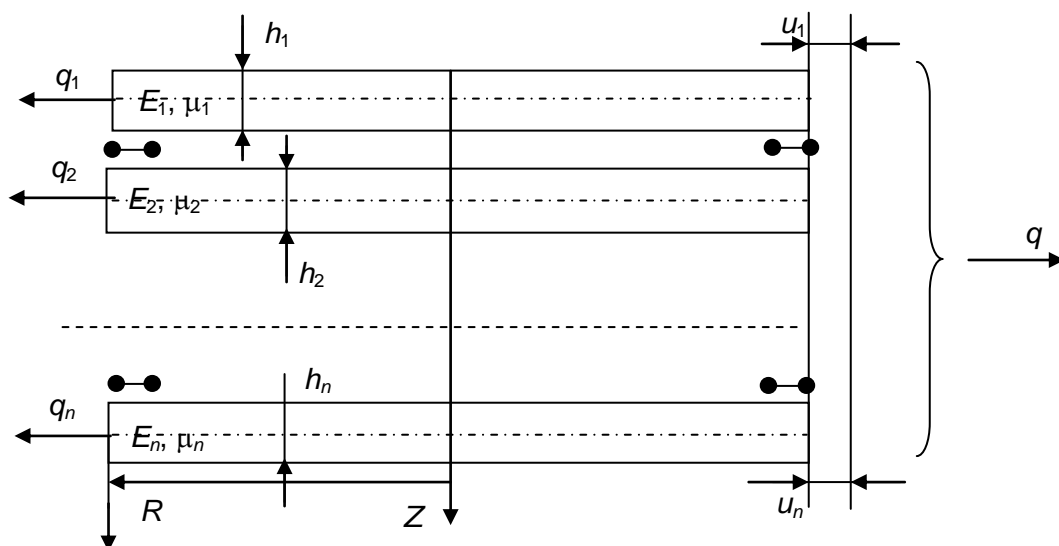


Рис. 2. Распределение силового фактора по слоям

$$q = \sum_{i=1}^n q_i, \quad u_1 = u_2 = \dots = u_i = u_0. \quad (14)$$

Здесь  $q_i$  – интенсивность радиального усилия, приходящегося на  $i$ -й диск;  $u_i$  – радиальное перемещение  $i$ -го диска на контуре  $r=R$ .

По закону Гука радиальное перемещение на внешнем контуре диска определится по формуле

$$u_i = \frac{R}{E_i} [\sigma_{\theta(i)} - \mu_i \sigma_{r(i)}]. \quad (15)$$

На основании (14) и (15) получим

$$q_i = \frac{q}{\sum_{k=1}^n \frac{(1-\mu_k) h_k E_k}{(1-\mu_i) h_i E_i}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

Соответственно получим значения радиальных и окружных напряжений в  $i$ -м диске от нагрузки  $q_i$  по формуле

$$\sigma''_{r(i)} = \sigma''_{\theta(i)} = \frac{q_i}{h_i}. \quad (17)$$

При оценке напряжений, обусловленных краевым моментом  $m$ , воспользуемся гипотезой единой нормали для всех слоев (суперэлементов) плиты (рис. 1).

Следуя [6], расстояние  $z_0$  от нейтральной поверхности плиты до ее основания определится по формуле

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i \left[ 2 \sum_{k=1}^i h_k - h_i \right]}{2 \sum_{i=1}^n E_i h_i} . \quad (18)$$

Для изгибной жесткости всего пакета слоев в целом принимается значение

$$D = \frac{1}{3(1-\mu_0^2)} \sum_{i=1}^n E_i \left[ (z_0 - \sum_{k=0}^{i-1} h_k)^3 - (z_0 - \sum_{k=1}^i h_k)^3 \right] . \quad (19)$$

Здесь  $\mu_0$  – приведенный коэффициент Пуассона для всего пакета «слоев»

$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \bar{E}_i h_i}{\sum_{i=1}^n \bar{E}_i h_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (20)$$

где  $\bar{E}_i = \frac{E_i}{1-\mu_i^2}$  – эффективный модуль Юнга.

Согласно принятой гипотезе, напряжения, возникающие в нормальных сечениях плиты в слоях, расположенных на расстоянии  $z$  от нейтральной поверхности, определяются по формулам

$$\sigma_{r(i)}''' = \sigma_{\theta(i)}''' = \frac{E_i z}{1-\mu_i} \left( \frac{d\vartheta}{dr} + \mu_i \frac{\vartheta}{r} \right), \quad (21)$$

где угол наклона нормали  $\vartheta$  определится из решения задачи изгиба круглой плиты, нагруженной по контуру моментами  $m$

$$\vartheta = \frac{mr}{D(1+\mu_0)}. \quad (22)$$

На основании (22) формулы для напряжений (21) примут вид

$$\sigma_{r(i)}''' = \sigma_{\theta(i)}''' = \frac{m z E_i}{D(1-\mu_i^2)} \left[ \frac{1+\mu_i}{1+\mu_0} \right]. \quad (23)$$

Окончательно для свободной плиты (рис. 3, в) будем иметь  $\sigma_{r(i)} = \sigma_{\theta(i)} = \sigma'_{(i)} + \sigma''_{(i)} + \sigma'''_{(i)}$ , т.е.

$$\sigma_{r(i)} = \sigma_{\theta(i)} = -\frac{\alpha T E(z)}{1-\mu(z)} + \frac{q_i}{h_i} + \frac{m E_i z}{D(1-\mu_i)(1+\mu_0)}. \quad (24)$$

При наличии подвижной заделки (рис. 3, б), разрешающей радиальное напряжение, но закрепляющей поворот, в формуле (24) убирается последнее слагаемое. В случае жесткой заделки (рис. 3, а) в формуле (24) остается лишь первое слагаемое.

На основании полученных формул проведено исследование полей температур и напряжений круглой пластины, выполненной из пористого железа. Высота пластины  $h=0,05$  м,  $h \ll R$ . Пористость постоянна по высоте сечения  $P=0,3$ .

Взяты следующие охлаждающие агенты: вода, моторное масло, воздух.

Температуры при  $x=-\infty$  равны  $t_0$  воды и моторного масла  $20^\circ\text{C}$ ,  $t_0$  воздуха  $-10^\circ\text{C}$ . Температура горячей поверхности пластины  $t_2$  во всех случаях равна  $260^\circ\text{C}$ . Скорости движения охлаждающих агентов внутри пластины соответствуют  $v$  воды и моторного масла  $0,002$  м/с,  $v$  воздуха  $2$  м/с.

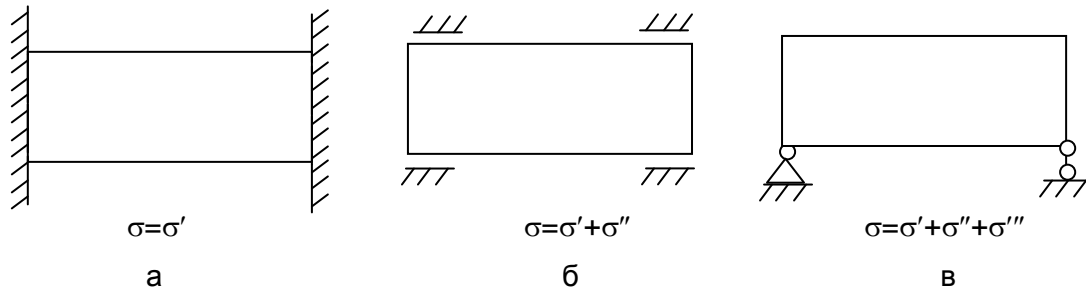


Рис. 3. Различные способы закрепления пластины

Изменение физических параметров по высоте для разных охлаждающих агентов изображено на рис. 4.

Влияние пористости на теплофизические характеристики показаны на рис. 5.

Рис. 6 отражает напряженное состояние при различных закреплениях пластины.

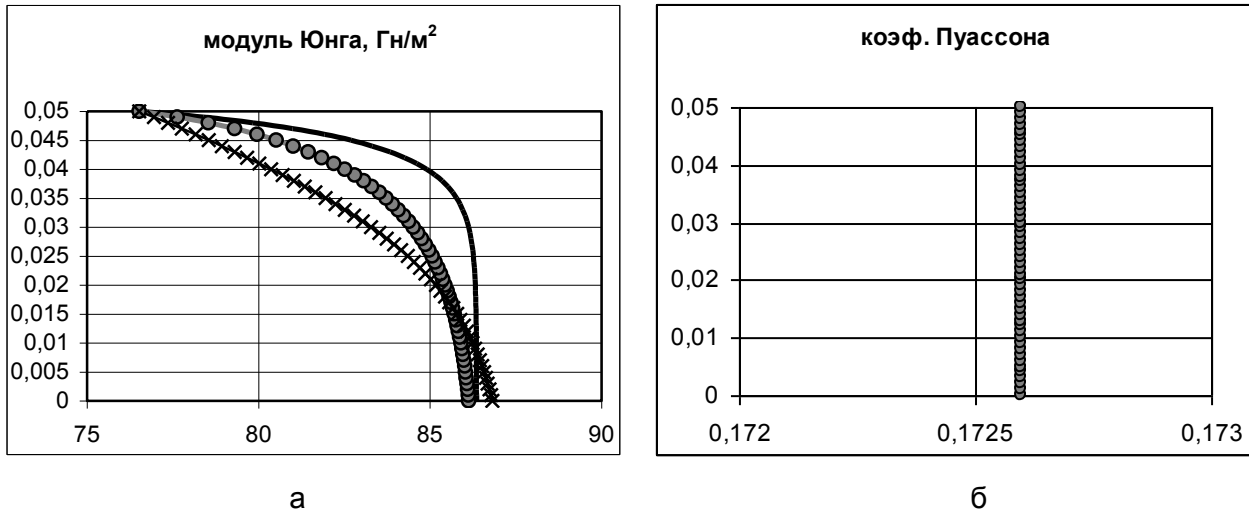


Рис. 4. Физические параметры: а – модуль Юнга (Гн/м<sup>2</sup>), б – коэффициент Пуассона ( — — вода, ○○○ – моторное масло, +++ – воздух)

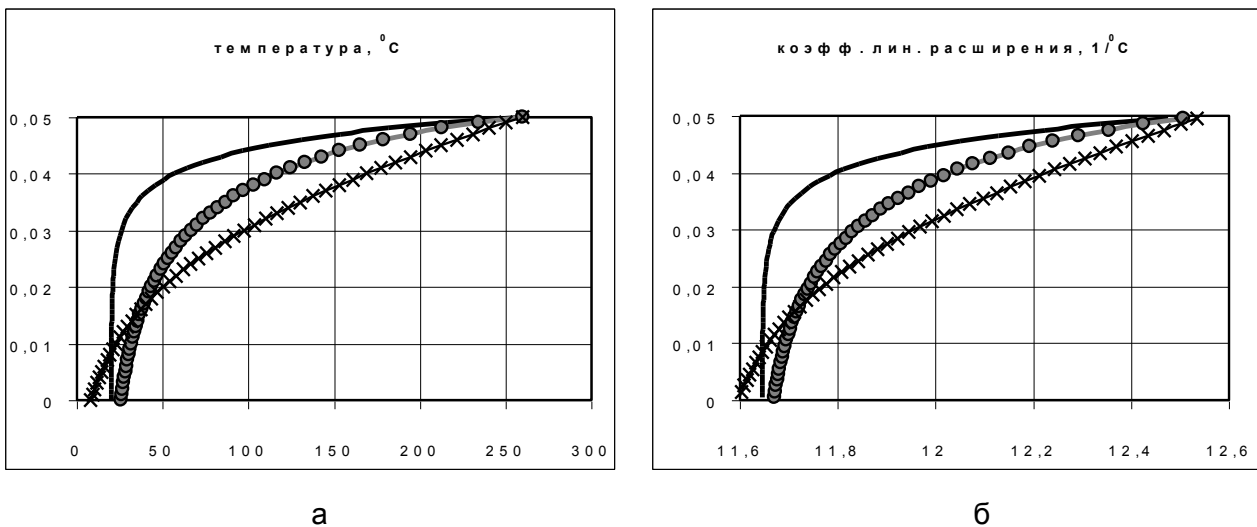


Рис. 5. Тепловые параметры: а – температура, б – коэффициент линейного расширения ( $\cdot 10^{-6} 1/K$ ) ( — — вода, ○○○ – моторное масло, +++ – воздух)

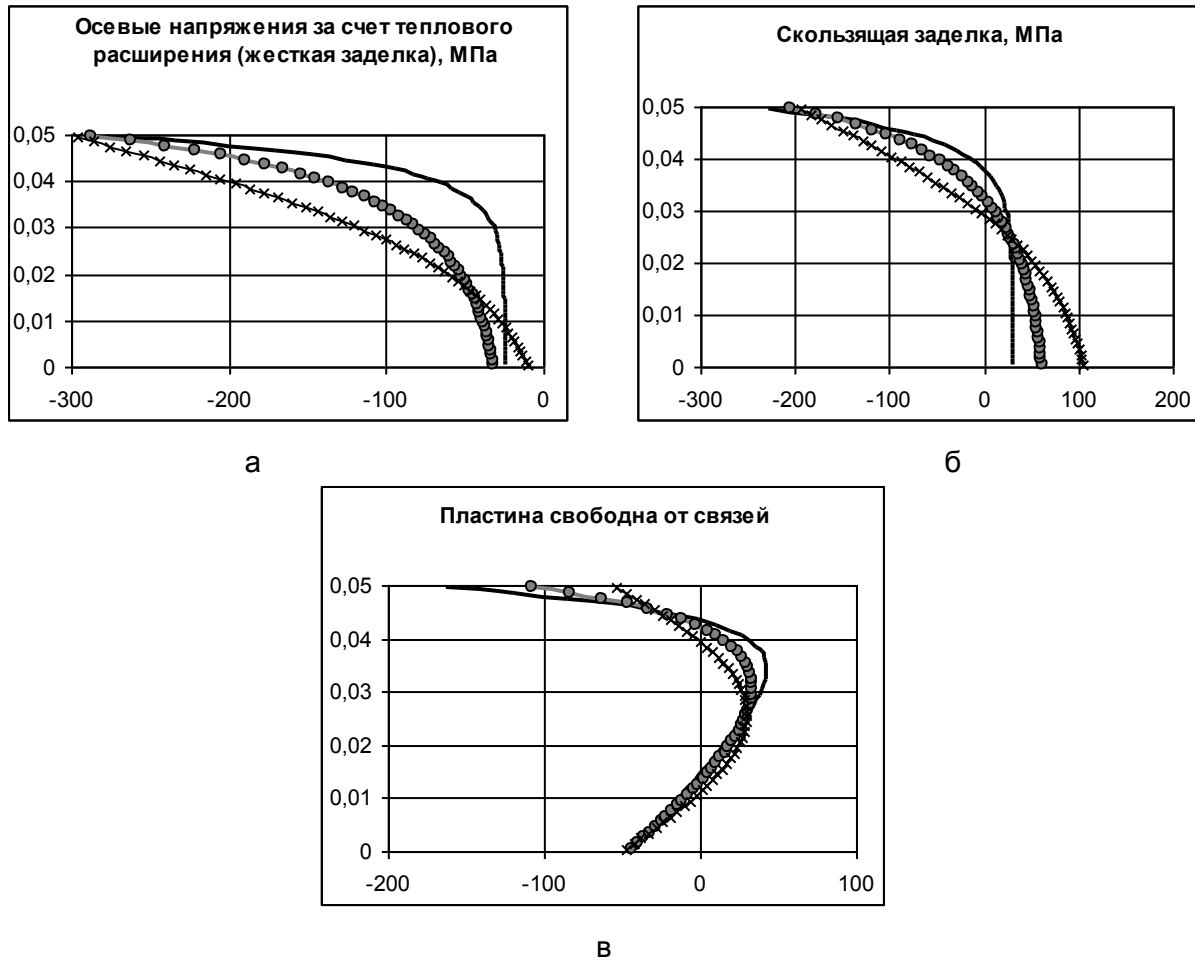


Рис. 6. Напряженное состояние пластины: а – в случае жесткого закрепления по контуру (МПа), б – в случае скользящей заделки (МПа), в – при шарнирно-подвижном опирании плиты (МПа)

Полученное решение позволяет оценить НДС пластины при различных условиях ее охлаждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Ф. Крейт, У. Блэк. М.: Мир, 1983. 512 с.
2. Кашталян Ю.А. Характеристики упругости материалов при высоких температурах / Ю.А. Кашталян. Киев: Наукова думка, 1970. 112 с.
3. Шнейдер П. Инженерные проблемы теплопроводности / П. Шнейдер. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. 479 с.
4. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов / В.С. Чиркин. М.: Физматгиз, 1959. 56 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. М.: Мир, 1979. 92 с.
6. Королев В.И. Упругопластические деформации оболочек / В.И. Королев. М.: Машиностроение, 1971. 304 с.

**Шляхов Станислав Михайлович** –

доктор физико-математических наук,  
 профессор кафедры «Механика деформируемого твердого тела»  
 Саратовского государственного технического университета

**Кривулина Эльвира Федоровна** –

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

## НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

---

УДК 621.922.02

Ю.С. Багайсков, В.М. Шумячер

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

*Рассматриваются условия обеспечения плотной упаковки абразивных зерен. Приведены зависимости для определения при этом объемного содержания основного абразива, наполнителя – абразива меньшей зернистости, величины этой зернистости. Обоснована эффективность формирования такой структуры для инструментов как средних номеров структур и степеней твердости, так и максимальной плотности.*

U.S. Bagaiskov, V.M. Shumatcher

### ABRASIVE TOOLS OF HIGH COMPACTNESS STRUCTURAL AND MEGHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT

*We considered the conditions of providing abrasive grains with compact packing. Dependences are given for defining here of the volume content of the main abrasive – of abrasive-filler of less grain, of this grain size. Efficiency of the formation of such a structure for tools both the medium numbers of structures and degrees of hardness and the maximum compactness is based.*

Абразивные инструменты низких структур (номер структуры менее 5) и, как правило, высокой степени твердости (более СТ) широко распространены в основном в силовых, обдирочных процессах шлифования, при обработке и правке самих абразивных инструментов, в некоторых видах профильного шлифования. Повышение требований к их параметрам является актуальной проблемой. Необходимо достигнуть высокой плотности и прочности материала инструмента при низкой степени пористости. Обязательное условие – обеспечение при этом высокой однородности распределения абразивных зерен.

Таким образом, задачей является получение максимальной плотности упаковки абразивных зерен в композиционном материале инструмента. Известен ряд моделей формы зерен, в т.ч. в виде эллипсоида, двух сдвинутых основаниями конусов и др. [1]. В настоящей работе примем для расчетов форму абразивного зерна в виде шаров [2]. Следует отметить, что именно для рассматриваемой характеристики инструмента такой подход наиболее близок к реальному, так как при максимальной плотности укладки вследствие некоторого раз-

рушения при прессовании форма зерен стремится к сферической, число контактов зерен между собой почти предельно. Максимальная плотность упаковки и одновременно равномерность распределения зерен – шаров одного диаметра (зернистости) может быть достигнута в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, с учетом объемного представления.

В такой схеме на 100% реализуется возможность контактов поверхностей зерен – шаров. При этом один шар контактирует с 14 другими, на поверхности – с 9. Возьмем блок четырех зерен, каждый из которых контактирует с тремя остальными. Из таких блоков, связанных между собой, состоит структура материала инструмента. Если связать центры этих четырех зерен, то получается равносторонняя пирамида (рис. 1, б).

Как известно, объем материала абразивного инструмента составляют объемы абразивных зерен, связки и пор. Определим, какая часть объема занимает абразивными зернами одинакового размера при плотной упаковке, какая остается на связку и поры.

Объем одного зерна, как шара:

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi d_1^3, \quad (1)$$

где  $d_1$  – диаметр абразивного зерна-шара.

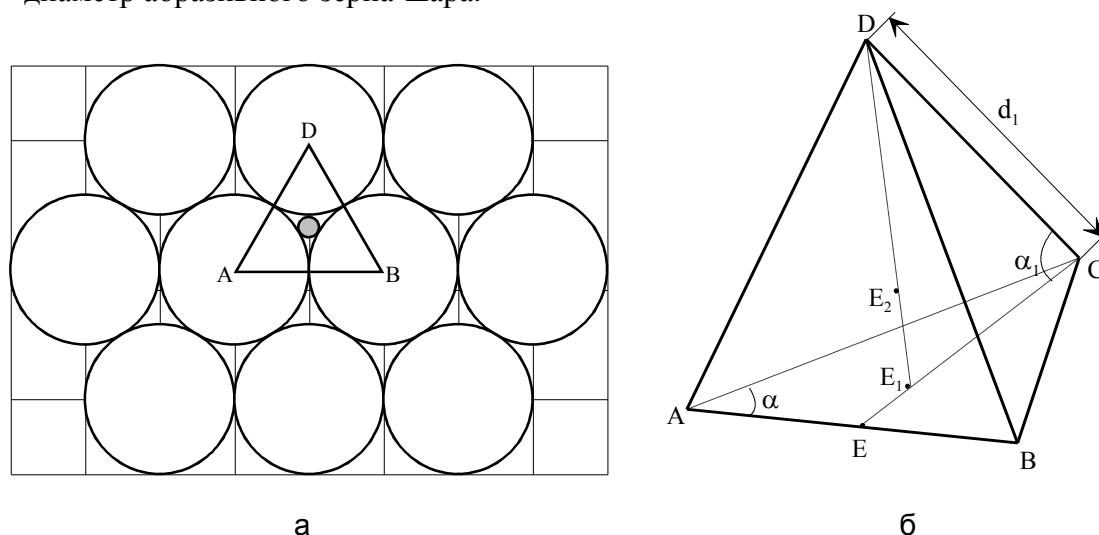


Рис. 1. Схема максимальной упаковки зерен-шаров: а – общая структура упаковки; б – блок-схема четырех зерен-шаров; А, Б, С и D – центры шаров

Объем всего инструмента, определяемый через межцентровые расстояния с учётом объёмного расположения:

$$V_0 = (d_1^3 \cdot \sin^2 \alpha_1) \cdot n_1, \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  – угол между ребром пирамиды и высотой боковой поверхности пирамиды ( $\angle DCE$  на рис. 1, б);  $n_1$  – количество зёрен в упаковке.

Угол  $\alpha_1$  можно определить следующим образом:

$$\cos \alpha_1 = CE_1 / CD, \quad (3)$$

где  $CE_1 = \frac{2}{3} CE$ , т.к.  $E_1$  – центр боковой стороны пирамиды;  $CD = d_1$ .

Размер  $CE$  определяется:

$$CE = d_1 \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha = 60^\circ$  – угол в основании боковых поверхностей равносторонней пирамиды.

Тогда можно определить:

$$\cos \alpha_1 = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0,5774; \alpha_1 = 54^\circ 35' .$$

При известных объеме инструмента и зернистости абразива количество зерен при плотной упаковке теоретически равно:

$$n_1 = \frac{V_0}{d_1^3 \sin^2 \alpha_1} . \quad (5)$$

Часть объема инструмента на связку и поры:

$$V_{св} + V_{пор} = V_0 - V_1 \cdot n_1 = V_0 - \frac{\Pi d_1^3}{6} n_1 = V_0 \left( 1 - \frac{\Pi}{6 \sin^2 \alpha_1} \right) . \quad (6)$$

Отсюда доля связки и пор в общем объеме:

$$\frac{V_{св} + V_{пор}}{V_0} = 1 - \frac{\Pi}{6 \sin^2 \alpha_1} . \quad (7)$$

Расчет показывает:  $(V_{св} + V_{пор}) / V_0 = 0,213$ .

Тогда содержание абразива в плотной упаковке:

$$V_{абр} = V_1 \cdot n_1 = 0,787 .$$

Показано, что части объема инструмента, занимаемые абразивным зерном, связкой и порами, постоянны по величине и не зависят от размера зерен.

Реальная структура абразивного инструмента с формой зерна, отличного от сферической, не имеет такой предельно плотной упаковки. Абразивный материал в свободно насыпанном состоянии характеризуется насыпным весом. Отношение насыпного веса к удельному, как для электрокорунда, так и для карбида кремния, равно 0,45. Эта величина характеризует объемное содержание абразива. Тогда на связку и поры приходится 0,55 объема, тогда как теоретически при плотной упаковке 0,213. Значит, поправка в 2,582 раза, что в переводе на линейный размер дает коэффициент  $K=1,37$ .

Для обеспечения максимально плотной структуры инструмента в имеющиеся ячейки (поровые пространства) между абразивными зернами можно вводить наполнитель – абразивные зерна другой зернистости (размера).

Исходя из теоретической структуры на рис. 1, количество зерен наполнителя можно определить по следующей формуле:

$$n_2 = (\sqrt[3]{n_1} - 1)^3 . \quad (8)$$

Центр единицы зерна наполнителя находится в геометрическом центре пирамиды (рис. 1, б), точка  $E_2$ .

Диаметр зерна наполнителя с учетом поправки на реальный инструмент по коэффициенту  $K=1,37$ :

$$d_2 = 2K \cdot \left( E_2 D - \frac{d_1}{2} \right) = K \cdot d_1 \cdot \left( \frac{3 \sin \alpha_1 - 2}{2} \right) = 0,3055 d_1 , \quad (9)$$

где  $E_2 D = \frac{3}{4} E_1 D$ ;  $E_1 D = d_1 \sin \alpha_1$ .

Объем всей суммы зерен наполнителя:

$$V_{нап} = \frac{\Pi}{6} d_2^3 \cdot n_2 = 0,015 \cdot d_1^3 \cdot \sqrt[3]{(n_1 - 1)^3} .$$



Как доля от объема всего абразивного материала оптимальное объемное содержание наполнителя, а при равном удельном весе и по массе, составляет примерно:

$$\frac{V_{нан}}{V_{абр}} = 0,0285 . \quad (10)$$

Эта величина соответствует примерно 3% наполнителя от содержания основного абразива.

Полученные зависимости на основе представления плотной упаковки абразивных зерен в сферической форме с поправкой на насыпную характеристику позволяют рекомендовать определенные значения размеров и объемного содержания наполнителя, абразивного зерна меньшей зернистости, для инструментов от средних структур и твердости до высокой плотности.

Введение наполнителя – абразивных зерен меньшей зернистости – приводит к увеличению числа контактов зерен между собой в условиях равномерной структуры теоретически с 14 до 26. В связи с этим, при одном и том же содержании связок достигается некоторое увеличение твердости (в пределах одной степени) и в целом механической прочности инструмента. При шлифовании такой инструмент будет давать больший съём металла при уменьшенном износе и таким образом обеспечивать более высокую стойкость между правками.

В частности, для шлифкругов 1 50×40×16 25A25 CM2 7 K увеличение стойкости составляет 20 – 30 %.

Для шлифкругов самой высокой твердости (ВТ – ЧТ) введение наполнителя с расчетными характеристиками позволяет добиться при формовании заданной твердости при меньших нагрузках, получить равномерную качественную структуру без перепрессовки, исключить или уменьшить технологический брак, обеспечить эффективность шлифования.

Кроме того, за счет увеличения числа контактов абразивных зерен и количества мостиков связки возрастает механическая прочность композиционного материала абразивных инструментов. Это обосновывает введение наполнителя в рецептуру инструментов, предназначенных для рабочих скоростей 50-60 м/с и выше.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сиротин В.П. Исследование влияния строения и конструкции кругов на их режущую способность и качество поверхностного слоя шлифуемых деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Сиротин. Одесса, 1980. 17 с.
2. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов / А.К. Байкалов. Киев: Наукова думка, 1978. 207 с.

### **Багайсков Юрий Сергеевич –**

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

### **Шумячер Вячеслав Михайлович –**

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

И.И. Любимов, А.Ф. Михайлов, А.М. Сычѳв

### НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОЛѳСНЫХ МАШИН С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ПОДВЕСКИ

*Рассматриваются установившиеся периодические колебания поддрессоренной массы транспортных колѳсных машин, в подвесках которых используются упругие элементы с различной нелинейностью рабочей характеристики. Приводятся расчѳтные амплитудные частотные характеристики вертикальных перемещений поддрессоренной массы при симметричной и несимметричной характеристиках упругого элемента и различном сопротивлении амортизаторов подвески.*

I.I. Ljubimov, A.F. Mihajlov, A.M. Sychev

### LOW-FREQUENCY FLUCTUATIONS ON WHEEL MACHINES WITH THE NONLINEAR CHARACTERISTIC OF A SUSPENSION

*The established harmonious fluctuations sprung mass of transport wheel machines in which suspension elastic elements with various nonlinearity of performance data are used are considered here. Settlement peak frequency characteristics of vertical moving sprung mass are resulted at symmetric and asymmetrical characteristics of an elastic element, and also at various resistances of shock-absorbers of a suspension.*

Известно, что применение в системах поддрессоривания упругих элементов с нелинейными характеристиками существенно улучшает плавность хода колесных машин. Решение нелинейных задач динамики, как правило, связано с большими трудностями, а полученные решения нелинейного уравнения общего вида в аналитической форме вообще неизвестны [1]. В технической литературе мало публикуется работ по расчету нелинейных подвесок. Сложности, связанные с нахождением аналитического решения, привели к тому, что нелинейные колебательные системы поддрессоривания колесных машин обычно сознательно упрощают, путем приведения к более простым линейным схемам, теория колебаний которых хорошо разработана. Однако такая «линейная трактовка часто приводит к существенным ошибкам не только количественного, но и качественного характера» [1].

Предлагается основанный на асимптотическом методе теории нелинейных колебаний [1,2] расчет низкочастотных гармонических колебаний колесной машины, в подвеске которой используются нелинейные упругие элементы. В качестве упругого элемента рассматривается пневмобаллон, восстанавливающая сила которого аппроксимировалась нелинейными «жесткими» характеристиками: симметричной

$$F_1(Z) = a_1 \cdot Z + a_3 \cdot Z^3 \quad (1)$$

и несимметричной

$$F_2(Z) = b_1 \cdot Z + b_2 \cdot Z^2 + b_3 \cdot Z^3 \quad (2)$$

Здесь  $Z$  – деформация упругих элементов подвески;  $a_i, b_i$  – коэффициенты аппроксимирующих функций.

При расчете низкочастотных колебаний поддрессоренной массы влиянием массы неподдрессоренных частей можно пренебречь, поэтому уравнение движения системы имеет вид

$$M \cdot \ddot{Z} + K \cdot \dot{Z} + F(Z) = B \cdot \cos \omega t . \quad (3)$$

Здесь  $M$  – поддрессоренная масса колесной машины;  $K$  – коэффициент сопротивления амортизаторов подвески (коэффициент вязкого трения);  $F(Z)$  – упругая восстанавливающая сила;  $B \cdot \cos \omega t$  – возмущающая сила, обусловленная воздействием неровностей дороги.

При несимметричной упругой характеристике  $F_2(Z)$  уравнение движения принимает вид:

$$M \cdot \ddot{Z} + K \cdot \dot{Z} + b_1 \cdot Z + b_2 \cdot Z^2 + b_3 \cdot Z^3 = B \cdot \cos \omega t . \quad (4)$$

В этом случае приближенное решение уравнения (4) следует искать в форме

$$Z = Z_o + A_1 \cdot \sin \omega t + B_1 \cdot \cos \omega t + A_2 \cdot \sin 2\omega t + B_2 \cdot \cos 2\omega t . \quad (5)$$

Для уменьшения трудностей алгебраического характера и упрощения записей преобразуем несимметричную упругую характеристику  $F_2(Z)$  в симметричную относительно новой переменной  $Z_1 = Z + b_2/3b_3$  [2]:

$$F_3(Z_1) = c_1 \cdot Z_1 + c_3 \cdot Z_1^3 . \quad (6)$$

В результате дифференциальное уравнение (4) запишется:

$$M \cdot \ddot{Z}_1 + K \cdot \dot{Z}_1 + c_1 \cdot Z_1 + c_3 \cdot Z_1^3 = B \cdot \cos \omega t + B_o , \quad (7)$$

где  $c_1 = 3b_3/(b_2/3b_3)^2$ ;  $c_3 = b_3$ ;  $B_o = b_3(b_2/3b_3)^3 - b_2(b_2/3b_3)^2 + b_1(b_2/3b_3)$ .

Динамическая система, движение которой описывается уравнением (7), является несимметричной из-за несимметричности внешней силы, содержащей постоянную составляющую  $B_o$ . При упругой характеристике  $F_3(Z_1)$  четные коэффициенты разложения (5) в ряд Фурье перемещения  $Z$  будут равны нулю, поэтому решение (7) ищем в виде

$$Z_1 = Z_o + A_1 \cdot \sin \omega t + B_1 \cdot \cos \omega t . \quad (8)$$

Для установившихся колебаний решение дифференциального уравнения (7) находим, используя метод гармонического баланса [1,2]. Подставляя (8) в (7) и приравнявая к нулю члены, содержащие функции синуса и косинуса, после преобразований получаем

$$(\omega^2 - \omega_x^2 + K^2 \cdot \omega^2) \cdot Z_a = B^2 , \quad (9)$$

где  $Z_a$  и  $\omega_x$  – амплитуда и собственная частота колебаний поддрессоренной массы. В отличие от линейных, в нелинейных колебательных системах собственная частота не является только параметром системы, а зависит и от амплитуды колебаний. Зависимость  $\omega_x = f(Z_a)$  называется «скелетной» кривой и является важной характеристикой, аналитическое выражение которой для нелинейной системы (7) имеет вид:

$$\omega_x = \sqrt{c_1 + 3c_3 \cdot Z_o^2 - 0,75c_3 \cdot Z_a^2} . \quad (10)$$

Здесь  $Z_o$  – смещение центра колебаний системы, величина которого зависит как от параметров характеристики  $F_3(Z_1)$ , так и от амплитуды колебаний  $Z_a$ :

$$c_1 \cdot Z_o + 1,5c_1 \cdot Z_o \cdot Z_a^2 + c_3 \cdot Z_o^3 = B_o . \quad (11)$$

Уравнение (9) дает зависимость возможных амплитуд  $Z_a$  колебаний поддрессоренной массы для каждого значения частоты  $\omega$  возмущающего воздействия на систему:

$$\omega^2 = \sqrt{\omega_x^2 - 0,5K^2 \pm \sqrt{(\omega_x^2 - 0,5K^2)^2 + (B/Z_a)^2 + E}} . \quad (12)$$

Здесь  $E$  – функция, связывающая параметры упругой характеристики, амплитуду  $Z_a$  перемещения поддрессоренной массы и величину смещения  $Z_o$  центра её колебаний:

$$E = -c_1^2 - 6c_1 \cdot c_3 \cdot Z_o^2 - 1,5c_1 \cdot c_3 \cdot Z_a^2 + 9c_3^2 \cdot Z_o^4 + 4,5c_3^2 \cdot Z_o^2 \cdot Z_a^2 + (9/16)c_3^2 \cdot Z_a^4 . \quad (13)$$

При симметричной упругой характеристике  $F_1(Z) = a_1 \cdot Z + a_3 \cdot Z^3$  центр колебания системы совпадает с положением статического равновесия, поэтому  $Z_o=0$ , что упрощает расчеты. В этом случае уравнения «скелетной» и амплитудной кривых принимают вид:

$$\omega_x = a_1 + (3/4)a_3 \cdot Z_a ; \quad (14)$$

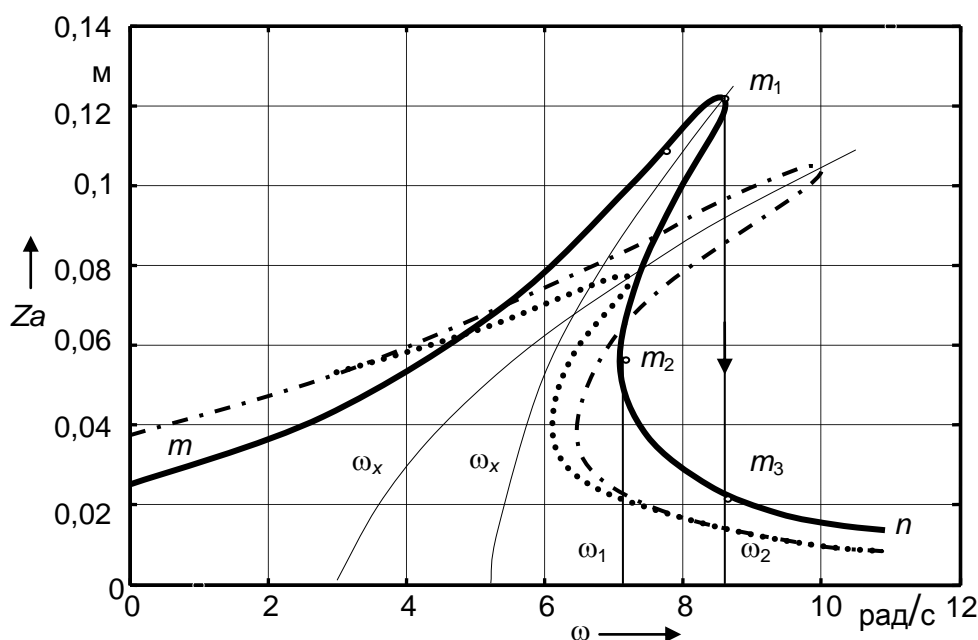
$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 - 0,5K^2} \pm \sqrt{(\omega_x^2 - 0,5K^2)^2 + (B/Z_a)^2 + D} , \quad (15)$$

где  $D = -a_1^2 + 1,5a_1 \cdot a_3 \cdot Z_a^2 + (9/16)a_3^2 \cdot Z_a^4$ .

На рисунке приведены расчетные графики «скелетных» кривых и амплитудно-частотных характеристик вертикальных перемещений массы М, подрессоренной на упругих элементах с симметричной и несимметричной характеристиками  $F_1(Z)=19,96Z+19146Z^3$  и  $F_2(Z)=70,12Z+457,1Z^2+8342,8Z^3$ , которыми аппроксимировалась экспериментальная упругая характеристика пневмоэлементов рукавного типа при давлении воздуха в положении статического равновесия, равном 0,592 МПа (при  $M=8310$  кг).

Из представленных графиков видно, что по мере увеличения частоты возмущающего воздействия происходит характерное для «жестких» упругих систем увеличение амплитуды колебаний, причем при несимметричной упругой характеристике наблюдается более резкий рост амплитуды колебаний, и смещение зоны резонанса в сторону меньших частот возмущающего воздействия. С увеличением сопротивления амортизатора резонансная частота и амплитуда колебаний подрессоренной массы уменьшаются.

Следует отметить, что в отличие от линейных подвесок, в нелинейных системах колебания подрессоренной массы в определенном диапазоне частот могут совершаться с различными амплитудами.



Амплитудно-частотные характеристики перемещений подрессоренной массы автобуса с различной нелинейностью рабочей характеристики упругих элементов подвески:

- · — · — симметричная характеристика  $F_1(Z)$  при малом  $K=8$  кН·с/м
- и ··· — при повышенном демпфировании  $K=16$  кН·с/м; — — — — несимметричная характеристика  $F_2(Z)$  при  $K=8$  кН·с/м; — — — — «скелетные» кривые

При медленном увеличении частоты  $\omega$  возмущающего воздействия в интервале частот  $\omega_1 < \omega < \omega_2$  в системе с несимметричной упругой характеристикой  $F_2(Z)$  амплитуды колебаний подрессоренной массы будут изменяться по линии  $mm_1$ . В точке  $m_1$  произойдет перескок (переход из точки  $m_1$  в точку  $m_3$ ) с верхней ветви амплитудной кривой на нижнюю и при дальнейшем увеличении частоты  $\omega$  амплитуды колебаний уменьшаются по линии  $m_3n$ . Стационарные колебания с амплитудами, соответствующими ветви  $m_1m_2$ , являются неустойчивыми и в практике не наблюдаются [3]. При движении по неровным дорогам подрессоренная масса колесных машин испытывает непрерывные толчки, сопровождающиеся изменением скорости движения и частоты колебаний, поэтому резонансные режимы колебаний нелинейно подрессоренной массы практически не устанавливаются. Эта особенность динамики нелинейных систем позволяет, используя в подвеске колесных машин упругие элементы с нелинейной рабочей характеристикой, существенно улучшить плавность хода при движении по дорогам невысокого качества.

Рассмотренная методика позволяет проводить аналитические исследования низкочастотных колебаний колесных машин с нелинейной подвеской с целью оптимизации ее упругой характеристики из условия обеспечения требуемой плавности хода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов Н.И. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.И. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. М.: Наука, 1974. 503 с.
2. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах / Т. Хаяси. М.: Мир, 1968. 432 с.
3. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. М.: Высшая школа, 1972. 416 с.

#### **Любимов Иван Иванович** –

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Автомобили и двигатели»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Михайлов Александр Фёдорович** –

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

#### **Сычёв Александр Михайлович** –

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

УДК 624.131

**И.Г. Мартюченко**

### **БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ С ТЯГОВЫМ ВИНТОВЫМ НАКОНЕЧНИКОМ**

*Приведены результаты исследований новой конструкции бурового инструмента, созданного на базе тягового винтового рабочего органа. Построена математическая модель, отражающая влияние геометрических параметров винтового рабочего органа на его работоспособность в прочных и мерзлых грунтах.*

## DRILLING TOOL WITH DRAFT SPIRAL TIP

*This article describes the research results of drilling tool of new construction, developed on the base of draft spiral tool. The author has elaborated the mathematical model, simulating the effect of spiral tool's geometric parameters on its efficiency in solid and frozen grounds.*

Для производства работ в стесненных условиях строительства, связанных с устройством скважин различного технологического назначения, наиболее широкое использование находят пневмопробойные устройства. Однако их применение вблизи имеющихся инженерных сооружений не всегда возможно ввиду наличия динамических нагрузок, которые могут вредно сказаться на этих сооружениях. Кроме того, применение такого вида оборудования невозможно на грунтах повышенной прочности и, в первую очередь, на мерзлых грунтах.

Данную проблему позволяет решить новая конструкция бурового инструмента, способная производить бурение скважин в прочных и мерзлых грунтах без динамического воздействия [1, 2].

Устройство винтового бура новой конструкции представлено на рис.1. Винтовой бур состоит из заходной части, служащей тяговым элементом рабочего органа, и скважинообразующей винтовой лопасти, выполненной с постоянным приращением шага, относительно шага заходной части лопасти. Кроме изменяющегося шага, скалывающая часть винтовой лопасти имеет изменяющийся угол наклона образующей её верхней поверхности с  $45^\circ$  в месте перехода с заходного участка, до  $90^\circ$  в месте состыковки с ребордой шнека.

Указанные особенности конструкции позволяют реализовать принципиально новую схему процесса образования скважины в прочных грунтах. Принцип работы винтового бура состоит в следующем. Заходная тяговая часть долота обеспечивает внедрение бурового инструмента в забой скважины без приложения напорного усилия, рабочая часть, в виде винтовой лопасти переменного шага и профиля, осуществляет разрушение грунта с образованием ствола скважины.

Для эффективной работы винтового бура необходимо выполнение условия, при котором заходная часть бурового инструмента способна завинчиваться в грунт и создавать тяговое усилие.

Данное условие обеспечивается при балансе сил сопротивления внедрению заходного участка рабочего органа ( $T$ ) в грунт и вертикальных составляющих сил сопротивления грунта срезу по поверхности, граничащей с кромкой винтовой лопасти ( $P_{z\text{ срез}}$ ):

$$T = |\sum P_{iz} + W| \leq P_{z\text{ срез}} , \quad (1)$$

где  $\sum P_{iz}$  – сумма составляющих сил сопротивления грунта вдавливанию, направленные вдоль оси винтового бура;  $W$  – силы внешней нагрузки, приложенные к винтовому рабочему органу.

Сила сопротивления грунта срезу, с учетом геометрии поверхности сдвига и на основе известной зависимости Кулона  $\tau = c + P_{сж} \cdot \text{tg } \phi$ , может быть выражена в следующем виде:

$$P_{\text{срез}} = c \cdot S_1 + (P_{сж1}) \text{tg } \phi , \quad (2)$$

где  $S_1$  – площадь поверхности граничного конуса;  $c$  – сила внутреннего сцепления грунта;  $\phi$  – угол внутреннего трения грунта;  $P_{сж1}$  – силы сжатия грунта в зоне сдвиговых деформаций.

С учетом всех сил, приложенных к поверхности конического участка винтовой лопасти (рис. 2), выражение для сил среза грунта лопастью будет иметь вид:

$$P_{\text{срезал}} = c \cdot S_1 + [\sum P_{x1} + T \cdot \text{tg}(90 - \alpha) \cdot \cos \beta] \cdot \text{tg } \phi , \quad (3)$$

где  $P_{x1}$  – сумма сил, действующих в направлении нормали к поверхности среза.

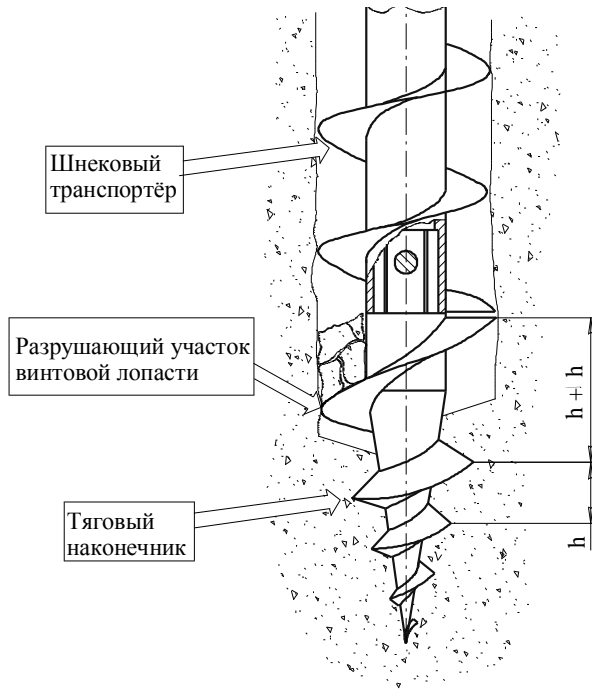


Рис. 1. Конструкция винтового бурового инструмента с тяговым элементом

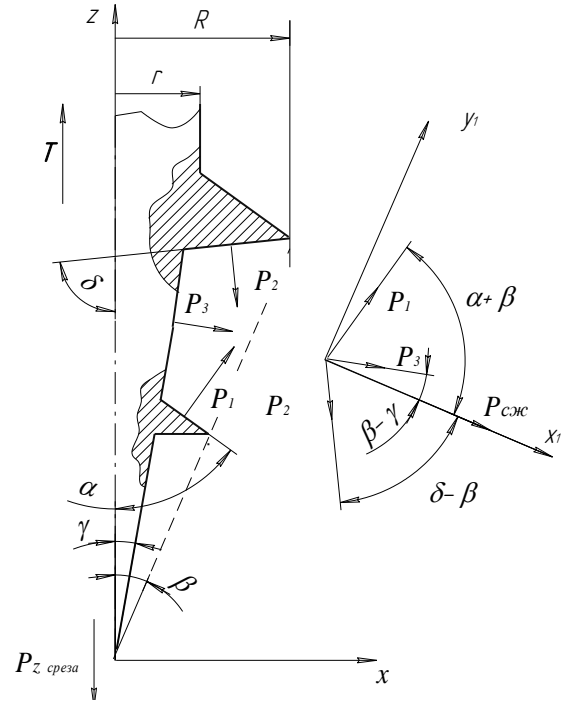


Рис. 2. Схема сил сжатия грунта элементами винтового рабочего органа

Условие предельного равновесия сил сопротивления грунта срезу и приложенной нагрузки, с учетом необходимых подстановок, запишется:

$$T + W \leq c \cdot S_1 + [P_{сж1} + (T + W) \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha) \cdot \cos \beta] \cdot \operatorname{tg} \phi . \quad (4)$$

Исходя из данного выражения, тяговая способность конического участка наконечника ( $W_1$ ) будет определяться как:

$$W_1 \leq \left[ \frac{S_1 \cdot c + P_{сж1} \cdot \operatorname{tg} \phi}{1 - \operatorname{tg}(90 - \alpha) \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \phi} \right] - T_1 . \quad (5)$$

На коническом участке винтового рабочего органа величина напряжения сжатия грунта на поверхности среза ( $P_{сж1}$ ) определяется суммарным воздействием сил сжатия ( $P_1, P_2, P_3$ ) в направлении нормали (ось  $OX_1$ ) к образующей граничного конуса (рис. 2):

$$P_{сж1} = |P_{11} + P_{21} + P_{31}|,$$

где  $P_{11}, P_{21}, P_{31}$  – проекции на ось  $OX_1$  сил давления на грунт, соответственно, верхней, нижней поверхностями лопасти и коническим наконечником.

Величина сил сжатия грунта вдавливаемым телом рабочего органа, согласно зависимости Бернштейна – Летошнева [3], является функцией величины линейной деформации грунта:

$$\sigma_{\Delta} = p_0 \left( \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\mu},$$

где  $\frac{\Delta}{\Delta_0}$  – приращение величины линейной деформации грунта.

В соответствии с этим, векторы элементарных сил сжатия грунта бесконечно малыми площадками, принадлежащими верхней, нижней поверхностям винтовой заходной лопасти и поверхности сердечника, будут определяться как:

$$\begin{aligned} d\overline{P}_1 &= \overline{p}_1 \cdot dS_1 = p_0 \cdot \Delta_1^\mu \cdot dS_1; & d\overline{P}_2 &= \overline{p}_2 \cdot dS_2 = p_0 \cdot \Delta_2^\mu \cdot dS_2; \\ d\overline{P}_3 &= \overline{p}_3 \cdot dS_3 = p_0 \cdot \Delta_3^\mu \cdot dS_3, \end{aligned}$$

где  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  – соответственно величины деформации грунта элементарными площадками  $dS_1, dS_2$  и  $dS_3$ .

Линейная деформация контактной зоны грунта при вращении винтового наконечника происходит за счет того, что любая точка поверхности лопасти имеет перемещение в радиальном направлении вдоль оси ОХ, при приращении радиуса-вектора, и увеличения ее толщины.

Тогда деформация грунта в некоторой точке, контактирующей с лопастью, соответствующей повороту на угол  $\psi$ , будет равна:

для верхней поверхности винтовой лопасти

$$\Delta_1 = \int_0^\psi d\Delta_1 = \int_0^\psi r \cdot \cos \alpha \cdot d\psi = a \cdot \psi^2 \cdot \cos \alpha,$$

соответственно для нижней поверхности

$$\Delta_2 = \int_0^\psi d\Delta_2 = \int_0^\psi r \cdot \cos \delta \cdot d\psi = a \cdot \psi^2 \cdot \cos \delta.$$

Деформация в некоторой точке грунта, контактирующего с поверхностью конического наконечника, будет:

$$\Delta_3 = \int_0^\psi d\Delta_3 = \int_0^\psi t_0 \cdot \sin \gamma \cdot d\psi = t_0 \cdot \sin \gamma \cdot \psi.$$

На основе данных зависимостей и с учетом влияния угла трения рабочего органа о грунт, для каждой поверхности винтового наконечника составляющие сил сжатия грунта, лежащие в плоскости оси вращения винта (ХОZ), будут иметь выражения:

для верхней поверхности лопасти

$$\begin{aligned} P_1 &= \int_{a_1 0}^{a_2 \psi} p_0 \frac{a^{2+\mu} \cdot \psi^{4+\mu}}{\sqrt{\cos^2 \omega_1 - \cos^2 \alpha}} \left( \frac{\cos \alpha}{\cos \xi} \right)^\mu da \cdot d\psi = \\ &= p_0 \frac{(a_2^{3+\mu} - a_1^{3+\mu}) \cdot \psi^{5+\mu}}{(3+\mu)(5+\mu) \sqrt{\cos^2 \omega_1 - \cos^2 \alpha}} \left( \frac{\cos \alpha}{\cos \xi} \right)^\mu; \end{aligned} \quad (6)$$

для нижней поверхности винтовой лопасти

$$\begin{aligned} P_2 &= \int_{a_1 0}^{a_2 \psi} p_0 \frac{a^{2+\mu} \cdot \psi^{4+\mu}}{\sqrt{\cos^2 \omega_2 - \cos^2 \delta}} \left( \frac{\cos \delta}{\cos \xi} \right)^\mu da \cdot d\psi = \\ &= p_0 \frac{(a_2^{3+\mu} - a_1^{3+\mu}) \cdot \psi^{5+\mu}}{(3+\mu)(5+\mu) \sqrt{\cos^2 \omega_2 - \cos^2 \delta}} \left( \frac{\cos \delta}{\cos \xi} \right)^\mu; \end{aligned} \quad (7)$$

для конического наконечника

$$\begin{aligned} P_3 &= \int_{a_1 0}^{a_2 \psi} p_0 \left( \frac{\sin \gamma}{\cos \xi} \right)^\mu \frac{a \cdot (t_0 \cdot \psi^2)^\mu}{\sin \gamma} da \cdot d\psi = \\ &= p_0 \left( \frac{\sin \gamma}{\cos \xi} \right)^\mu \frac{a^2 \cdot (t_0 \cdot \psi^3)^\mu}{2(3+\mu) \cdot \sin \gamma}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – углы подъема винтовых линий, соответственно верхней и нижней поверхностей винтовой лопасти.

С учетом зависимостей (6), (7), (8) и влияния изменения напряжения в толще грунта от точки приложения нагрузки, а также принимая во внимание углы наклона действующих сил к нормали образующей поверхности конуса отрыва грунта, получим функцию тяговой способности конического участка винтового наконечника:



$$W_1 \leq \left[ \frac{S_1(c + \sigma_{сж1} \cdot \operatorname{tg} \phi)}{1 - \operatorname{tg}(90 - \alpha) \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \phi} \right] - \frac{|P_2 \cdot \sin \delta + P_3 \cdot \sin \gamma - P_1 \sin \alpha|}{1 + \left[ \frac{3(a_1^2 - a_2^2)}{(a_1 - a_2)^2 \cdot n_1^3} \right]}, \quad (9)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – параметры направляющих винтовых линий верхней и нижней поверхностей винтовой лопасти;  $n_1$  – количество витков винтовой лопасти на коническом участке винтового инструмента.

Полученная зависимость (9) вместе с выражениями (6), (7), (8) отражает влияние геометрических параметров винтового рабочего органа на способность его погружения в грунт и позволяет определять тяговую способность винтового рабочего органа, с учетом влияния геометрических параметров и свойств грунта.

Анализ полученных зависимостей показал, что для обеспечения эффективной работы винтового рабочего органа в прочных и мерзлых грунтах определяющим является обеспечение условий, способствующих росту напряжений сжатия грунта в зоне сдвиговых деформаций. Созданию таких условий способствуют сочетания геометрических параметров винтового наконечника бурового инструмента. К ним относятся:

- углы наклона образующих верхней ( $\alpha$ ) и нижней ( $\delta$ ) поверхностей винтовой лопасти;
- соотношение шага и радиуса винтовой лопасти  $\left(\frac{h}{R}\right)$ ;
- соотношение наружного и внутреннего радиусов винтовой лопасти  $\left(\frac{R}{r}\right)$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1710689 (СССР), МКИ<sup>3</sup> Е 21 В 7/24, 10/44. Рабочий орган для разработки грунтов / И.Г. Мартюченко, М.И. Стрелюхин, А.А. Цымбалов // Б.И. 1992. № 5.
2. Мартюченко И.Г. Повышение эффективности бурения скважин в мерзлых грунтах / И.Г. Мартюченко, А.С. Байкалов // Механизация строительства. 1996. № 5. С. 23.
3. Бабков В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов: учеб. пособие для авто-моб.-дор. спец. вузов / В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1986. 239 с.

#### **Мартюченко Игорь Гаврилович** –

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.865(075)

**В.А. Назарьева, А.Н. Васин, П.Ю. Бочкарев**

#### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

*Рассматривается процесс разработки программного продукта для определения режимов резания при шлифовании. Показаны особенности определения режимов обработки в системе автоматизированного проектирования технологических процессов. Представлены алгоритм процедуры проектирования и соответствующие блок-схемы.*

V.A. Nazarjeva, A.N. Vasin, P.J. Bochkarev

## CUTTING AT GRINDING DEFINITION MODES SOFTWARE DEVELOPMENT

*In work process of development of software product – modes of cutting is submitted at grinding. Features of definition of modes of processing in system of the automated designing technological processes are shown in this article. The algorithm of procedure of designing and corresponding block diagrams is submitted here.*

В основе процесса управления технологической подготовкой производства лежит анализ совокупности данных, характеризующих производство. Это, по сути, структурированный комплекс взаимосвязанных технических, экономических и организационных данных, предназначенный для представления в интерактивном режиме справочной и описательной информации о состоянии конкретной производственной системы. Поэтому в ряду особо важных проблем, связанных с эффективным функционированием производственной системы, стоят проблемы проектирования информационного обеспечения системы технологической подготовки производства. Эффективная работа производственной системы, заключающаяся в высоком качестве выпускаемых изделий, надежности функционирования системы, ресурсе её деятельности, оптимальных сроках исполнения, реакции реагирования на изменение производственной ситуации и др., напрямую связана с качеством подготовки информационного обеспечения системы ТПП. Поэтому, для предприятий, работающих над автоматизацией ТПП, одной из серьёзных проблем при разработке САПР ТП, является создание программного продукта, обеспечивающего определение таких важнейших составляющих операционного технологического процесса, как расчет потребной величины припуска на обработку и операционных технологических размеров, определение рациональных режимов резания на механическую обработку и расчет технически обоснованной нормы времени на операцию. Создание САПР ТП без любой из этих составляющих полностью теряет смысл.

Проектирование технологических операций является наиболее трудоемким этапом в системе планирования ТП. Алгоритм проектирования операционных ТП подробно описан в литературе [3, 4] и представляет собой довольно-таки сложную систему взаимосвязанных проектных процедур, ориентированных на возможность глубокой формализации проектных действий, обеспечивающих качественную разработку ТП. При этом одной из важнейших подсистем планирования технологических операций является подсистема, отвечающая за рациональный выбор режимов обработки внутри каждой механообрабатывающей операции. Эта подсистема является стволочной, так как некорректная ее работа может привести к изготовлению некачественной и даже появлению дефектной продукции, а это ведет к сбою функционирования всей системы в целом. Поэтому разработка программного продукта, связанного с определением режимов резания при механообработке в системе САПР ТП, является весьма актуальной задачей.

Рассмотрим решение этой задачи на примере шлифования. Определение режимов резания заготовок при абразивной обработке шлифованием имеет целый ряд особенностей, затрудняющих автоматизацию этого процесса.

Основными и наиболее часто встречающимися способами шлифования являются [1]:

- 1) наружное круглое (с продольной или осевой подачей; с поперечной подачей; бесцентровое);
- 2) внутреннее (при вращающейся детали с продольной или поперечной подачами; бесцентровое; при неподвижной детали – планетарное);
- 3) плоское (периферией; торцом круга);
- 4) специальное (резьбовое, фасонное и т.д.).

Чаще всего процесс шлифования осуществляется посредством трех основных движений: вращения шлифовального круга, вращения или перемещения (кругового или возвратно-поступательного) детали и движения подачи, осуществляемого кругом или обрабатываемой деталью. Таким образом, к режимам резания, определяемым при обработке заготовок шлифованием, относятся – скорость вращения рабочего круга, скорость вращения обрабатываемой детали, глубина резания, продольная и поперечная подачи. Основной задачей, стоящей перед технологом при выборе режимов обработки, является назначение таких режимов, которые бы обеспечивали получение деталей заданной точности и качества при наименьших затратах труда. При решении этой задачи необходимо соблюдать некоторую последовательность действий. Например, при круглом шлифовании с продольной подачей, последовательность определения режимов следующая:

- 1) выбор скорости вращения детали;
- 2) выбор продольной подачи;
- 3) выбор поперечной подачи.

Такой порядок является не случайным. На стойкость шлифовального круга и мощность, потребную на резание, все подачи влияют примерно одинаково, а вот на температуру шлифования – по-разному [2]. С увеличением окружной скорости вращения обрабатываемой заготовки и величины продольной подачи сокращается время воздействия на обрабатываемую поверхность заготовки источника тепла, что приводит к уменьшению температуры резания. С другой стороны, повышение частоты вращения обрабатываемой заготовки увеличивает воздействие таких негативных факторов, как возрастание центробежной силы и амплитуда вибраций. Именно поэтому, чтобы при обработке заготовок шлифованием обеспечить сохранность поверхностного слоя от прижогов, необходимо стремиться максимально повышать частоту вращения заготовки. Но с другой стороны, чрезмерное возрастание частоты вращения заготовки повышает колебания обрабатывающей системы СПИД и снижает, тем самым, точность и качество обработки. В связи с этим окружная скорость вращения заготовки задается диапазоном возможных значений.

При грубом шлифовании, в качестве ограничивающего фактора используется стойкость шлифовального круга, так как ограничения со стороны требований к получению определенных значений качества точности и шероховатости поверхности для этого вида обработки не существенны.

Получистовое и чистовое шлифование осуществляется в три этапа:

- 1) врезание;
- 2) установившийся процесс;
- 3) выхаживание.

Как показывают многочисленные теоретические и экспериментальные исследования [1, 2], режимы резания при чистовом и получистовом шлифовании на этапе установившегося процесса снижаются при повышении требований к точности обработки (качеству), с уменьшением величины припуска на обработку, а также при понижении жесткости технологической обрабатывающей системы. Существенное влияние на количественные показатели режимов шлифования оказывает также материал обрабатываемой заготовки.

В многочисленной технической литературе разные авторы предлагают различные методы и подходы к определению рациональных режимов обработки, но в основном предлагаемые методы можно разделить на две группы: нормативный и расчетно-аналитический.

Нормативный метод заключается в определении режимов резания посредством использования множества таблиц, содержащих упорядоченную информацию о входных и выходных данных. Сложность этого метода заключается в необходимости занесения и хранения достаточно большого количества табличной информации. Кроме того, для каждого вида обработки имеется несколько таблиц, для нахождения информации по каждой из которых требуется разработка отдельного алгоритма. Множества входных данных для каждого вида обработки во многом отличаются друг от друга, что также создает свои сложности при разработке САПР. Преимущество же этого метода определения режимов резания состоит в относительной легкости поиска

нужного значения при условии наличия всей необходимой исходной информации. В данном конкретном случае задача решается посредством *SQL*-запросов.

Расчетно-аналитический метод заключается в определении необходимых значений по формулам, устанавливающим однозначное соответствие между входными данными и искомым элементом режимов резания. В формулах участвуют также поправочные коэффициенты, зависящие от различных характеристик инструмента и материала обработки. Под входными данными подразумеваются условия обработки или режимы, определенные ранее. Особенность этого метода заключается в определении поправочных коэффициентов, для чего требуется хранение информации о соответствии значений этих коэффициентов характеристикам материалов инструмента и заготовки.

Рассмотрим автоматизацию задачи выбора режимов резания на примере абразивной обработки деталей типа «тело вращения» с использованием круглошлифовального, внутришлифовального и бесцентрово-шлифовального оборудования. При создании программного обеспечения для решения этой задачи были использованы оба метода определения режимов резания, приведенные выше.

Отдавая предпочтение тому или иному методу, принимались во внимание минимизация временных затрат, количество и разнообразие исходной информации, а также простота и наглядность решения.

Для всех видов шлифования при определении скорости резания и частоты вращения детали в качестве входных данных используются размеры заготовки: диаметр отверстия (при внутреннем шлифовании) и наружный диаметр обработки, длина шлифования, материал обрабатываемой заготовки. В некоторых случаях эти элементы режимов резания зависят еще и от показателя стойкости шлифовального круга. В таблицах, применяемых в нормативном методе, диаметры и длина, а также скорость резания и количество оборотов детали в минуту заданы в виде диапазонов значений. Для удобства использования при создании таблиц базы данных диапазоны были разделены на два поля, каждое из которых содержало пограничные значения диапазона. *SQL*-запрос проверяет включаемость соответствующего параметра реально обрабатываемой заготовки, для которой необходимо определить режимы, в описанный диапазон и, в соответствии с этим, выдает диапазон значений искомой величины. Для определения конкретного значения режима необходимо применить формулу линейной аппроксимации. Например, для определения частоты вращения детали при заданных значениях: для диаметра, входящего в диапазон значений  $[D_{\min}; D_{\max}]$ , возможные значения окружной скорости вращения детали выбираются из диапазона  $[V_{\min}; V_{\max}]$ . Формула определения конкретного значения скорости выглядит следующим образом:

$$V = V_{\min} + \left( \frac{V_{\max} - V_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \times (D - D_{\min}) \right),$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой заготовки;  $V$  – окружная скорость вращения заготовки.

При использовании нормативного метода для автоматизации определения режимов резания немаловажное значение имеет преобразование таблиц для более удобного хранения и использования их при работе с базой данных. При решении этой задачи необходимо по возможности избежать дублирования данных, а также обеспечить наиболее быстрый доступ к необходимой информации. Например, таблицу вида:

Таблица 1

D \ L	L1 – L2	L2 – L3	...	Lm-1 – Lm
D1 – D2	S11	S12	...	S1m
D2 – D3	S21	S22	...	S2m
...	...	...	...	...
Dn-1 – Dn	Sn1	Sn2	...	Snm

разбиваем на три таблицы:

Таблица 2

ID_D	D_1	D_2
1	D1	D2
2	D2	D3
...	...	...
n	Dn-1	Dn

Таблица 3

ID_L	L_1	L_2
1	L1	L2
2	L2	L3
...	...	...
m	Lm-1	Lm

Таблица 4

ID_D	ID_L	S
1	1	S11
1	2	S21
...	...	...
n	m	Snm

Табл. 1 содержит возможные значения параметра  $D$ , табл. 2 – параметра  $L$ . В табл. 3 содержатся значения искомого параметра  $S$ , приведенные в соответствие со значениями диапазонов параметров  $D$  и  $L$  посредством их идентификационных номеров  $ID\_D$  и  $ID\_L$  соответственно.

Далее, с помощью  $SQL$ -запроса определяем  $ID\_D$  и  $ID\_L$ , то есть номера диапазонов, содержащих заданные значения параметров  $D$  и  $L$ . Затем по табл. 4 определяем искомое значение параметра  $S$ .

Некоторыми особенностями обладает определение продольных и поперечных подач для разных видов шлифования. Эти особенности объясняются их взаимной зависимостью и неоднозначностью выбора. Например, при круглом наружном шлифовании с продольной подачей, от выбора последней зависит значение поперечной подачи на ход стола. В условиях отсутствия четко обозначенных рекомендаций по выбору продольной подачи, ее определение производится посредством генератора случайных чисел. Затем, воспользовавшись значением продольной подачи, определенным ранее значением окружной скорости вращения детали, а также диаметром шлифования, заданным в качестве исходной информации, получаем значение поперечной подачи на ход стола, которая связана с упомянутыми параметрами посредством таблицы.

В некоторых случаях нормативный метод оказывается достаточно трудоемким, в связи с тем, что таблицы по определению необходимых элементов режимов резания содержат большое количество информации и имеют сложную структуру. Таблица, в которой отражено взаимное соответствие сразу многих параметров, не может быть использована в исходном виде, а требует переработки, то есть разделения на систему взаимосвязанных таблиц. При этом, чем больше таблиц в такой системе, тем сложнее связи между ними. В таком случае, возможно, стоит рассмотреть вариант использования расчетно-аналитического метода для определения того режима, нахождения значения которого посредством нормативного метода представляется более трудоемким. Однако трудоемкость эта может быть сглажена за счет комплексного подхода к решению задачи по определению режимов резания для абразивной обработки тел вращения в целом. Это объясняется аналогичностью табличных структур для разных видов шлифования. В таком случае, один раз продуманная и рационально созданная система локальных таблиц, соответствующая какому-либо, наиболее часто встречающемуся типу сложной многомерной таблицы, может быть использована для определения всего множества параметров, описанных подобным образом. Для каждого конкретного случая будет меняться лишь содержание таблиц, состоящее из конкретных значений используемых и искомого параметров. Например, при круглом наружном шлифовании продольная подача на оборот детали ( $S_o$ ) связана с определением поперечной подачи на ход стола ( $S_{lx}$ ), а ее место в аналогичной схеме определения подач при внутреннем шлифовании занимает поперечная подача на двойной ход стола ( $S_{l\partial\partial.x}$ ). В случае бесцентрового шлифования, в зависимости от вида подачи, требуется определить минутную продольную или поперечную подачи соответственно. При этом схема определения обеих подач одинакова, изменяются лишь входные параметры или значения параметров, влияющих на определение обеих подач. Ограничивающими параметрами в определении минутных подач при грубом шлифовании являются период стойкости круга и припуск на обработку, а при получистовом и чистовом шлифовании – скорость вращения детали, диаметр обработки и качество. С точки зрения автоматизации определения подач это не имеет ни-

какого значения, важным является лишь структура таблиц, отражающих зависимости значений подач от влияющих на выбор этих значений параметров. Если таблица, содержащая достаточно большое количество параметров и имеющая сложную структуру, встречается лишь один раз, предпочтение все же стоит отдать расчетно-аналитическому методу, избежав таким образом лишних затрат времени и сократив объем базы данных.

Определение продольной и поперечной подачи

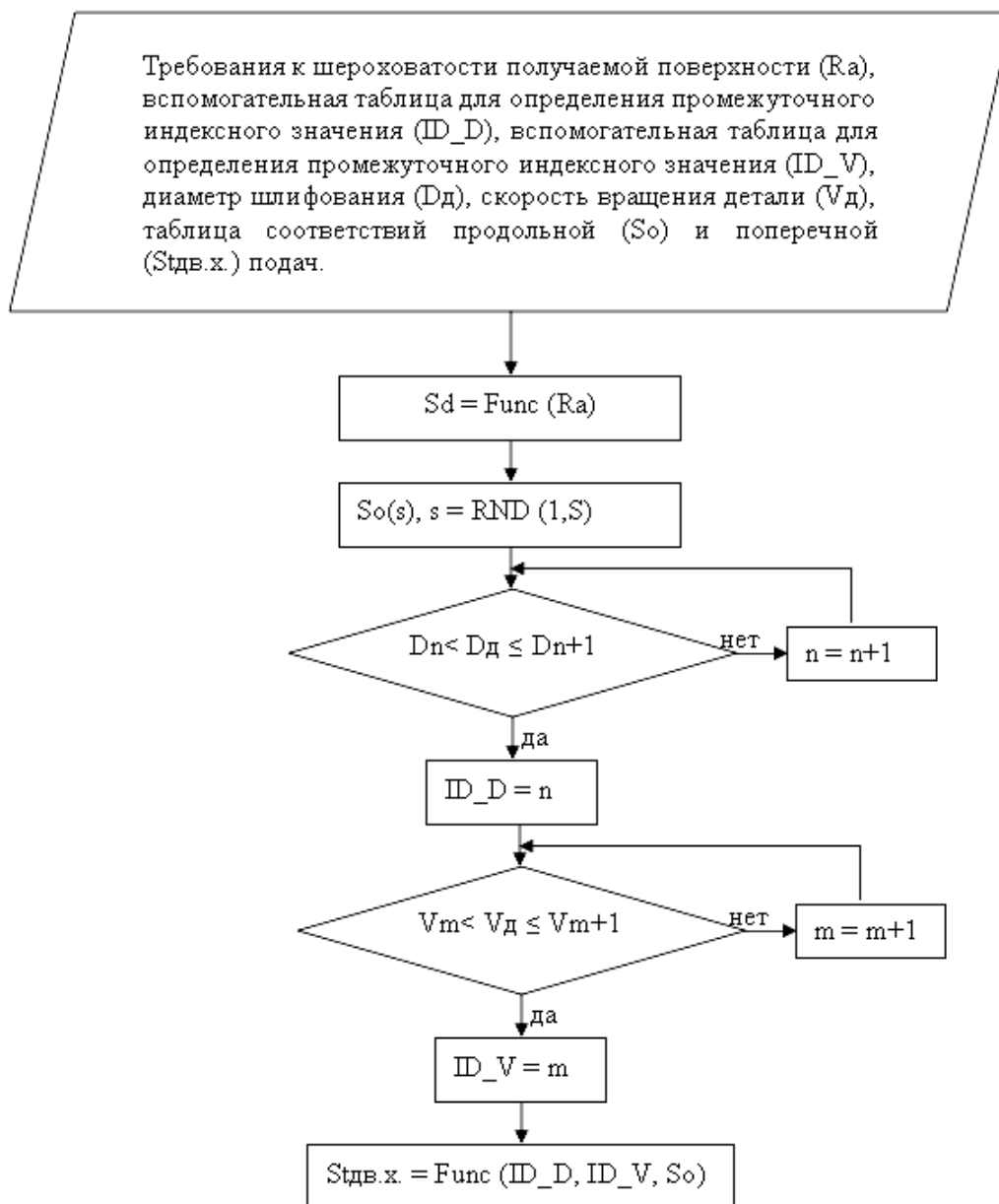
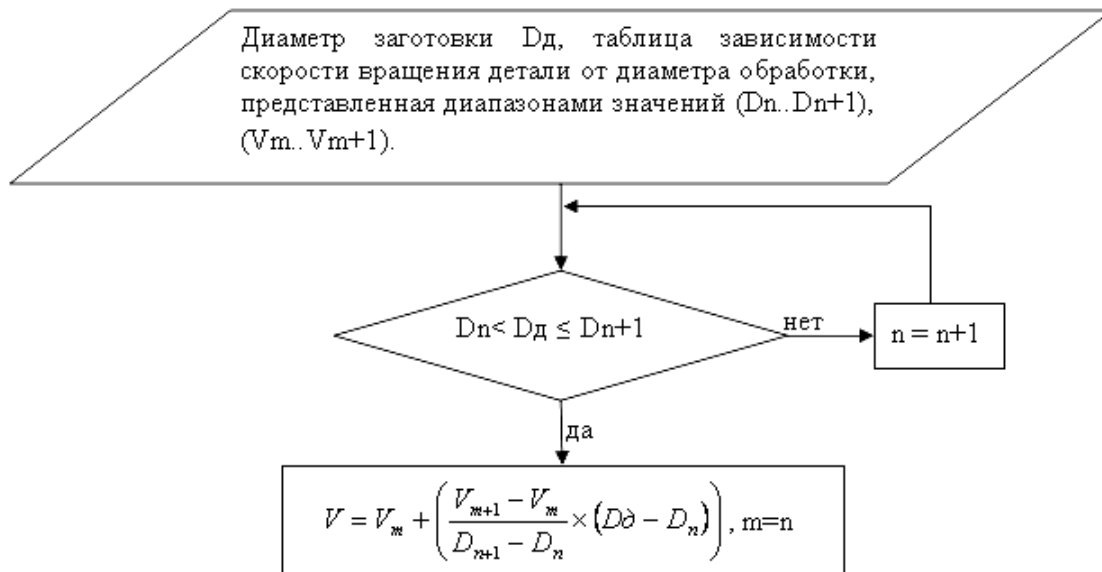


Рис. 1. Блок-схема определения продольной и поперечной подач при грубом круглом наружном шлифовании

Расчетно-аналитический метод легко запрограммировать, однако формулы по определению искомой величины содержат, кроме основных параметров, поправочные коэффициенты. Коэффициенты эти, как правило, определяются в зависимости от условий шлифования и сведений о заготовке и инструменте. Поиск значений коэффициентов не представляет трудности, но предполагает создание дополнительных структур в виде таблиц и массивов.

## Определение скорости вращения детали



## Определение продольной и поперечной подачи



Рис. 2. Блок-схема определения режимов резания при круглом наружном чистовом шлифовании

Результатом проведенной работы является программный продукт, посредством которого можно определить значения режимов резания для абразивной обработки деталей типа «тело вращения» с использованием круглошлифовального, внутришлифовального и бесцентрово-шлифовального оборудования. Разработанное программное обеспечение сочетает в себе обоснованное рациональное сочетание обоих методов определения режимов резания: нормативного и расчетно-аналитического. При необходимости имеется возможность расширения и пополнения полученного программного продукта, приспособивая его к возможно-

сти определения режимов резания для других видов шлифования. Для этого необходимо ввести соответствующие исходные данные и применить к ним подходящую, из ранее описанных в программе, схему; в некоторых же случаях придется разрабатывать новую схему, с учетом возможности ее последующего многократного использования.

Представленные блок-схемы отражают структуры, наиболее часто встречающиеся при определении режимов резания на примере круглого наружного шлифования для грубого и чистового шлифования соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. Минск: Высшая школа, 1990. 512 с.

2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на шлифовальных станках. Серийное производство. М.: Машгиз, 1962. 199 с.

3. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 136 с.

4. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 74 с.

**Назарьева Виктория Алексеевна** –

аспирант кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

**Васин Алексей Николаевич** –

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

**Бочкарев Петр Юрьевич** –

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.92 061.62

**В.М. Шумячер, Л.Н. Куликова, И.В. Надеева, Я.В. Гришин**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗНОСА АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ МИКРОРЕЗАНИЯ**

*Предложен метод исследования износостойкости абразивного материала в процессе микрорезания единичным зерном. Для оценки износостойкости учитывается распределение шаржированных частиц и линейный абразивный износ зерен. Эти характеристики чувствительны к физической природе абразива.*



V.M. Shumacher, L.N. Kulikova, I.V. Nadeeva, Y.V. Grishin

## THE ABRASIVE MATERIAL WEAR-RESISTANCE RESEARCH IN ACT OF MICRO-CUTTING

*A research method of wear-resistance of abrasive in act of micro-cutting by single grain is suggested here. Distribution of the fixed particles and linear abrasive wear of grain is taken into consideration for the wear-resistance evaluation. These features are sensitive to physical nature of abrasive.*

В практике шлифования оценку эффективности абразивного материала производят обычно на шлифовальных станках. Такая оценка не является однозначной, так как несовершенства изготовления инструмента, подбор неоптимальной структуры круга и режимов обработки могут снивелировать (а иногда и полностью скрыть) достоинства или недостатки того или иного вида абразивного материала, что, естественно, затрудняет решение задачи формирования научно обоснованных норм подбора вида абразивного материала для того или иного класса обрабатываемых материалов. Хотя следует отметить, что окончательным критерием правильности решения задачи, после всех исследований и косвенных выводов, является все-таки процесс шлифования.

Предлагаемый метод исследования процессов микрорезания единичным зерном позволяет, во-первых, почти полностью воспроизвести температурно-деформационные условия процесса шлифования в зоне резания, а, следовательно, и возможные процессы физико-химического взаимодействия, вносящие основной вклад в износ абразива; во-вторых, исключить влияние несовершенств изготовления и подбора абразивного инструмента и, в-третьих, одновременно исследовать физико-механические характеристики зерна до и после актов микрорезания с целью установления возможной корреляции их с износостойкостью.

Основные преимущества предлагаемой методики определения износостойкости абразивных материалов заключаются в том, что она наиболее близка к реальному процессу шлифования, а также позволяет дать оценку работоспособности абразивных материалов на конкретных сталях и сплавах. Испытанию подвергалась та часть зерна, которая по существующим представлениям является основным режущим элементом в круге.

В предлагаемой методике оценивалось сопротивление разрушению как макро-, так и микрообъемов материала. Под сопротивлением разрушению макрообъемов материала понимается нагрузка, которую выдерживает зерно перед сколом, наблюдаемым при увеличении объема снимаемого материала. Под сопротивлением разрушению микрообъемов материала понимается удаление объема материала на единицу пути процесса резания – истирания.

Механизм износа оценивался различными методами. Применялся микрорентгено-спектральный метод исследования шаржирования поверхностей рисок при микрорезании с использованием в качестве количественных критериев: плотность распределения и средний размер шаржированных частиц. Для качественной оценки износа проводились электронно-микроскопические исследования (растровая микроскопия) рельефа поверхностей абразивных материалов после микрорезания.

Параллельно была проведена оценка износостойкости как отношение износа зерна, определяемого по линейным размерам рисок и значениям скоростей микрорезания, к длине пути резания. Глубина микрорезания  $h$  рассчитывалась по формуле (1), исходя из общих закономерностей соотношения параметров при плоском шлифовании:

$$h = \left[ \frac{l^2}{D_{кр} \left(1 \pm \frac{V_c}{60V_{кр}}\right)} \right] \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина риски, мм;  $D_{кр}$  – диаметр режущего элемента, мм;  $V_c$  – скорость стола, м/мин;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с.

Знак «плюс» либо «минус» берется в зависимости от направления подачи при микрорезании.

Исследования проводились по четырем основным группам электрокорундовых материалов: рубин (монокристалл корунда, легированный хромом), белый электрокорунд, а также электрокорунд хромотитанистый после термообработки.

В качестве рабочей гипотезы было взято предположение, что износ абразива за счет скола (в противовес износу за счет адгезионного взаимодействия) должен приводить к увеличению среднего размера шаржированных частиц, уменьшению плотности их распределения и износостойкости.

Результаты исследований показали, что белый электрокорунд (рис. 1, а) разрушается преимущественно за счет вырыва сравнительно крупных частиц при небольшой износостойкости, что подтверждает вид рельефа поверхности зерна.

Износ рубина происходит за счет адгезионного вырыва частиц (рис. 1, б). Повышенное значение износостойкости (средней) вызвано сильным разрушением в начальной стадии микрорезания.

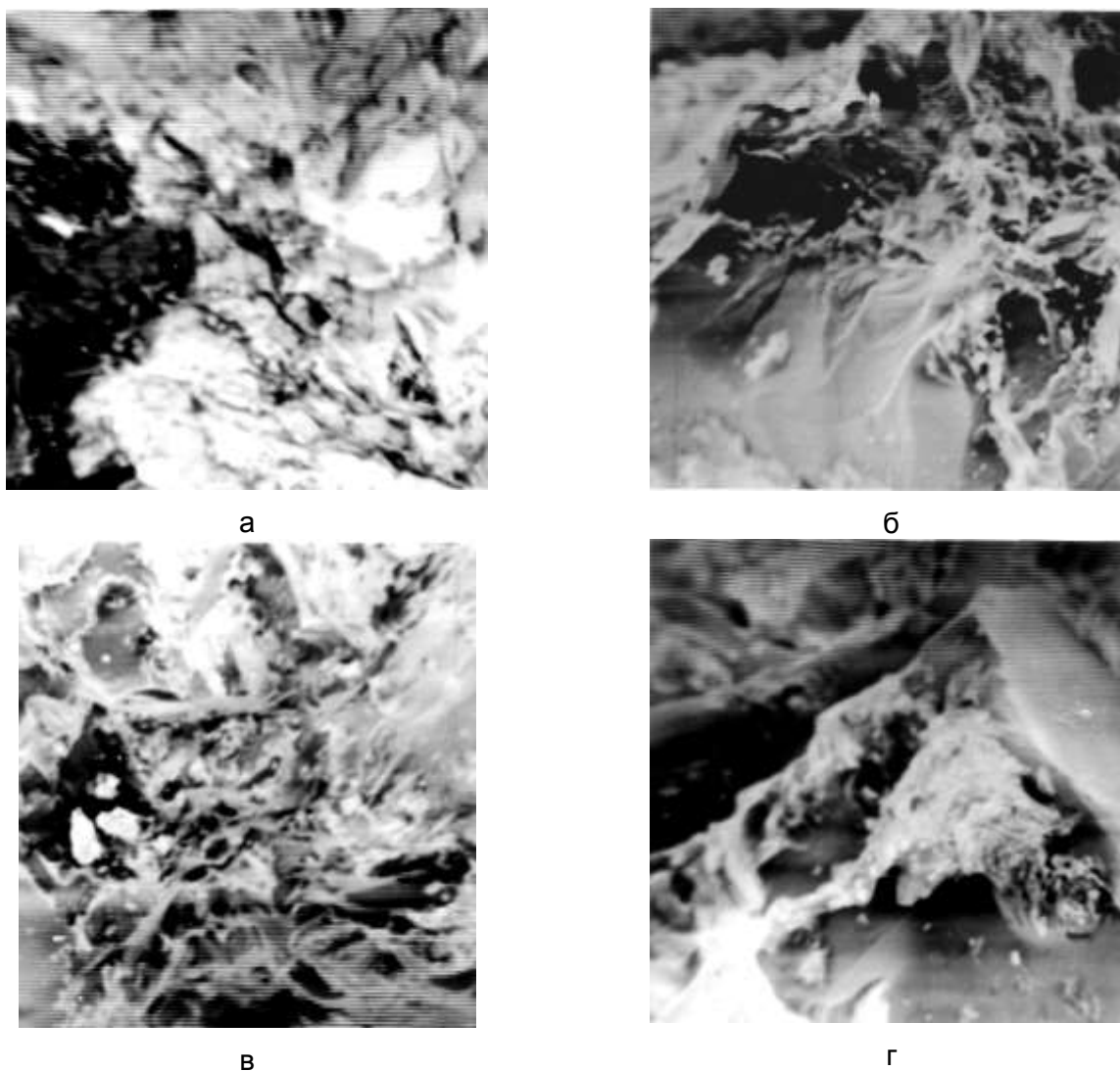


Рис. 1. Вид износа исследованных материалов: а – зерна белого электрокорунда; б – зерна рубина; в, г – зерна хромотитанистого электрокорунда

Характерной особенностью износа хромотитанистого электрокорунда является широкий разброс значений всех анализируемых величин, а также различный вид рельефа изношенных зерен, что может указывать на большую неоднородность исходных материалов по физико-механическим характеристикам.

В износе электрокорундов отмечаются определенные закономерности. В материалах встречаются зерна, имеющие типично адгезионный износ (рис. 1, в) с большой износостойкостью (3 и 7 мкм/м) и, соответственно, малым размером шаржированных частиц (0,2 и 0,3 мкм). Однако имеются зерна с обратным характером износа (рис. 1, г), с крупностью частиц, приближающейся или даже превышающей соответствующие значения для белого электрокорунда и, соответственно, износостойкость при этом понижается в 3-10 раз.

Это можно объяснить увеличением сколов крупными частицами, что приводит к уменьшению плотности распределения частиц и подтверждается видом рельефа изношенных поверхностей.

Таким образом, предлагаемый метод исследования процессов микрорезания единственным зерном чувствителен к физической природе абразивного материала.

**Шумячер Вячеслав Михайлович –**

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

**Куликова Лариса Николаевна –**

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

**Надеева Ирина Владимировна –**

кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Технология обработки и производства материалов»  
Волжского института строительства и технологий (филиала)  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Гришин Яков Владимирович –**

заведующий лабораторией физико-химических исследований  
Волжского института строительства и технологий  
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

## **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

---

УДК 541.135

**Н.В. Архипова, А.М. Михайлова, В.В. Симаков, Е.В. Третьяченко**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТОПОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В СИСТЕМЕ LI/SB<sub>2</sub>S<sub>x</sub>**

*Исследуется процесс формирования фазы, происходящий путем образования, роста и перекрытия трехмерных зародышей новой фазы в потенциодинамических условиях в твердофазных системах.*

**N.V. Arkhipova, A.M. Mikhailjva, Y.V. Simacov, E.V. Tretyachenco**

### **MODELLING OF A KINETICS OF THE TOPOELECTROCHEMICAL REACTION IN A LI/SB<sub>2</sub>S<sub>x</sub> SYSTEM**

*The process of a transient phase in a Li/Sb<sub>2</sub>S<sub>x</sub>-system was investigated by a potentiodynamic voltampereters method. Kinetics of the growth of new created three-dimensional blastemals was studied in the article.*

Электродные процессы, протекающие в твердофазных системах, могут быть описаны с использованием моделей и уравнений кинетики твердофазных реакций [1].

Модели зародышеобразования основаны на предположении, что лимитирующей стадией твердофазного взаимодействия является образование зародышей продукта на активных центрах или их рост. В качестве активных центров могут выступать поверхностные дефекты, выходы дислокаций на поверхность кристалла, точечные дефекты, ассоциаты и кластеры. Скорость процесса определяется химическими и кристаллохимическими факторами. Предложено большое число моделей, связывающих зародышеобразование с кинетикой твердофазных процессов. Топохимическое уравнение Ерофеева-Аврами чаще всего используют для расчетов  $\alpha$  – доли прореагировавшего вещества [2]:

$$\alpha = 1 - \exp(-kt^n), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – доля прореагировавшего вещества;  $t$  – время;  $k$  – постоянная, определяющая константу скорости реакции с показателем степени  $n$ , зависящим от механизма реакции, скорости зародышеобразования и геометрии зародышей.

Существуют таблицы для расчетов по топахимическому уравнению, которые учитывают различные значения  $n$ .

Гальваностатическая и потенциодинамическая релаксация в реакциях, контролируемых смешанной активационно-диффузионной кинетикой при переносе электроактивных

компонентов в зернистых переходных интерфазах, образуемых по топокинетическому механизму, протекает по немонотонным временным зависимостям с максимумами. Анализ температурной зависимости экстремальных времен позволяет найти кинетические параметры топохимической реакции формирования зернистой интерфазы.

Сначала рассмотрим случай мгновенного зарождения. Этот случай зарождения может происходить, если на электроде существует ограниченное число активных центров, на которых одновременно после наложения перенапряжения образуются зародыши. Принимая, что скорость образования зародышей  $J(t) = N\delta(t)$  (где  $N$  – число зародышей на единице площади электрода;  $\delta(t)$  – дельта-функция;  $Q$  – количество электричества, затраченного на образование новой фазы), после интегрирования получим

$$Q = \frac{zF}{\sqrt{\pi n} \cdot V} [x - w(x)], \quad (2)$$

где  $x = r\sqrt{\pi n}$ ,  $w(x)$  – интеграл Дausона, равный

$$w(x) = \exp(-x^2) \int_0^x \exp(\xi^2) d\xi. \quad (3)$$

Степень заполнения электрода новой фазой в этом случае будет

$$\theta = 1 - \exp(-x^2). \quad (4)$$

Переходный слой имеет зернистую структуру и толщину  $L$ , определяемую из топокинетического уравнения Ерофеева-Аврами:

$$L = L_\infty (1 - e^{-\gamma t^n}). \quad (5)$$

Считаем, что растущие зародыши имеют полусферическую форму, при перекрытии их рост продолжается в свободных направлениях.

В потенциодинамических условиях можно записать следующее выражение для скорости роста переходного слоя [3]:

$$j = \frac{i_{ED} M_{SEI}}{\rho_{SEI} z F} = n \gamma L_\infty \left(\frac{E}{V}\right)^{n-1} e^{-\gamma \left(\frac{E}{V}\right)^n}, \quad (6)$$

откуда следует, что

$$i_{ED} = \frac{n \gamma \rho_{SEI} z F L_\infty}{M_{SEI}} \left(\frac{E}{V}\right)^{n-1} e^{-\gamma \left(\frac{E}{V}\right)^n}, \quad (7)$$

зависимость плотности тока от потенциала немонотонна и имеет максимум, координаты которого можно найти из условия  $d i_{ED}/dt=0$ :

$$E_{\max} = (n-1)^n B^{-1} e^{\frac{A}{RT}} V, \quad (8)$$

$$i_{\max} = n^2 (n-1)^{\frac{n-1}{n}} e^{-n(n-1)} B e^{-\frac{A}{RT}}. \quad (9)$$

Тем самым, модель зернистого  $SEI$ , растущего по топокинетическому механизму и лимитирующего  $ED$ -кинетику электрохимических реакций на границе переходный слой/электрод отвечает  $i_{\max} = \text{const}(V)$  и  $E_{\max} \sim V$ .

Плотность тока роста связана с радиусом зародыша соотношением

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{i_p V}{zF}, \quad (10)$$

где  $i_p$  – плотность тока, идущего на рост зародыша,  $r = k_1 t$ .

Дифференцируя (2) по  $t$  и используя (10), найдем плотность тока для кинетического режима роста осадка в виде

$$i = 2i_p x w(x) . \quad (11)$$

Для диффузионного режима роста найдем

$$i = 2z F D \sqrt{\pi N} w(x) , \quad (12)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии ионов.

Рассмотрим физический смысл положения этого максимума. Плотность тока можно записать также в виде  $i=i_p S_p/S$ , где  $S_p$  – площадь межфазной границы переходный слой / электрод,  $S_p=dV_\phi/dr$ , где  $V_\phi$  – объем фазы. Дифференцируя (2), найдем, что  $S_p=2xw(x)S$ . При росте осадка в кинетическом режиме плотность тока максимальна при максимальной  $S_p$ , т.е. при максимальной  $x \cdot w(x)$ . Максимальное значение  $x \cdot w(x)=0,64$  при  $x=1,50$   $\theta=0,90$ . Для осадка, растущего в диффузионном режиме, плотность тока максимальна при максимальной  $S_p/r$ , т.е. при максимальной  $w(x)$ . Максимальное значение  $w(x)=0,54$  при  $x=0,92$ ,  $\theta=0,57$ .

Вопрос о закономерностях образования зародышей при катодном внедрении лития в трисульфид сурьмы к настоящему времени изучен очень мало. С учетом имеющихся данных [4, 5] можно предложить следующую модель процесса. По мере накопления лития в твердом растворе происходит пересыщение фазы, следствием чего является выпадение зародышей критического размера, протекающее по мгновенному, прогрессивному или иному механизму. Последующее слияние зародышей, сопровождающееся уменьшением площади реакционной поверхности, приводит к формированию сплошного слоя, продвигающегося в глубь катода. В общем случае скорости роста зародышей новой фазы в направлениях, параллельном и перпендикулярном поверхности катода, могут различаться и, следовательно, условия гомотетичности и постоянства удельной скорости роста зародышей могут не соблюдаться.

Очевидно, что кинетическая интерпретация описанного выше процесса представляет собой весьма сложную задачу. В то же время для выяснения тенденций изменения параметров процесса под влиянием различных факторов можно использовать упрощенные модели катодного внедрения лития в трисульфид сурьмы.

Будем считать, что:

1. Объем  $V$ , занимаемый зародышем, является полусферическим. Величина  $V$  определяется количеством трисульфида сурьмы, входящим в состав фазы, в то время как полный объем зародыша определяется массой и плотностью тиостибнита лития.
2. Зародыши кристаллизуются из пересыщенной фазы, имея в момент образований критический размер  $r_0$ . Зародыши растут гомотетично.
3. Зародыши равновероятно расположены по поверхности электрода.
4. При  $t > t_{\min}$  весь внедряющийся литий расходуется на образование фазы тиостибнита лития.
5. Зародышеобразование происходит в момент  $t_{\min}$  по мгновенному механизму.

С учетом результатов расчета, проведенного в [6], момент достижения максимальной площади границы раздела переходный слой/электрод в принятой модели можно описать уравнениями для кинетического режима роста:

$$Q_{\max} = \frac{F \rho}{M} 1,073 \frac{1}{\sqrt{\pi N}} ; \quad (13)$$

$$i_{\max} = 1,28 i_p = 1,28 \frac{F \rho}{M} k . \quad (14)$$

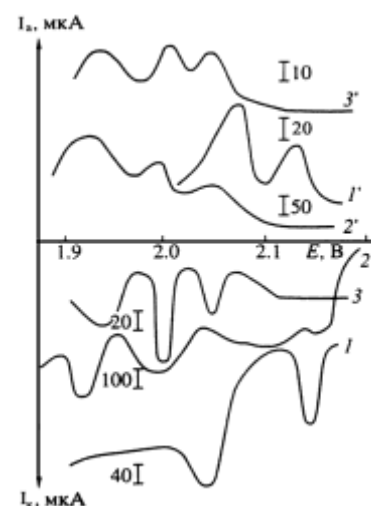
Для диффузионного режима роста:

$$Q_{\max} = \frac{F \rho}{M} 0,38 \frac{1}{\sqrt{\pi N}} ; \quad (15)$$

$$i_{\max} = 1,28 i_p = 0,99 \frac{F \rho}{M} k , \quad (16)$$

где  $F$  – число Фарадея;  $M$  и  $\rho$  – соответственно молярная масса и плотность трисульфида сурьмы;  $N$  – число зародышей,  $1/\text{см}^2$ ;  $i_p$  – плотность тока образования фазы (в расчете на площадь поверхности катода),  $\text{А}/\text{см}^2$ ;  $k$  – линейная скорость роста зародыша,  $\text{см}/\text{с}$ .

Отметим, что уравнения (13) и (14) получены с использованием предположения о том, что  $r_0 \ll kt_{\max}$  и  $r_{\max} = r_0 + kt_{\max} \approx kt_{\max}$ . Количество прошедшего электричества определяли графическим интегрированием потенциодинамических кривых (см. рисунок). Значения  $N$  и  $k$ , рассчитанные из уравнений (13)-(16), приведены в таблице.



Потенциодинамические вольтамперограммы систем прямого контакта

Значение расчетных кинетических параметров

Соединения	LiSbS <sub>2</sub>	Li <sub>6</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>9</sub>	Li <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> S
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	3,75	3,75	3,75	2
$M$ , г/моль	193	818	239	46
$Q_{\max}$ , Кл/см <sup>2</sup>	0,1	0,3	0,275	0,125
$i_{\max}$ , А/см <sup>2</sup>	$5 \cdot 10^{-4}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$
$t_{\max}$ , с	280	250	130	125
Кинетический контроль				
$N$ , 1/см <sup>2</sup>	$1,29 \cdot 10^8$	$7,96 \cdot 10^5$	$1,11 \cdot 10^7$	$4,13 \cdot 10^8$
$k$ , см/с	$2,55 \cdot 10^{-7}$	$3,24 \cdot 10^{-6}$	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$5,12 \cdot 10^{-7}$
$r_{\max}$ , см	$7,13 \cdot 10^{-5}$	$8,10 \cdot 10^{-4}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$	$6,40 \cdot 10^{-5}$
Диффузионный контроль				
$N$ , 1/см <sup>2</sup>	$1,61 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^6$	$5,18 \cdot 10^7$
$k$ , см/с	$2,69 \cdot 10^{-7}$	$3,43 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$5,42 \cdot 10^{-7}$
$r_{\max}$ , см	$7,54 \cdot 10^{-5}$	$8,56 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$6,77 \cdot 10^{-5}$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций / Б. Дельмон. М.: Мир, 1972. 554 с.
2. Ерофеев П. Кинетика гетерогенных процессов / П. Ерофеев. М.: Мир, 1976. 194 с.
3. Архипова Н.В. Теория переходных электрохимических процессов в твердофазных системах с интерфазными слоями / Н.В. Архипова, А.М. Михайлова, Ю.В. Серянов // Вестник СГТУ. 2003. № 1. С. 16-37.
4. Архипова Н.В. Катодное включение границ Li/Sb<sub>2</sub>S<sub>5</sub> / Н.В. Архипова, А.М. Михайлова, Ю.В. Серянов // Известия вузов. Сер. Химия и химическая технология. 2003. № 6. С. 18-22.

5. Архипова Н.В. Топокинетический эффект при постояннотоковом формировании переходного слоя на границе Li/Sb<sub>2</sub>S<sub>x</sub> / Н.В. Архипова, А.М. Михайлова, Ю.В. Серянов // Электрохимия. 1999. Т. 35. № 3. С. 407-409.

6. Исаев Б.А. Математическая модель гетерогенной твердофазной химической реакции / Б.А. Исаев, А.Н. Барабошкин // Электрохимия. 1985. Т. 21. № 7. С. 960.

**Архипова Наталия Викторовна** –

доктор химических наук, профессор кафедры «Химия»  
Саратовского государственного технического университета

**Михайлова Антонина Михайловна** –

доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химия»  
Саратовского государственного технического университета

**Симаков Вячеслав Владимирович** –

докторант кафедры «Химия»  
Саратовского государственного технического университета

**Третьяченко Елена Васильевна** –

кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.9.047/048-114

**Н.В. Бекренев, С.В. Приходько**

### **УЛЬТРАЗВУКОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ АБРАЗИВНО-СТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ ПОД ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ БИОПОКРЫТИЙ**

*Исследован микрорельеф поверхности титановых дентальных имплантатов, полученный абразивно-струйной обработкой с воздействием ультразвука, и определены эмпирические зависимости. Установлено, что соотношение издеию ультразвуковых колебаний обеспечивает формирование заданного рельефа в 2-3 раза быстрее, разброс элементов шероховатости по высоте снижается с 35-40 до 14-21%, изменением направления колебаний возможно формировать ориентированный рельеф поверхности.*

**N.V. Bekrenev, S.V. Prihodko**

### **ULTRASONIC MODIFYING OF DENTAL IMPLANTS SURFACE IN THE PROCESS OF ITS ABRASIVE MACHINING WITH ELECTROPLASMA SPRAYING OF BIOCOVERINGS**

*The micro relief of a surface of the titanic samples, generated is researched by abrasive-jet processing at the message to a basis of ultrasonic fluctuations. Essential increase of a relief of a surface and uniformity of elements of a micro re-*



*lief is established at influence on a basis of ultrasound. It is shown here, that at influence of a stream of an abrasive on a surface making ultrasonic fluctuations, comprehensible for the subsequent plasma spraying the micro relief is formed already in the first 10-15 seconds of processing while at processing without ultrasound this time makes 30-40 seconds.*

Развитие современной техники характеризуется созданием и применением новых материалов, свойства которых в наибольшей степени отвечают служебному назначению изделия. При этом в большинстве случаев оказывается целесообразным (в основном по технологическим причинам) изготавливать основу из обычного конструкционного материала, а на поверхности изделия формировать специальное покрытие, обладающее комплексом механических, физико-химических и других свойств.

Проблема повышения качества напылённых покрытий имеет приоритетное значение во многих областях плазменной технологии, включая применение их в медицине. Подготовка поверхности изделий перед электроплазменным напылением покрытий является важным технологическим этапом, во многом определяющим адгезионную прочность покрытий, а значит – работоспособность изделий. Адгезия покрытий, в частности, имеет большое значение для дентальных имплантатов (искусственных зубных корней) поскольку определяет возможность их установки с требуемым натягом, что необходимо для качественного приживления, и последующее адекватное восприятие жевательных нагрузок, соответствующее функционированию естественного зубного корня [1, 2].

Абразивно-струйная обработка среди различных механических, химических и электрофизических методов подготовки поверхности перед напылением покрытий и в настоящее время остается широко распространенным процессом. Это объясняется простотой осуществления и универсальностью, а также тем, что наряду с созданием развитого микрорельефа, обеспечивающего надежное механическое сцепление покрытия с основой, этот метод создает энергетическую активацию поверхностных атомов, увеличивая силы физического взаимодействия материалов покрытия и основы [3-5]. Однако, ему присущ ряд недостатков, наиболее существенными из которых можно считать:

- 1) хаотичный и неоднородный характер микрорельефа, что может привести к неоднородной адгезии покрытия;
- 2) возможность шаржирования (внедрения) частиц абразива в обрабатываемый материал;
- 3) наличие в контактной зоне «покрытие – основа» посторонних загрязнений, связанных с воздействием потока абразива на материал сопла пескоструйного аппарата и переносом его частиц к поверхности детали.

В соответствии с изложенным, совершенствование процесса абразивно-струйной обработки с целью повышения однородности микрорельефа и чистоты поверхности представляется важным для науки и практики, что позволит, например, повысить качество и процент приживляемости дентальных имплантатов.

Авторами исследовалась схема абразивно-струйной обработки поверхности при сообщении образцу ультразвуковых колебаний перпендикулярно и параллельно потоку абразивного порошка. В процессе экспериментальных исследований давление воздуха в системе подачи абразива составляло 0,7 МПа. Образец в виде пластины размерами 10×8×0,5 мм из титана ВТ1-00 закрепляли в ультразвуковом преобразователе сначала так, что колебания были направлены перпендикулярно потоку абразива, а затем – параллельно. Частота колебаний составляла 22 кГц, амплитуда 8-10 мкм. В качестве абразива использовали корундовый порошок зернистостью 0,2-0,3 мм. Время эксперимента варьировалось от 10 до 40 секунд, давление воздуха – от 4 до 8 МПа, амплитуда колебаний образца – 3-8 мкм. Изучали параметры шероховатости поверхности методом профилометрии на профилографе 170111 и характеристики микрорельефа на компьютерном анализаторе изображений микроструктур АГПМ-6М. Рельефность оценивали по соот-

ношению темных и светлых полей на изображении микрорельефа, а равномерность его параметров – по дисперсии величин темных пятен и дисперсии параметров шероховатости. Особое внимание уделяли времени формирования развитого рельефа поверхности, разбросу значений элементов микрорельефа в пределах поверхности образца. Был реализован полный факторный эксперимент и получены степенные функции отклика.

Наиболее характерные изображения микрорельефа, который образовался при обработке с ультразвуком и без ультразвука, представлены после обработки на анализаторе АГПМ-6М на рис. 1, а-г. Видно, что без озвучивания основы во время абразивно-струйной обработки характер микрорельефа во времени практически не меняется. Также мало изменяется характер микрорельефа и при сообщении ультразвуковых колебаний параллельно потоку абразива. Рельефность поверхности за время обработки практически не меняется и составляет 32 и 28% при времени обработки 10 и 40 секунд соответственно. Скорее всего, это связано с большим количеством мелких неровностей, которые могли остаться от предыдущей обработки, а при малом времени обработки поток абразива не смог их полностью нивелировать. Характер полученного микрорельефа представлен в основном немного вытянутыми углублениями и выступами, которые хаотично расположены в пространстве. При этом на малых временах воздействия потока абразива остаются значительные необработанные участки (рис. 1, а). В то же время при наложении на основу ультразвука рельефность выросла с 27% при времени обработки 10 секунд до 44% при 40 секундах (рис. 2). Микронеровности полностью равномерно покрывают поверхность образца, а разброс их размеров во время обработки изменяется случайным образом, но в целом снижается. При обработке без ультразвука разброс параметров  $R_{\max}$  и  $S_m$  составил соответственно 45 и 100%, особенно при больших значениях давления воздуха и малых временах обработки. При обработке с ультразвуком наиболее существенный вклад в снижение разброса, а значит и равномерность рельефа, вносит амплитуда колебаний образца.

Так, при увеличении амплитуды с 3 до 8 мкм при обработке в течение 10 с и давлении 4 МПа разброс параметра  $R_{\max}$  снизился с 32 до 14%, при обработке в течение 40 с – с 26 до 20%. Однако, при увеличении давления с 4 до 8 МПа разброс вновь возрастает до 30-34%. Минимальный разброс значений параметра  $S_m$  составляет 22% при обработке с давлением 4 МПа, амплитуде 8 мкм и времени 40 с.

При обработке с малыми амплитудами в течение 10 с и при высоких давлениях воздуха величина  $S_m$  изменяется в пределах 32-64%.

Обобщая эти результаты, можно заключить, что наиболее равномерный микрорельеф поверхности формируется при ее обработке абразивом с давлением воздуха 4 МПа с амплитудой колебаний образца не менее 8 мкм в течение времени более 10 с.

На рис. 3-4 представлена динамика изменения параметров шероховатости в зависимости от времени обработки с наложением ультразвуковых колебаний на основу и без колебаний.

Из представленных графиков видно, что при наложении ультразвуковых колебаний на основу, начиная с 10-й секунды, параметры шероховатости выше, чем при обыкновенной абразивно-струйной обработке. Средний шаг неровностей микрорельефа  $S_m$  в этом случае примерно на 50% выше, чем при обработке без ультразвука, а  $R_z$  – на 20-30%. В то же время параметр  $R_a$  практически не зависит от применения ультразвука. Скорее всего, это связано с уменьшением количества мелких неровностей, которые не играют существенной роли при дальнейшем плазменном напылении покрытий и мало сказываются на адгезии.

Таким образом, при воздействии ультразвуковых колебаний наблюдается увеличение рельефности поверхности по сравнению с обычной обработкой, начиная с 25-30-й секунды. При обработке без ультразвука не наблюдается стабильной зависимости размеров элементов рельефа от времени.

Из представленного графика (рис. 5) видно, что количество элементов микрорельефа (зёрен), получаемых при разных направлениях УЗ, отличается, а первая схема даёт большее их количество. Ввиду этого целесообразнее её применение при обработке. Исследования па-

раметров шероховатости показало, что при воздействии УЗ наблюдается увеличение параметров  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ , особенно при обработке по первой схеме. Наибольшее увеличение наблюдается в первые 15 секунд обработки. Например, величина  $R_{max}$  после 10 секунд обработки составила приблизительно 6 мкм, а без ультразвука – 3,5 мкм – через 40 секунд соответственно 6 и 6,5 мкм. Это говорит о возможности формирования достаточно развитого рельефа за значительно меньшие промежутки времени, что с одной стороны позволяет повысить производительность, а с другой стороны дает возможность уменьшить количество инородных включений. Сходные результаты получаются для  $R_z$ . При обработке по первой схеме наблюдается более сложный рельеф в виде вытянутых неровностей, которые должны обеспечить более надёжное сцепление частиц покрытия с основой.

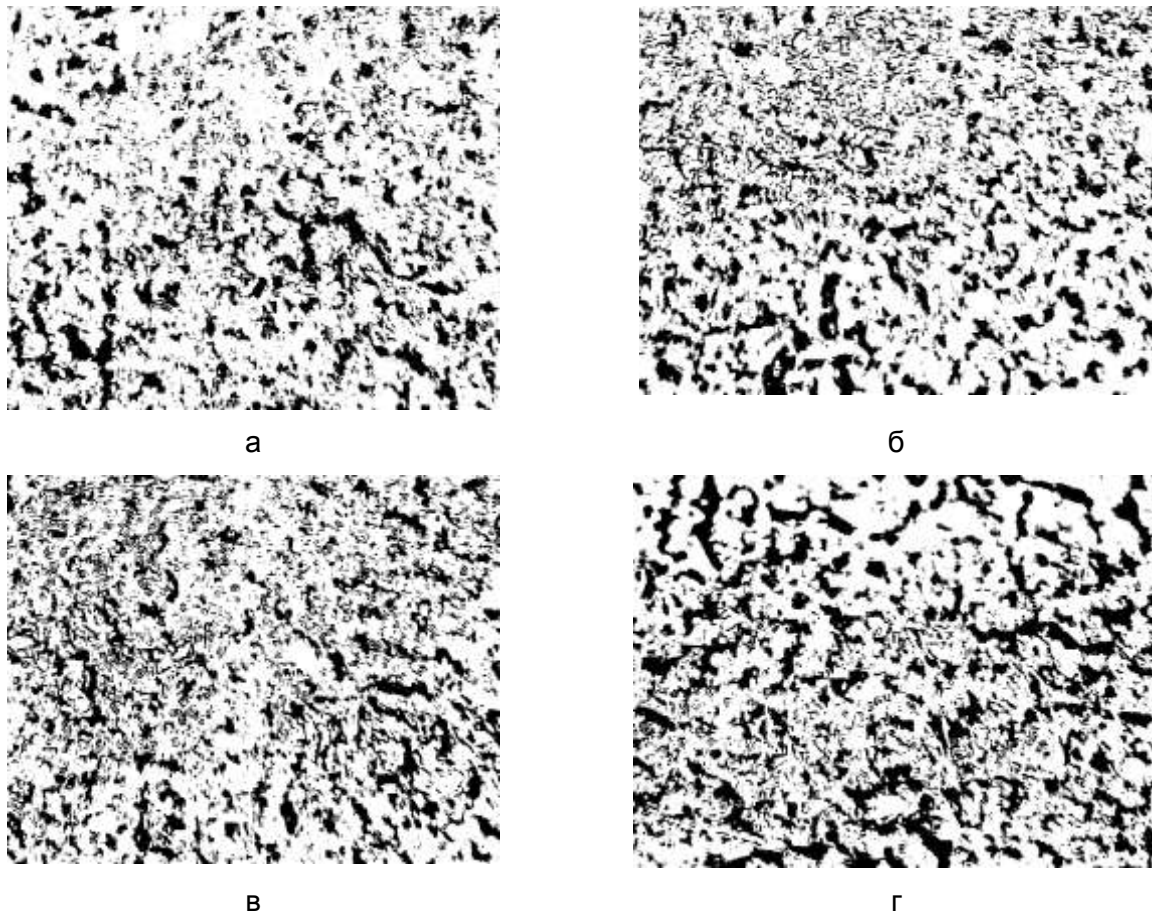


Рис. 1. Внешний вид микрорельефа после обработки без ультразвука в течение 10 с (а) и 40 с ( б) и с ультразвуком (в и г)

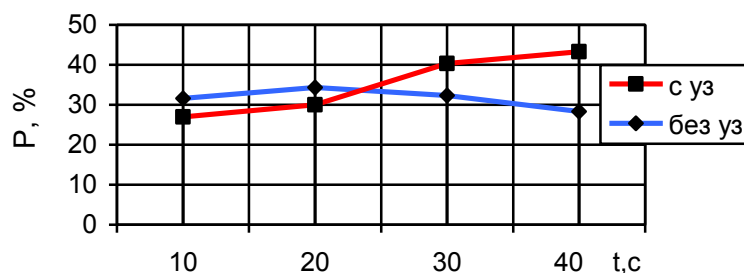


Рис. 2. Рельефность поверхности  $P$  в зависимости от времени обработки  $t$

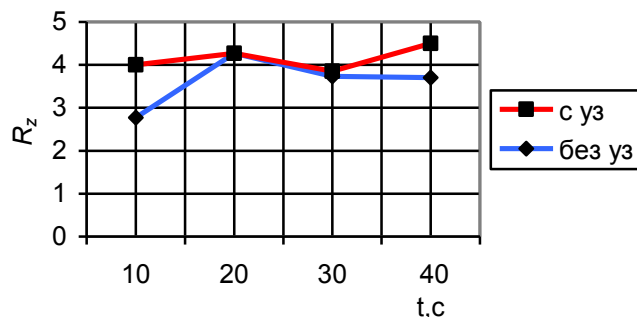


Рис. 3. Зависимость параметра  $R_z$  от времени обработки  $t$

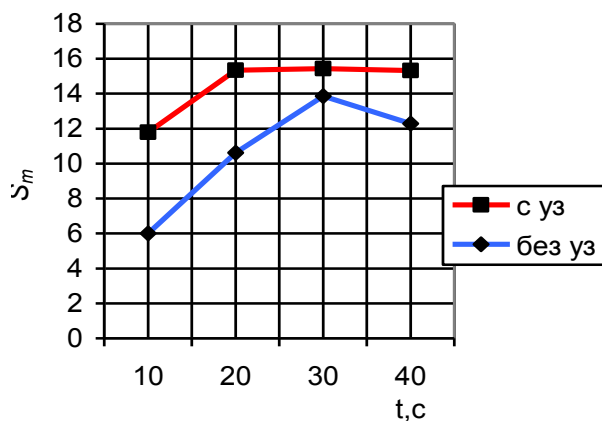


Рис. 4. Зависимость параметра  $S_m$  от времени обработки

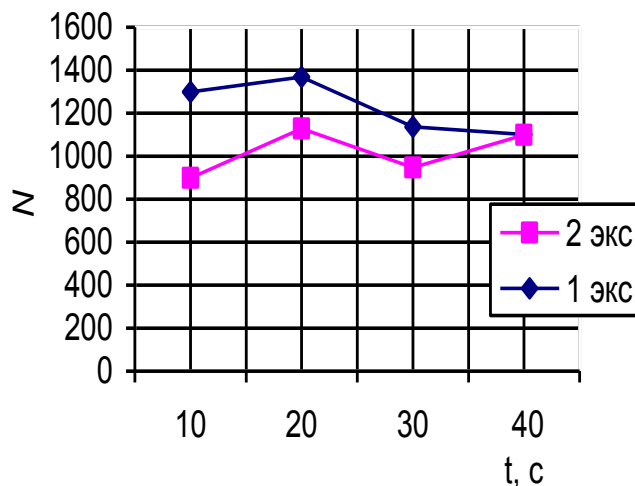


Рис. 5. Количество лунок ( $N$ ) в зависимости от времени и направления УЗК

Функции отклика, полученные в результате обработки экспериментальных данных, имеют следующий вид:

$$R_{\max} = e^{-1,21} A^{0,36} p^{0,075} t^{0,055}, \quad (1)$$

$$S_m = e^{1,4} A^{0,22} p^{0,01} t^{0,1}, \quad (2)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний образца, мкм;  $p$  – давление воздуха МПа;  $t$  – время обработки, с.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что из трех технологических факторов в наибольшей степени на величину элементов микрорельефа поверхности

влияет амплитуда ультразвука, влияние давления и времени меньше на порядок. При этом давление оказывает большее влияние на высоту элементов рельефа, а время – на их шаг.

Видно, что при комбинированной подготовке поверхности под электроплазменное напыление основными управляющими факторами можно считать амплитуду ультразвука и время. Давление желательно минимизировать по указанной выше причине – отрицательному влиянию на разброс значений элементов микрорельефа.

При изучении микрофотографий выяснилось, что с увеличением времени обработки при воздействии УЗ микрорельеф приобретает пространственный характер, ориентированный в направлении колебаний излучателя. Это может быть связано со скользящим характером взаимодействия частиц с поверхностью основы. Углубления и выступы становятся больше по размеру и гораздо длиннее. Можно предположить, что частицы покрытия при напылении будут сцепляться с ними гораздо лучше, чем при обычном рельефе.

На формирование ориентации рельефа может повлиять и то, что ультразвук особым образом действует на дефекты кристаллической решетки металла, они становятся подвижнее, изменяется предел прочности материала и, следовательно, он легче обрабатывается [6]. При направленном действии на подложку абразивной струи в зоне таких изменений повышается интенсивность обработки. Кроме этого, на рис. 6, а представлена микрофотография шлифа поверхности, подвергнутой воздействию УЗ. На ней чётко видно, что поверхность приобрела очертания стоячей волны, в то время как на микрофотографии 6, б не наблюдается подобного рельефа. Очевидно, что первая поверхность имеет более развитую морфологию рельефа и большую его площадь, что сказывается на последующем сцеплении покрытия с этой поверхностью.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что наложение ультразвуковых колебаний на основу в процессе абразивно-струйной обработки обеспечивает получение более развитого и однородного микрорельефа поверхности, что может способствовать повышению величины и равномерности адгезии, а значит – улучшению качества и надежности дентальных имплантатов с плазмонапыленными биопокрытиями.

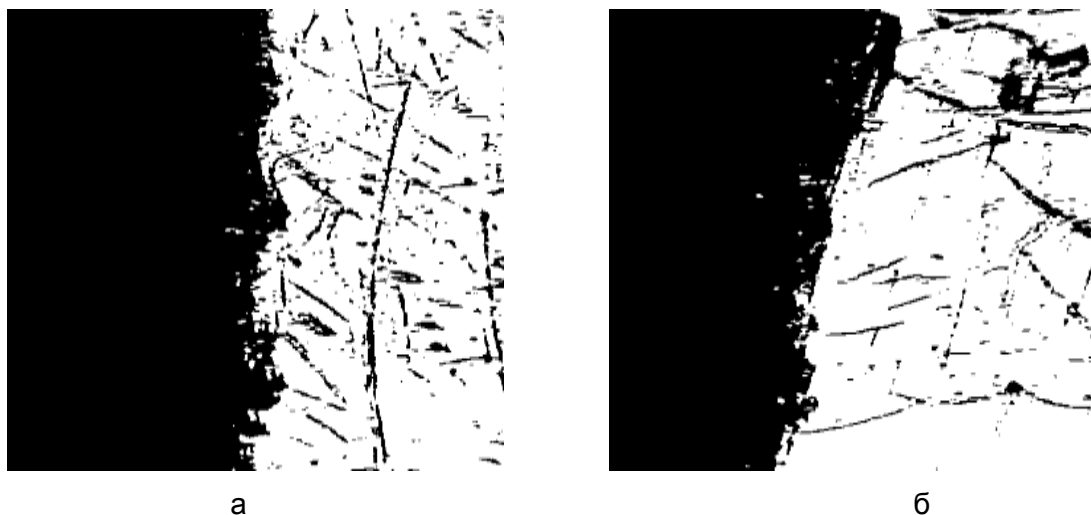


Рис. 6. Поверхность, подвергнутая УЗ (а) и обычной (б) абразивно-струйной обработке

### Выводы

1. На формирование микрорельефа абразивно-струйной обработкой с воздействием ультразвука существенно влияет ориентация колебаний изделия. Наибольший эффект достигается при направлении колебаний перпендикулярно потоку абразива.

2. Воздействие ультразвука на основу при абразивно-струйной обработке позволяет формировать более развитый ориентированный микрорельеф с меньшим разбросом величин параметров, чем при обработке по обычной схеме. При этом формируется большая площадь самого образца за счет изменения профиля поверхности.

3. Для подготовки поверхности под электроплазменное напыление можно рекомендовать следующие режимы, обеспечивающие формирование развитого микрорельефа с минимальным разбросом параметров, амплитуда колебаний 8 мкм, давление воздуха не более 4 МПа, время обработки – 20-30 с.

4. При электроплазменном напылении порошковых покрытий на поверхность, подготовленную абразивно-струйной обработкой с воздействием ультразвуковых колебаний перпендикулярно потоку абразива, можно ожидать увеличения его адгезионных характеристик и повышения равномерности адгезии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Конструирование, производство и применение внутрикостных стоматологических имплантатов: учеб. пособие / Н.В. Бекренёв, Н.В. Протасова, И.В. Родионов, А.В. Лясникова. Саратов: СГТУ, 2003. 76 с.

2. Лясникова А.В. Повышение качества электроплазменного напыления биопокрытий имплантатов на основе модифицирования подложки: автореф. ... канд. техн. наук / А.В. Лясникова. Саратов, 2002. 24 с.

3. Лясников В.Н. Плазменное напыление покрытий в производстве изделий электронной техники / В.Н. Лясников, В.С. Украинский, Г.Ф. Богатырев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1985. 200 с.

4. Мчедлов С.Г. Совершенствование технологии изготовления поршневых колец на основе применения тангенциальной обработки свободным абразивом поверхности под упрочняющее плазменное покрытие: автореф. ... канд. техн. наук / С.Г. Мчедлов. Саратов, 2002. 18 с.

5. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. Киев: Наукова думка, 1989. 279 с.

6. Хорбенко Н.Г. Ультразвук в машиностроении. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Н.Г. Хорбенко. М.: Машиностроение, 1974. 280 с.

#### **Бекренёв Николай Валерьевич –**

доктор технических наук,  
профессор кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Приходько Сергей Викторович –**

аспирант кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 678.5:665.9

**О.А. Гришина, В.И. Бесшапошникова, Т.Г. Никитина, Т.В. Куликова, Л.В. Луцкова**

### **ОГНЕЗАЩИЩЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ**

*Описывается технология модификации текстильных материалов с целью снижения горючести фосфорсодержащими замедлителями горения.*

*Изучены физико-механические и эксплуатационные свойства огнезащитных материалов. Разработаны пакеты огнезащитной утепленной спецодежды с учетом особенностей ее изготовления.*

**O.A. Grishina, V.I. Besshaposnikova, T.G. Nikitina, T.V. Kulikova, L.V. Lutskova**

## **FIRE-RESISTANT POLYMER FIBROUS MATERIALS FOR OVERALLS**

*The modification technology of textile materials aimed at reducing combustibility with phosphorus-containing fire retarded was developed. The physical-mechanical and operating properties of fire-resistant materials were studied in the article. The sets of fire-resistant cold proof overalls and peculiarities of their production were developed.*

Огромный интерес к синтетическим волокнам обусловлен тем комплексом свойств, которым они обладают: достаточно высокой прочностью, устойчивостью к истиранию, высокой упругостью, низким водопоглощением, устойчивостью к атмосферным воздействиям. Их применяют для изготовления изделий бытового (одежда, ковры, напольные покрытия, мебельные и гардинные ткани и др.) и технического (шинный корд, композиционные конструкционные материалы) назначения. Существенным недостатком волокон является горючесть. В большинстве стран мира приняты законы, запрещающие применение горючих текстильных материалов для отделки помещений и транспорта, в производстве некоторых товаров бытового назначения (одежда для пожилых людей, постельное белье и для других целей) и спецодежды. Поэтому проблема снижения горючести полимерных волоконистых материалов имеет первостепенное значение. Улучшение функциональных характеристик текстильных материалов или придание им новых свойств путем модифицирования за счет незначительного изменения или дополнения базовой технологии требует значительно меньших материальных затрат и времени, чем создание принципиально новых видов волокон. Поэтому модификация является одним из основных способов придания полимерным материалам специфических свойств [1, 2].

Цель работы заключается в совершенствовании технологии модификации полимерных волоконистых материалов, обеспечивающей получение текстильных материалов пониженной горючести и их применение в производстве огнезащитной утепленной спецодежды.

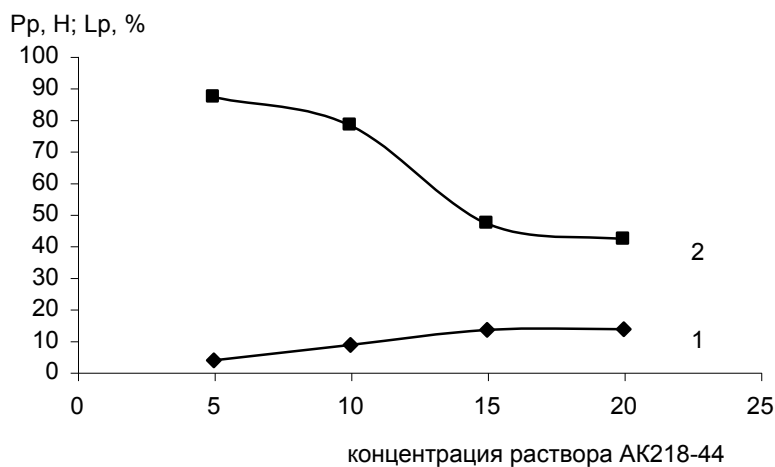
Материалы, используемые для изготовления спецодежды, не всегда отвечают стандартам, что приводит к преждевременному износу спецодежды и снижению надежности защиты человека от вредных производственных факторов [3, 4].

Исследование топографии износа спецодежды сварщика, эксплуатируемой в течение 6 и 12 месяцев показало, что износ начинается на передней части одежды в области полочек, бортов, рукавов и передних частей брюк в виде сквозных прожогов, масляных пятен, обугленных участков и разрыва ткани. Основными причинами повреждения спецодежды сварщика являются повышенная жесткость и образование заломов и складок, в которых задерживаются расплав металла, а также низкая термо- и огнестойкость материалов. Особенно опасным повреждением являются сквозные прожоги ткани окалиной, так как, разрушив огнезащитную ткань (ОЗТ) верха, раскаленный металл попадает на неогнезащитные материалы. Это, в свою очередь, может привести не только к травматизму, в виде легких ожогов, но и к возгоранию спецодежды с более тяжелыми последствиями для здоровья человека. Анализ существующей спецодежды сварщика также показал, что масса утепленной спецодежды приближается к 8,5-10 кг, что вызывает быструю утомляемость человека при ее эксплуатации. Поэтому для устранения выявленных

недостатков предлагаем использовать для изготовления спецодежды сварщика пакет из разработанных огнезащищенных материалов (ОЗМ).

В качестве утеплителя предлагается использовать объемный нетканый утеплитель (ОНУ) из полиэфирного волокна линейной плотности 0,84 текс (ТУ 6-13-0204077-92-88). ОНУ для одежды получали на опытно-промышленной линии, включающей в себя операции подготовки волокнистого холста, замасливание с целью снятия статического электричества, чесание и холстоформирование, пропитку волокнистого холста связующим, сушку и термофиксацию, охлаждение полотна и наматывание готового полотна на приемное устройство. В качестве связующего исследовали возможность применения акрилового латекса АК-218-44. Концентрацию раствора связующего изменяли от 5 до 20%. Связующее наносится путем распыления через форсунки распылителей, установленных на каретках и осуществляющих возвратно-поступательное движение. Распыление связующего осуществляется в два приема на входе и выходе сушильной машины, что дает возможность нанесения связующего на обе стороны полотна. Расход связующего регулируется количеством распылителей. Окончательное формирование структуры нетканого полотна происходит во второй сушильной машине. Испытание полученных материалов проводили по стандартным методикам.

Результаты исследований показали, что прочность холста зависит от количества и природы связующего. С увеличением концентрации раствора связующего от 5 до 20%, прочность холста, поверхностной плотности 150 г/м<sup>2</sup>, возрастает до 13,5 Н (см. рисунок, кр. 1). Максимальная прочность полотна достигается при нанесении 15%-го раствора связующего. Разрывное удлинение составляет 50-47% (см. рисунок, кр. 2). При этом на волокнах в структуре ОНУ удерживается примерно 12,5-13% масс связующего.



Зависимость прочности (1) и удлинения (2) объемного нетканого полотна от концентрации раствора связующего АК 218-44

Объемный нетканый утеплитель на основе акрилового латекса АК 218-44 характеризуется высокой упругостью, деформации (через 20 мин) полностью обратимы. Несминаемость составляет по длине 90, по ширине 95%, жесткость по длине 10008, по ширине 12011 мкН·см<sup>2</sup>. ОНУ обладает хорошими теплозащитными свойствами, суммарное тепловое сопротивление 0,39 м<sup>2</sup>·°С/Вт, при толщине 3,5 мм под давлением 196 Па.

С целью снижения горючести тканей верха и ОНУ, скрепленного акриловым латексом АК 218-44 и термоскрепленного, модификацию осуществляли фосфорсодержащими замедлителями горения (ЗГ): 5%-м раствором фосдиола (ФД), диметилметилфосфоната (ДММР) и метилфосфонамида (Т-2), методом пропитки и пропиткой под воздействием энергии лазерного СО<sub>2</sub> излучения (ЛИ) на модернизированной лазерной установке «Комета-2».



Сравнительный анализ значений КИ ОЗМ, модифицированных разными способами, но содержащих одинаковое количество фосфора, табл. 1, показал, что модификация с применением энергии ЛИ является более эффективной и способствует увеличению ΔКИ почти в 2 раза.

Таблица 1

## Сравнительная характеристика свойств ОЗВ

Состав образца,	Способ обработки,	[С] ЗГ в растворе, % масс	P, %	КИ, % об	Δ КИ, %
76,6 ПЭ + 23,4 Т-2	Пропитка	50	7,4	28	8
76,6 ПЭ + 23,4 Т-2	ЛИ, 5,3Вт/см <sup>2</sup> , 30 с	3	7,4	35,5	15,5
91 ПЭ + 9 ДММР	Пропитка	50	2,25	27,5	7,5
91ПЭ+9 ДММР	ЛИ, 5,3Вт/см <sup>2</sup> , 10 с	5	2,25	29,5	9,5
76 ПЭ + 24 ФД	Пропитка	20	3,24	25,5	5,5
75,9 ПЭ+ 24,1 ФД	ЛИ, 5,3Вт/см <sup>2</sup> , 30 с	5	3,25	41,5	21,5

ΔКИ – разность между кислородным индексом модифицированного и исходного полимера

Высокая эффективность модификации с применением ЛИ обусловлена его воздействием на структуру волокна, приводящим к ее упорядочению, о чем свидетельствует возрастание степени кристалличности немодифицированного полиэфирного волокна на 7-11%, огнезащищенного на 11-20,8%. Кроме того, ЛИ воздействует на надмолекулярную структуру волокна, способствуя повышению активности отдельных звеньев макромолекулы полимера волокна и реакционной способности ЗГ, что приводит к возрастанию количества ЗГ в структуре волокна. Из сравнения значений количества фосфора, полученных с помощью аналитической приставки Link с поверхности волокна и определенных по привесу ЗГ на волокне, видно, что при модификации методом пропитки значения отличаются на 17,3%, а под воздействием ЛИ – на 44,5%, табл. 2. Это может свидетельствовать о том, что при модификации методом пропитки только 17,3% ЗГ проникает в структуру волокна, то есть модификация в основном носит поверхностный характер. ЛИ обеспечивает проникновение ЗГ в структуру волокна.

Таблица 2

## Данные анализа содержания фосфора в ОЗВ

Состав образцов	Способ модификации	Количество фосфора, %, определено методом		Изменение показателей, %
		на приборе Link	расчетным, по привесу ЗГ	
85 ПЭ+15 Т-2	пропитка	3,97	4,8	17,3
76 ПЭ+ 24 Т-2	ЛИ, W <sub>n</sub> -5,3 Вт/см <sup>2</sup> , 30 с	4,26	7,68	44,5

Таким образом, снижение горючести ОЗМ обусловлено не только вводимым ЗГ и содержанием фосфора, но и его распределением в объеме волокна. Разработанная технология модификации с применением энергии ЛИ позволяет получать высокий эффект огнезащиты при модификации из низкоконцентрированных растворов ЗГ.

В качестве мягчителя, для придания мягкого грифа и снижения жесткости тканей, использовали раствор октамона. Определено, что оптимальная концентрация раствора октамона 3%, при этом жесткость ОЗТ снижается на 3-12%, по сравнению с исходной.

Исследование свойств ОЗМ, модифицированных по разработанной технологии с применением ЛИ, табл. 3, подтвердило их соответствие требованиям ГОСТ 12.4.105-81, предъявляемым к материалам для спецодежды сварщика.

Таблица 3

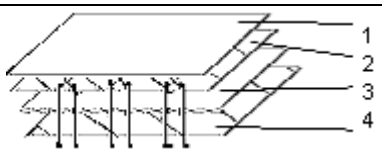
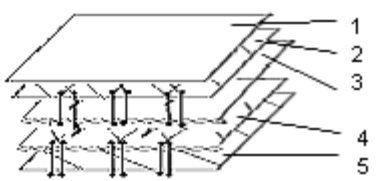
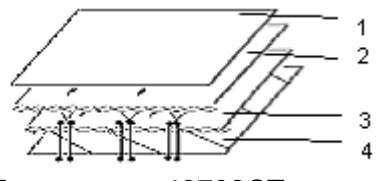
Сравнительная характеристика свойств тканей верха, подкладки и ОНУ для спецодежды

Состав образца, % масс.	КИ, % об	M <sub>s</sub> , г/м <sup>2</sup>	Жесткость при изгибе, мкН·см <sup>2</sup>	Рр, Н	Исти- рание, циклы
			основа/уток	осн./уток	
Тк. арт. 49702СН (50ПЭ+50Ш) (исходная)	18	377	14427/14173	1490/1280	10843
ОЗТ арт. 49702СТ, 75(ПЭ+Ш)+25Т-2	35,5	502	14386/14068	1560/1320	11279
ОЗТ арт. 49702СФ, 76(ПЭ+Ш)+24ФД	32,5	496	13949/13960	1790/1300	11938
ОЗТ арт. 49702СД, 84(ПЭ+Ш)+16ДММР	32,5	448	14309/13991	1500/1300	11869
Ткань арт. 52194, 100 ПЭ (исходная)	19	71	1495/1451	750/610	1570
ОЗТ арт. 52194Т, 80ПЭ+20Т-2	29	88	1097/1115	800/660	1620
ОЗТ арт. 52194Ф, 80 ПЭ+20ФД	31,5	88	1019/1016	810/670	1870
ОЗТ арт. 52194Д, 93 ПЭ+7ДММР	29	76	1429/1120	770/630	1651
Тк. арт. 42966 60ВВ+40ПЭ	19	183	1987/1740	890/720	2150
ОНУ арт. 935577 (100 ПЭ) (исходный)	20	100	8950/10120	10/17	–
ОНУ арт. 935577НТ (76ПЭ+24Т-2)	42	131	8814/10009	12/18	–
ОНУ арт. 935577НФ (76ПЭ+24 ФД)	41	131	8725/9980	12,5/19	–
ОНУ арт. 935577НД (87ПЭ+13ДММР)	31,5	115	8910/10095	11/17,5	–
ОНУ арт. 935580 (88 ПЭ+12 АК-218-44) (исходный)	17	100	9356/11235	10,7/18	–
ОНУ арт. 935580Т (80ПЭ+20Т-2)	29	125	9300/11121	11,3/19	–
ОНУ арт. 935580Ф (80ПЭ+20 ФД)	27,5	125	9243/11065	12/18,6	–
ОНУ арт. 935580Д (89ПЭ+11ДММР)	27	112	9298/11109	11,5/19	–

Прочность при разрыве и устойчивость к истиранию по плоскости ОЗТ возрастают на 5-15%, по сравнению с исходной. Воздухопроницаемость основной ОЗТ арт. 49702 снижается до 29-31 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с. Возрастание поверхностной плотности и незначительное снижение воздухопроницаемости свидетельствуют об уплотнении структуры материала в результате модификации. Усадка ОЗТ составляет 1,1-2%. КИ ОНУ термоскрепленных арт. 935577 выше на 4,5-13%, чем арт. 935580, скрепленных акриловым латексом АК218-44, за счет высокой горючести последнего. ОЗМ, ткани верха и ОНУ арт. 935577, характеризуются высоким значением кислородного индекса (КИ) 31,5–42% об и устойчивостью к воспламенению при действии источника зажигания от 20 до 35 кВт/м<sup>2</sup>, что относит ОЗМ по воспламеняемости к материалам группы В2, а по горючести к трудносгораемым материалам. Скорость распространения пламени по поверхности образца ОЗМ Т-2 в условиях КИ равна 6,7·10<sup>-4</sup> м/с. Гигроскопичность ОЗТ арт. 49702 составляет 8-8,4%, что обеспечит необходимую комфортность пододежного пространства.

Для обеспечения требуемых показателей качества утепленной спецодежды исследовали влияния состава пакета одежды и его толщины на теплозащитные свойства, табл. 4. Установлено, что теплозащитные свойства пакета материалов не зависят от модификации фосфорсодержащими замедлителями горения, а определяются толщиной пакета одежды.

Таблица 4

№ пакета	Состав пакета	Толщина, мм, (без давления / под давлением 196 Па)	Теплопроводность, Вт/м·К	Суммарное тепловое сопротивление, м <sup>2</sup> ·К/Вт	Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с
1.	 <p>1 – ОЗТ верха арт. 49702СТ 2 – ОЗТ арт. 52194 (80ПЭ+20Т-2) 3 – ОЗТ ОНУ арт. 935577НТ (76ПЭ+24Т-2) 4 – ткань арт. 42966 (60ПЭ+40Т-2)</p>	8,41/4,85	0,044	0,191	7,1
2.	 <p>1 – ОЗТ верха арт. 49702СТ 2 – ОЗТ арт. 52194 (80ПЭ+20Т-2) 3 – ОЗТ ОНУ арт. 935577НТ (76ПЭ+24Т-2) 4 – ОНУ арт. 933577 (100ПЭ) 5 – ткань арт. 42966 (60ПЭ+40Т-2)</p>	14,95/8,3	0,035	0,427	4,2
3.	 <p>1 – ОЗТ верха арт. 49702СТ 2 – ОЗТ ОНУ арт. 935577НТ (76ПЭ+24Т-2) 3 – ОНУ арт. 933577 (100ПЭ) 4 – ткань арт. 42966 (60ПЭ+40Т-2)</p>	14,92/8,05	0,034	0,438	4,0

Увеличение количества слоев ОНУ до двух значительно повышает теплозащитные свойства пакета спецодежды, образцы № 2 и № 3. Воздухопроницаемость пакетов низкая и соответствует нормативным требованиям утепленной спецодежды. Невысокая жесткость и масса материалов обеспечат большую устойчивость к образованию заломов и складок в местах сгибов, относительно гладкая поверхность (коэффициент тангенциального сопротивления ОЗТ 1,75-1,8) – быстрое удаление расплава металла с поверхности одежды, а высокая степень огнезащиты ткани верха и утеплителя – надежную защиту при эксплуатации спецодежды.

Использование ОЗТ арт. 52194 в качестве слоя простегивания ОНУ позволит избежать проблемы его миграции на лицевую сторону одежды, однако, в целях экономии можно использовать пакет № 3. Предлагаемые пакеты материалов обладают меньшей массой, за счет применения ОНУ поверхностной плотности 100-120 г/м<sup>2</sup>, что в 3-4 раза меньше ватинов, и не будут вызывать утомляемость человека при эксплуатации спецодежды.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана технология модификации текстильных материалов, позволяющая получать высокий эффект огнезащиты при модификации из низкоконцентрированных растворов. Доказано соответствие разработанных огнезащищенных материалов государственным стандартам и обоснована возможность их применения в производстве спецодежды для защиты от повышенных температур и брызг расплава металла.

2. Разработана структура пакетов утепленной спецодежды из огнезащищенных материалов. Установлена взаимосвязь теплозащитных свойств от состава и способа расположения слоев в пакете одежды. Предлагаемое изделие обладает меньшей массой и жесткостью, высокими тепло- и огнезащитными свойствами и комфортностью пододежного пространства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелкин К.Е. Принципы и методы модифицирования волокон и волокнистых материалов / К.Е. Перепелкин // Химические волокна. 2005. № 2. С. 37-51.

2. Айзенштейн Э.М. Производство и потребление полиэфирных волокон. Сегодня и завтра / Э.М. Айзенштейн // Текстильная промышленность. 2003. № 11-12. С. 72-75.

3. Фомченкова С.П. Современные материалы для спецодежды / С.П. Фомченкова // Текстильная промышленность. 2002. № 7. С. 15-17.

4. Принципы выбора тканей для изготовления пожаробезопасной спецодежды / Н.И. Константинова, Н.С. Зубкова, Г.И. Болодьян и др. // Текстильная промышленность. 2002. № 10. С. 19-21.

### **Гришина Оксана Александровна –**

аспирантка, ассистент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

### **Бесшапошникова Валентина Иосифовна –**

кандидат технических наук, доцент,  
докторант кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

### **Никитина Татьяна Геннадьевна –**

аспирантка, ассистент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

### **Куликова Татьяна Владимировна –**

аспирантка, ассистент кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

### **Луцкова Людмила Валентиновна –**

старший преподаватель кафедры «Технология и конструирование швейных изделий»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**И.В. Родионов, Ю.В. Серянов**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТАХ**

*Проведены экспериментальные исследования по анодному оксидированию пескоструйно обработанных титановых имплантатов. Исследовано влияние добавки  $\text{CuSO}_4$  в сернокислый электролит на линейную скорость роста оксидных покрытий. Показана возможность совмещения процессов анодного обезжиривания и оксидирования имплантатов с целью сокращения продолжительности технологического цикла их изготовления. Разработана конструкция специализированной электрохимической ванны для реализации технологии группового анодирования заготовок дентальных имплантатов.*

**I.V. Rodionov, Yu.V. Seryanov**

## **APPLICATION OF ANODIC OXIDISATION TECHNOLOGY AT OF BIOCOMPATIBLE COVERINGS ON DENTAL IMPLANTS CREATION**

*The experimental researches on anodic oxidisation of the air-sand processed titanium preparations implants are carried out. The influence of the additive  $\text{CuSO}_4$  in sulphate electrolyte on peripheral speed of propagation of oxidic coverings is researched here. The opportunity of use of the combined process of an anodic defatting and oxidisation implants shown with the purpose of down stroke of duration of a technological route of their manufacturing. The design of the specialized electrochemical bath for realization of group technology anodic oxidisation of preparations dental implants is developed.*

Современная стоматология успешно решает задачи лечения дефектов и повреждений зубных рядов за счет установки в альвеолярный гребень челюсти внутрикостных дентальных имплантатов, играющих роль искусственных корней зубов. При этом имплантационные материалы должны обладать высокими показателями биологической совместимости со средой, окружающей имплантат, и механической совместимости с действующими на него функциональными нагрузками. Таким требованиям удовлетворяют несколько видов металлических и неметаллических материалов, среди которых шире всего для изготовления дентальных имплантатов применяется технический титан ВТ1-00.

Высокая надежность и продолжительность функционирования титановых имплантатов достигается путем использования методов создания на них биоактивных покрытий, обеспечивающих остеоинтеграцию имплантата и формирование единой биомеханической системы «кость-имплантат». Одним из эффективных и широко применяемых методов нанесения биоконпозиционных покрытий является плазменное напыление, позволяющее получать покрытия из различных биоактивных материалов с оптимальными показателями адгезии, пористости и морфологии, способствующими остеоинтеграции [1-4].

Вместе с процессами напыления исследуются и разрабатываются методы электрохимического формирования на титановых имплантатах биосовместимых оксидных покрытий при использовании высокой склонности титана к пассивации в окислительной среде [5]. По-

лучаемые пассивные слои обладают высокими защитными качествами и препятствуют электрохимическому взаимодействию имплантата с биосредой, исключая опасность его коррозионного разрушения и появления вредных изменений в биоструктурах.

Оксидные покрытия на титановых имплантатах получают путем их электрохимического анодирования в сернокислых электролитах, при этом покрытия могут иметь высокие адгезионные качества, однородную пористую структуру, требуемую морфологию поверхности. Наличие диэлектрических свойств оксидных покрытий создает возможность их электризации с формированием характеристик отрицательно-монопольного электрета. Это придает покрытиям способность к адсорбции протеинов, стимулирующую остеоинтеграцию, а также антитромбогенные свойства.

Серьезным недостатком технологии анодирования имплантатов в сернокислых электролитах является длительность формирования покрытий, превышающая 2 часа, а также сложный технологический маршрут изготовления изделий. Поэтому целью настоящей работы являлось исследование влияния состава электролита на формирование анодно-оксидных биосовместимых покрытий титановых дентальных имплантатов и возможности реализации совмещенного технологического процесса анодного обезжиривания и оксидирования, включая разработку специализированного оборудования.

**Методика проведения исследований.** Объектами экспериментов служили пластинчатые образцы, изготовленные из технического титана ВТ1-00 в форме «флажков», с рабочей поверхностью  $2 \text{ см}^2$  и толщиной 1 мм. Образцы подвергались предварительной подготовке поверхности с помощью пескоструйной обработки корундовым порошком на установке «Чайка-20» при избыточном давлении воздушно-абразивной струи 0,65 МПа в течение 8 мин. Процесс анодирования осуществлялся в стандартной трехэлектродной термостатируемой ячейке с полым цилиндрическим катодом из титана, насыщенным хлорсеребряным электродом сравнения (н.х.с.э.), а также с анодируемым пластинчатым электродом-образцом. В качестве рабочих электролитов анодирования использовались: электролит №1 200 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и электролит №2 200 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 50 \text{ г/л CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Для совмещенного процесса анодного обезжиривания и оксидирования применялся электролит №3 200 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 5 г/л сульфанола, 15 г/л  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Рабочие электролиты приготавливались на основе дистиллированной воды и реактивов квалификации «х.ч.». Жировые загрязнения поверхности образцов имитировались путем нанесения пленок пальмитиновой и стеариновой кислот, вазелина и ЦИАТИМ. Эксперименты производились в гальваностатических условиях, реализуемых с помощью источника постоянного тока Б5-47. Потенциалы анодирования  $E$  измерялись мультиметром В5-12 относительно н.х.с.э., термостатирование электрохимической ячейки осуществлялось термостатом MLW с точностью  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

**Результаты исследования влияния добавки  $\text{CuSO}_4$  в сернокислый электролит на формирование анодно-оксидных биосовместимых покрытий.** Исследование оксидирования пескоструйно обработанных титановых (ВТ1-00) образцов в электролите №1 200 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , показало, что время окончания процесса анодирования до достижения покрытием разумной с биомеханической точки зрения толщины  $h=10-30 \text{ мкм}$ , составляет величину порядка  $\tau=2$  часов и более. Это значительно увеличивает продолжительность маршрутного технологического цикла производства имплантатов, в связи с чем был исследован электролит №2 с добавкой сульфата меди – 200 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 50 \text{ г/л CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

При исследовании было установлено, что по мере роста толщины оксидного покрытия при значениях времени анодирования  $\tau=2-5$  мин происходит сдвиг потенциала анодирования в положительную область до величин  $E=18-26 \text{ В}$  (рис. 1, а) или  $E=17-24 \text{ В}$  (рис. 1, б), после чего потенциалы анодирования стабилизируются при всех исследованных температурах.

Вольт-амперные характеристики анодированного в электролитах №1 и №2 титана при интервале плотностей анодного тока  $i=0-10 \text{ мА/см}^2$  являются линейными и мало отличаются друг от друга, что соответствует близким значениям удельной электропровод-

ности получаемых оксидных покрытий, равных  $\sigma_1=3,7 \cdot 10^{-8}$  См/см и  $\sigma_2=4,0 \cdot 10^{-8}$  См/см, соответственно.

При более высоких значениях тока  $i \geq 10$  mA/cm<sup>2</sup> анодирование пескоструйно обработанного титана в электролите № 2 повышает удельную электропроводность оксидных пленок примерно в 2,5 раза, которая достигает величины  $\sigma_2=10^{-7}$  См/см. Это объясняется тем, что добавка катионов Cu<sup>2+</sup> активирует анод и оказывает деполяризующее действие.

Наиболее вероятным механизмом такого эффекта следует считать обратимую электрохимическую реакцию [6]:



с равновесным потенциалом  $E_p^0=0,48$  В по н.х.с.э., которая при  $E \geq 18,8$  В по н.х.с.э. начинает обеспечивать необратимую химическую реакцию образования оксида меди:



Оксид CuO обладает достаточно большой дырочной проводимостью, частично шунтирующей малую дырочную проводимость TiO<sub>2</sub> при включении частиц примесного CuO в состав оксидной пленки.

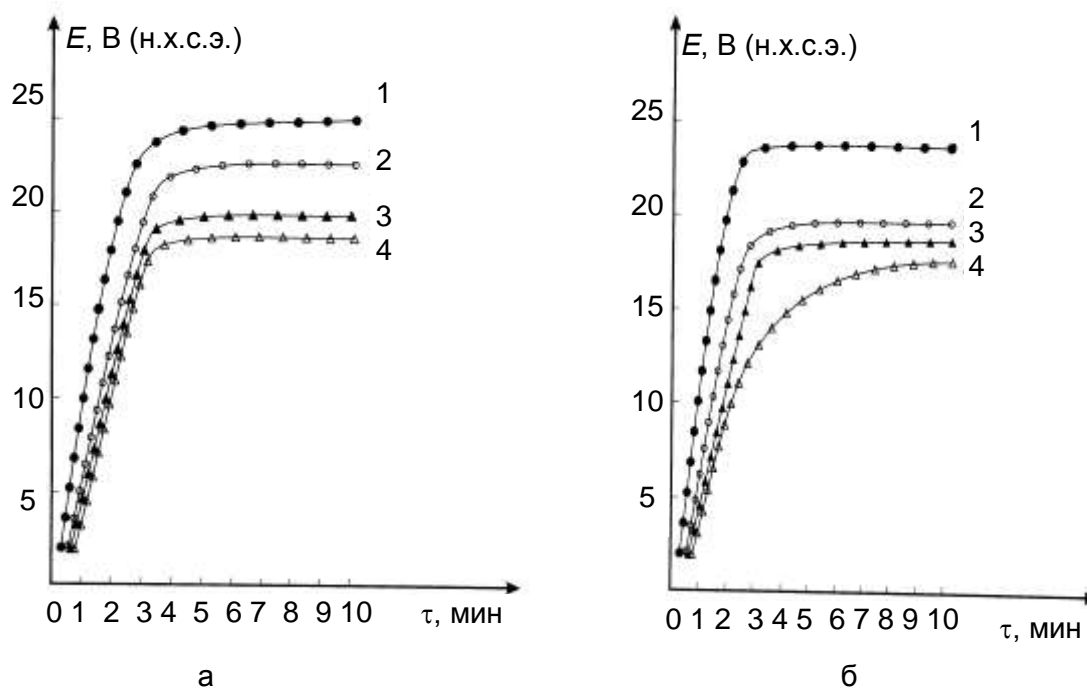


Рис.1. Температурно-кинетические зависимости потенциалов анодирования титана при плотности тока 5 mA/cm<sup>2</sup>: а – 200 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; б – 200 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 50 г/л CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O: 1 – 25°C; 2 – 35°C; 3 – 45°C; 4 – 55°C

Кроме этого, присутствие в оксидном покрытии определенного количества меди способствует антисептическому действию на окружающую имплантат биологическую среду, что снижает риск возникновения воспалительных процессов в послеоперационный период.

Проведенные экспериментальные исследования по анодированию титана в двух типах электролитов позволили определить ряд параметров, необходимых для эффективного формирования на имплантатах оксидных биосовместимых покрытий (см. таблицу).

Активация титанового анода при анодировании в электролите № 2 приводит к существенному повышению линейной скорости роста оксидных слоев, что было доказано с помощью микрофотографического измерения толщины анодно-оксидных покрытий на пескоструйно обработанных титановых образцах (рис. 2).

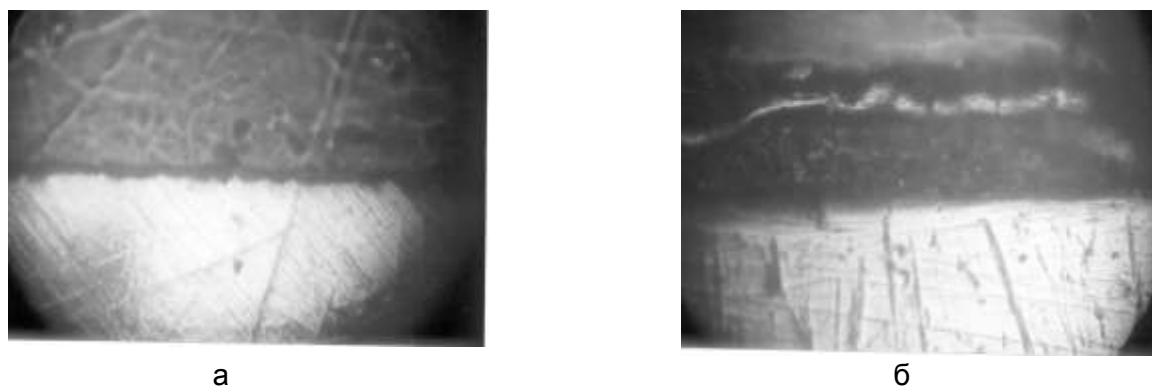


Рис.2. Микрошлифы поперечного среза оксидированных титановых образцов ( $\times 190$ ): а – в электролите № 1 ( $h=10$  мкм); б – в электролите № 2 ( $h=30$  мкм)

Рекомендуемые параметры анодирования титановых (BT1-00) заготовок имплантатов в различных электролитах

Электролит	$\Delta E_c^*$ , В	$t^*$ , °С	$i^*$ , мА/см <sup>2</sup>	$h_{\text{TiO}_2}^*$ , мкм	$J$ , нм/с	$\tau^*$ , ч
№ 1	0,17	25	15	10	3,1	0,9
№ 2	0,15	25	50	10	10,2	0,3

Из данных таблицы можно сделать два главных вывода:

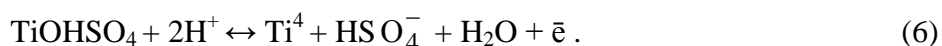
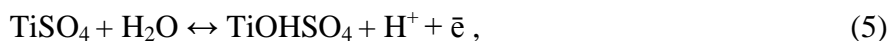
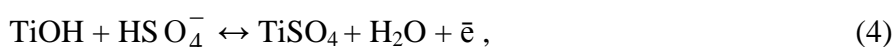
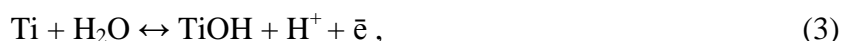
– активация анода добавкой в электролит № 1 50 г/л  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  позволяет в 3 раза увеличить скорость роста толщины оксидного покрытия и в 3 раза сократить продолжительность процесса анодного оксидирования имплантатов;

– добавка медного купороса незначительно влияет на коррозионно-электрохимические свойства анодного оксидного покрытия титана, уменьшая величину  $\Delta E_c$  всего лишь на 20 мВ.

**Результаты исследования совмещения процесса анодного обезжиривания и оксидирования титановых имплантатов.** Из-за миниатюрности и сложности конструкций дентальных имплантатов, применение анодирования в технологической цепочке их изготовления вызывает определенные трудности, связанные, в частности, с рассеивающей способностью электролитов и полнотой удаления жировых или других загрязнений, неизбежно возникающих при механическом или электроэрозионном формообразовании заготовок.

Поскольку анодное обезжиривание известно как самостоятельный и достаточно эффективный метод очистки металлической поверхности [7], то исследование возможности одновременного обезжиривания и анодирования титановых имплантатов является весьма целесообразным, так как позволяет существенно сократить продолжительность технологического цикла изготовления имплантатов.

Механизм анодирования титана в сернокислом электролите можно представить в виде постадийной отдачи электронов, катализируемой электросорбцией молекул воды и первичных сульфатных анионов (индексы адсорбированного состояния опущены):





Наиболее быстрой в этой схеме является реакция (3) при  $E_p^0 = -1,75$  В, а наиболее медленной – реакция (6) при  $E_p^0 = -0,04$  В по н.в.э. [8]. Это связано с тем, что на границе раздела фаз в больших поверхностных концентрациях присутствует катион одновалентного титана, образующийся по реакции:



С другой стороны, в параллельном анодном процессе идет образование аниона  $\text{O}_2^-$  по реакциям:



первая из которых характеризуется величиной  $E_p^0 = 0,88$  В [8].

Основная реакция анодного оксидирования титана реализуется в виде химического окисления катиона  $\text{Ti}^+$  анионом  $\text{O}_2^-$ :



Промежуточные электросорбционные интермедиаты, образующиеся в реакциях (3)-(9), а также конечный продукт в виде  $\text{TiO}_2$ , формирующийся по реакции (10), легко вытесняют жировые пленки с анодной поверхности. По мере утолщения слоя  $\text{TiO}_2$  описанные выше процессы анодного растворения и оксидирования переходят с поверхности титана в объем покрытия и начинают контролироваться твердофазной ионной миграцией катионов  $\text{Ti}^+$  и анионов  $\text{O}_2^-$ . Соответствующее теоретическое рассмотрение приводит при этом к следующей формуле для описания кинетики положительного сдвига потенциала анодирования титана:

$$\Delta E = i\lambda/\sigma = \frac{2k\rho F}{\eta\sigma M} \sqrt{2\pi D\tau} C_{\text{O}_2}^0 \operatorname{erf}\left(\frac{\lambda}{\sqrt{2D\tau}}\right) , \quad (11)$$

где  $i$  – плотность анодного тока;  $\lambda$  – эффективная глубина проникновения  $\text{O}_2^-$  в растущую пленку  $\text{TiO}_2$  с удельной электропроводностью  $\sigma$ ;  $k$  – константа скорости роста пленки;  $\eta$  – выход по току в расчете на образование диоксида титана;  $\rho$  и  $M$  – плотность и молекулярная масса оксида титана;  $D$  и  $C_{\text{O}_2}^0$  – коэффициент твердофазной диффузии и поверхностная концентрация анионов  $\text{O}_2^-$ ;  $\tau$  – время анодирования.

Исходя из известных асимптотических свойств функции ошибок, на основании выражения (11) можно заключить, что при малой продолжительности анодирования  $\tau \leq \lambda^2/8D$  и толщинах оксидной пленки получается параболический закон роста в виде:

$$\Delta E = \frac{2k\rho F}{\eta\sigma M} \sqrt{2\pi D\tau} C_{\text{O}_2}^0 , \quad (12)$$

а при большой продолжительности  $\tau \gg \lambda^2/8D$  и толщинах сдвиг потенциала перестает зависеть от времени:

$$\Delta E_\infty = \frac{4k\rho F\lambda}{\eta\sigma M} C_{\text{O}_2}^0 . \quad (13)$$

По данным рентгенофазового анализа (РФА), получаемые в совмещенном процессе анодные оксидные покрытия отвечают общей формуле  $\text{TiO}_{2-x}$  при  $x \ll 1$ , что позволяет применить к интерпретации полученных результатов построенную выше теорию.

Действительно, по данным рис.3 видно, что экспериментальные зависимости  $\Delta E$ - $\tau$  для анодирования титана в присутствии пленок пальмитиновой кислоты при  $\tau \leq 3$  мин хорошо ап-

проксимируются законом параболического роста (12), а при больших значениях времени устанавливаются постоянные значения  $\Delta E_{\infty}$ , линейно нарастающие с увеличением плотности тока и уменьшающиеся с ростом температуры при удельной электропроводности  $\sigma=1,2$  мкСм/см и ее энергии активации 21,4 кДж/моль.

Это достаточно хорошо согласуется с предположением о лимитирующей стадии твердофазной диффузии анионов  $O_2^-$  в объеме оксидной пленки.

Аналогичные результаты были получены и для других пленок жировых загрязнений (рис. 4). При этом наиболее гидрофобные пленки стеариновой кислоты обладают наименьшей проницаемостью для молекул воды, что приводит к наименьшим значениям  $C_{O_2}^0$  и  $\Delta E$  (кривая 1), а наименее гидрофобные пленки ЦИАТИМ наиболее водопроницаемы и дают наибольшие значения  $C_{O_2}^0$  и  $\Delta E$  (кривая 4). В связи с этим следует считать, что кинетика роста оксидной пленки на титане существенно зависит от химической природы жирового загрязнения.

Толщины получаемых пленок  $TiO_{2-x}$  составляют 20-30 мкм при  $i=2,4$  А/дм<sup>2</sup>,  $t=60^\circ C$ ,  $\tau=10-15$  мин,  $\eta=50\%$ . Лазерный микроспектральный анализ (ЛМА) показал, что интенсивность линии углерода  $\lambda_{max}=247,85$  нм анодированного титана примерно равна интенсивности такой же характерной линии для поверхности эталонного титанового образца, т.е. отвечает естественной примеси карбида титана, что свидетельствует о полноте анодного обезжиривания.

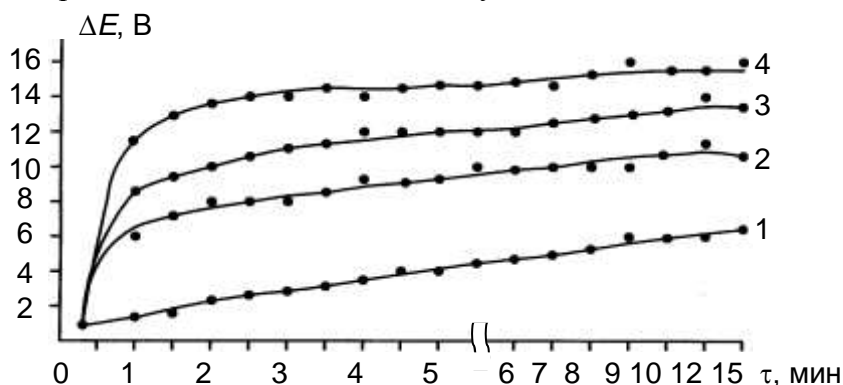


Рис. 3. Кинетика поляризации поверхности при совмещенном процессе обезжиривания от пленок пальмитиновой кислоты и анодного оксидирования титана при  $t=60^\circ C$  и различных плотностях тока, А/дм<sup>2</sup>: 1 – 0,6; 2 – 1,2; 3 – 1,8; 4 – 2,4

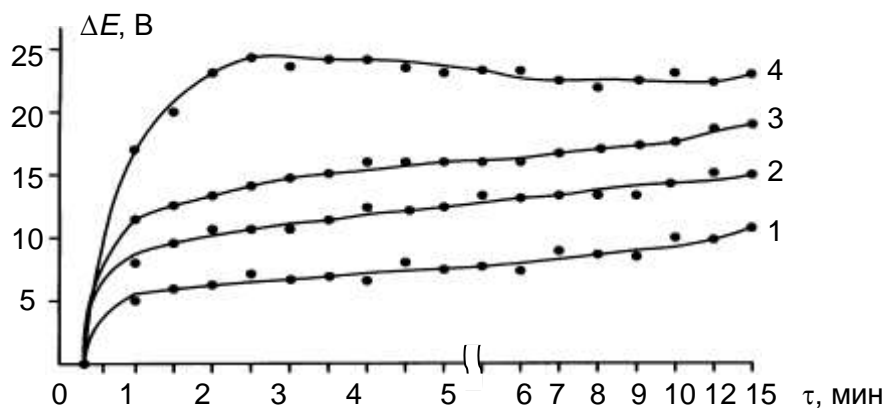


Рис. 4. Кинетика поляризации поверхности при совмещенном процессе обезжиривания и анодирования титана при  $t=60^\circ C$  и  $i=2,4$  А/дм<sup>2</sup>: 1 – пленка стеариновой кислоты, 2 – пленка вазелина, 3 – пленка пальмитиновой кислоты, 4 – пленка смазки ЦИАТИМ

Таким образом, рассмотренные закономерности показывают принципиальную возможность реализации совмещенного обезжиривания и анодирования титановых заготовок с целью получения биосовместимых оксидных покрытий дентальных имплантатов.

На основании полученных результатов разработан усовершенствованный маршрут технологических операций по производству дентальных имплантатов с анодно-оксидными биосовместимыми покрытиями (рис. 5). Данный маршрут изготовления анодированных имплантатов включает объединенный двумя электрохимическими процессами этап, позволяющий минимизировать затраты и производственное время на изготовление изделий. Совмещение процессов анодирования и обезжиривания имплантатов позволяет на новом уровне подойти к разработке современных технологий нанесения покрытий.

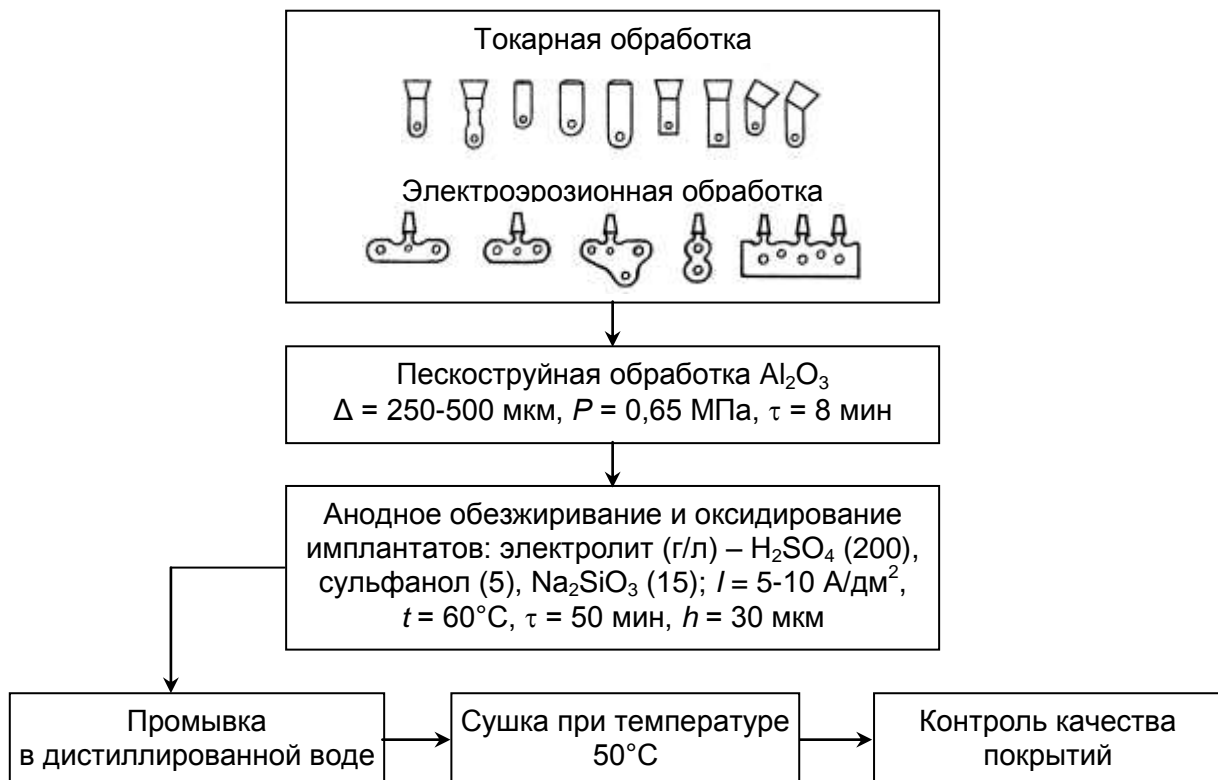


Рис. 5. Блок-схема маршрутной технологии изготовления дентальных имплантатов с анодно-оксидными покрытиями

**Разработка специализированной гальванической ванны для группового анодирования имплантатов.** Для осуществления способа группового анодирования имплантатов разработана конструкция специализированной гальванической ванны, позволяющей одновременно формировать покрытия на заготовках в количестве 10 и более штук (рис. 6).

Ванна состоит из двух цилиндрических корпусов разного диаметра, выполненных из оргстекла, – внешнего 6, имеющего углубление на середине основания, и внутреннего 4 со специальным выступом 19. Выступ 19 корпуса 4 обеспечивает его фиксацию внутри корпуса 6 на некотором расстоянии от его внутренних стенок, что обуславливает образование водяной рубашки 3, по которой циркулирует вода, имеющая заданную термостатом температуру. Циркуляция воды по рубашке происходит через вмонтированные во внешний корпус входной и выходной штуцеры 2 и 13, которые соединены пластиковыми шлангами с термостатом. Наличие водяной рубашки в данной ванне позволяет задавать температуру электролита 15 внутри корпуса 4.

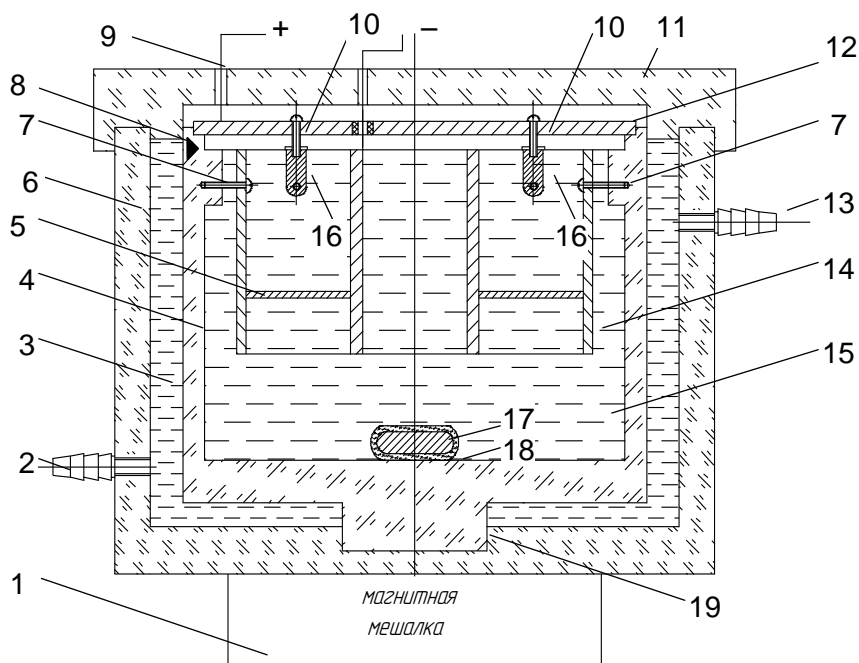


Рис. 6. Ванна для анодного оксидирования титановых имплантатов

В корпусе 4 с помощью болтов 7, выполненных из титана, крепится двойной цилиндрический полый титановый катод 14, состоящий из двух кольцевых катодов разного диаметра, соединенных между собой титановыми проводниками 5. Данная конструктивная особенность катода позволяет обеспечить равномерность процесса анодирования. На дне корпуса 4 расположен магнит 17, запаянный в стеклянную трубку 18, изолирующую его от химического действия электролита. Магнит, вращаясь с помощью магнитной мешалки 1, позволяет перемешивать рабочий электролит и обеспечивать равномерность и стабильность распределения в нем компонентов.

В качестве электрода-анода разработана специальная крышка-кронштейн 12, в которую по определенной окружности вкручены винты 10, на которых резьбовым соединением закреплены титановые заготовки дентальных имплантатов 16, служащие рабочими анодными элементами. Система «крышка-винты» выполнена из титана. На рис.7 изображен вид крышки-анода снизу, показывающий относительное расположение на ней цилиндрических заготовок имплантатов. Отверстие 1 в крышке-аноде предназначено для вывода электрического контакта двойного цилиндрического катода 14 и присоединения к источнику питания. Отверстие 2 служит для необходимой доливки электролита до определенного уровня в случае его испарения при анодировании. Требуемый уровень электролита должен соответствовать специальной уровневой метке 8, нанесенной на внешнюю стенку корпуса 4 (рис. 6).

Крышка 11 ванны изготовлена из оргстекла и имеет соосные с крышкой-анодом 12 симметричные отверстия. Дополнительное отверстие 9 в крышке ванны предназначено для вывода электрического контакта крышки-анода.

Поскольку радиусы цилиндрических имплантатов намного меньше, чем радиусы внешнего и внутреннего катодных колец, то наиболее принципиальным, с точки зрения равномерности анодирования, является расчет распределения тока на пластинчатых имплантатах.

Пусть  $a$  и  $b$  – внутренний и внешний радиусы кольцевого катодного зазора, причем линейный размер пластинчатого имплантата  $l$  намного меньше, чем  $a$  и  $b$  при ширине кольцевого зазора  $h$  (рис. 8).

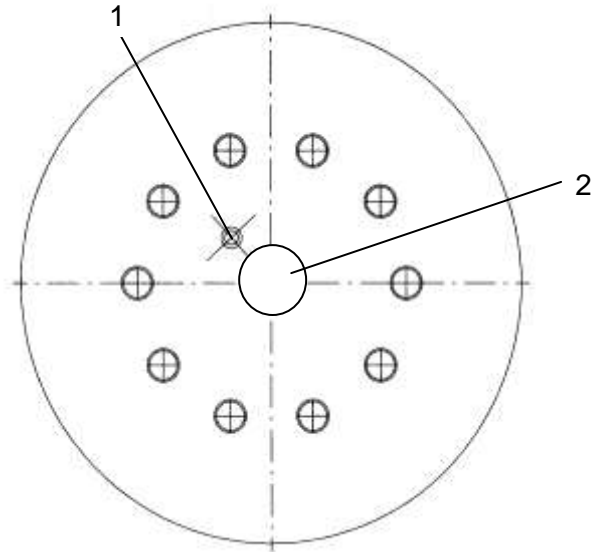


Рис. 7. Крышка-анод с расположением цилиндрических заготовок имплантатов (вид снизу)

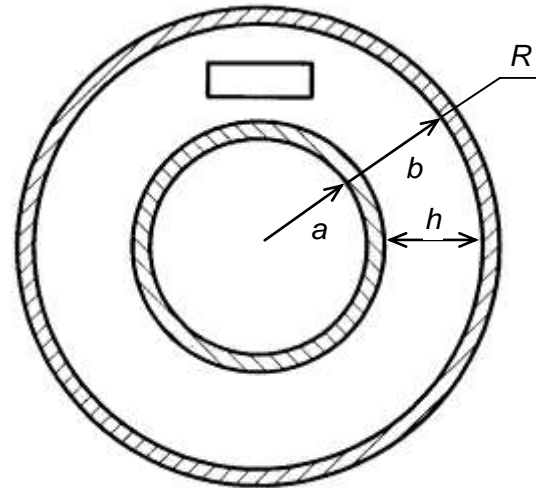


Рис. 8. К постановке задачи равномерности анодирования пластинчатых имплантатов

Величина потенциала определяется дифференциальным уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = 0, \quad (14)$$

при

$$\frac{\partial E(x = \ell/2)}{\partial x} = \frac{\partial E(x = -\ell/2)}{\partial x} = 0. \quad (15)$$

Плотность тока  $i$  может быть выражена через градиент потенциала  $E$ :

$$i = -\chi \text{ grad } E, \quad (16)$$

где  $\chi$  – электрическая проводимость раствора, которая в свою очередь отвечает уравнению:

$$\chi = F^2 \sum_{j=1}^n Z_j^2 C_j U_j. \quad (17)$$

Здесь  $F=96487$  Кл/моль – постоянная Фарадея;  $n$  – число разновидностей ионов электролита;  $Z_j, C_j, U_j$  – заряд, концентрация, подвижность  $j$ -го иона.

Соотношения (15)-(17) являются граничными условиями уравнения Лапласа (14).

Конвекция предполагается настолько интенсивной, что она устраняет концентрационные изменения, возникающие при электролизе. Решение уравнения (14) в этом случае может быть выражено следующим образом [9]:

$$\frac{i}{j_{cp}} = \frac{2\varepsilon c h \varepsilon}{K(t h^2 \varepsilon) \sqrt{sh^2 \varepsilon - sh^2(2 \chi \ell) /}}, \quad (18)$$

где  $j_{cp}$  – средняя плотность тока на поверхности пластинчатого имплантата;  $\varepsilon = \pi \ell / 2h$ ;

$K(Z) = \int_0^{\pi/2} \frac{\partial \varphi}{\sqrt{1 - Z^2 \sin^2 \varphi}}$  – полный эллиптический интеграл Лежандра первого рода.

Анализ уравнения (18) показывает, что на краях анодной пластины при значениях  $x/\ell = -0,5$  и  $x/\ell = 0,5$  должен наблюдаться краевой эффект  $i/i_{cp} \rightarrow \infty$ , т.е. анодирование титановых пластинчатых имплантатов контролируется омическим сопротивлением электролита, протекает весьма неравномерно, и в центре пластины реализуемая плотность тока намного меньше, чем на ее краях.

По мере роста анодной оксидной пленки на титановой пластине контроль электрохимического процесса переходит к ионной миграции через пленку и наблюдается линейность вольт-амперной характеристики (ВАХ), описываемая уравнением:

$$i = \frac{E \sigma}{\lambda}, \quad (19)$$

где  $\sigma$  – удельная электропроводность оксидной пленки;  $\lambda$  – эффективная глубина проникновения анионов кислорода в пленку.

Граничное условие уравнения Лапласа (16) при этом приобретает вид:

$$i = \frac{\partial E(y=0)}{\partial y} = \frac{E \sigma}{\lambda}. \quad (20)$$

Если  $L$  – толщина оксидной пленки, то можно ввести безразмерный параметр  $G=L/\lambda$  и результаты численного решения уравнения Лапласа (14) методом конечных разностей выглядят, как система симметричных кривых (рис. 9).

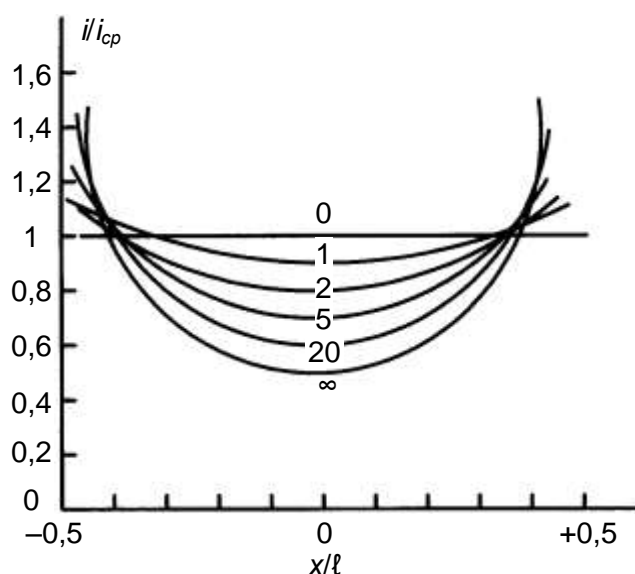


Рис. 9. Вторичное распределение тока при омическом контроле процесса анодирования сопротивлением оксидной пленки (цифры на кривых – значения безразмерного поляризационного параметра  $G$ )

Для значений  $\lambda \ll L$  и  $G \rightarrow \infty$  на краях анодной пластины имеется краевой эффект  $i/i_{cp} \rightarrow \infty$  при  $x/l = -0,5$  и  $x/l = 0,5$  с первичным распределением тока, а для  $\lambda = L$  и  $G = 1$  – вторичное распределение тока отличается от равномерного не более, чем на 10% при  $i/i_{cp} \approx 1$ .

Итак, для реализации равномерного распределения тока при анодировании титановых пластинчатых имплантатов необходимо обеспечить эффективную глубину проникновения анионов кислорода на всю толщину покрытия, чего можно достигнуть, применяя большие значения плотности тока и напряжения для формирования покрытия при повышенных температурах электролита.

Как следует из вышеизложенного, внутренний и внешний радиусы кольцевого катодного зазора должны существенно превышать типовую длину пластинчатого имплантата  $\ell = 10-20$  мм, т.е. радиусы должны варьироваться в пределах  $a = 100$  мм,  $b = 200$  мм, а ширина кольцевого зазора  $h = b - a$  должна соответствовать возможности эффективного перемешивания рабочего электролита. Высота катодного кольцевого зазора  $H$  должна превышать типовую высоту пластинчатого имплантата и составлять  $H \leq 15-20$  мм.

Таким образом, анализ проблемы равномерности анодирования титановых пластинчатых имплантатов показал целесообразность выбора следующих параметров гальванической ванны:

- внешний диаметр кольцевого катодного зазора, мм ..... 300
- внутренний диаметр кольцевого катодного зазора, мм ..... 250
- высота кольцевого катодного зазора, мм..... 50
- ширина кольцевого катодного зазора, мм ..... 50

частота вращения мешалки, об/мин .....	20
анодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup> .....	5-10
температура электролита, °С .....	60-80

### Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования по анодному оксидированию технического титана ВТ1-00, широко применяемого в производстве внутрикостных стоматологических имплантатов.

2. Установлено, что добавка CuSO<sub>4</sub> в серноокислый электролит позволяет в 3 раза увеличить линейную скорость формирования оксидного покрытия и в 3 раза сократить продолжительность процесса анодного оксидирования имплантатов, незначительно влияя на коррозионно-электрохимические свойства получаемых покрытий.

3. Показана принципиальная возможность реализации одновременного совмещенного процесса анодного обезжиривания и оксидирования имплантатов, позволяющая существенно сократить длительность технологического цикла производства анодированных имплантатов.

4. Разработана конструкция специализированной электрохимической ванны для осуществления способа группового оксидирования заготовок имплантатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лясников В.Н. Биологически активные плазмонапыленные покрытия для имплантатов / В.Н. Лясников, Л.А. Верещагина // Перспективные материалы. 1996. № 6. С. 50-55.

2. Внутрикостные стоматологические имплантаты. Конструкции, технологии, производство и применение в клинической практике / В.Н. Лясников, Л.А. Верещагина, А.В. Лепилин и др.; под ред. В.Н. Лясникова, А.В. Лепилина. Саратов: Изд-во Сарат. унта, 1997. 88 с.

3. Калганова С.Г. Научные основы создания современных дентальных имплантатов с биоактивным покрытием / С.Г. Калганова, В.Н. Лясников // Новое в стоматологии. Спец. вып. «Имплантаты в стоматологии». 1999. № 2. С. 24-28.

4. Научные основы разработки и применения современных дентальных имплантатов / В.Н. Лясников, К.Г. Бутовский, А.В. Лепилин, И.В. Фомин // Клиническая имплантология и стоматология. 1998. № 2 (5). С. 30-35.

5. Родионов И.В. Влияние окисления титана на свойства плазмонапыленных титангидроксиапатитовых и оксидных биосовместимых покрытий дентальных имплантатов: дис. ... канд. техн. наук / И.В. Родионов. Саратов, 2004. 183 с.

6. Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер; пер. с нем.; под ред. Я.М. Колотыркина. М.: Химия, 1967. 856 с.

7. Электрохимическая обработка металлов / Ю.В. Серянов, Л.А. Фоменко, Т.Н. Соколова, Ю.В. Чеботаревский. Саратов: СГТУ, 1998. 124 с.

8. Добош Д. Электрохимические константы / Д. Добош. М.: Мир, 1980. 365 с.

9. Ньюмен Дж. Электрохимические системы / Дж. Ньюмен. М.: Мир, 1977. 463 с.

#### **Родионов Игорь Владимирович –**

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»

Саратовского государственного технического университета

#### **Серянов Юрий Владимирович –**

доктор химических наук,

профессор кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»

Саратовского государственного технического университета

**А.В. Яковлев, Е.В. Яковлева, С.Л. Забудьков, А.И. Финаенов**

### **ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ NI (II) И FE (II) ФИЛЬТРАМИ ИЗ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА**

*Предложена методика изготовления самопрессованных фильтров на основе терморасширенного графита. Исследованы их адсорбционно-ионообменные свойства по катионам, Ni (II) и Fe (II). Сорбционная емкость для никельсодержащих растворов составляет ~5÷6 мг экв/г, а для раствора FeCl<sub>2</sub> ~11÷12 мг экв/г. Показана перспективность применения фильтрующих элементов на основе ТРГ для очистки воды от катионов металлов.*

**A.V. Yakovlev, E.V. Yakovleva, S.L. Zabud'kov, A.I. Finaenov**

### **WATER PURIFICATION FROM NI (II) AND FE (II) IONS BY THERMALLY EXPANDED GRAPHITE FILTERS**

*The method of producing self-pressed filtered elements based on thermally expanded graphite (TEG) is offered here. Adsorption and ion-exchange on cations Ni (II) and Fe (II) properties of the filters are researched in this article. Sorption capacity of the filters equals ~ 5÷6 mg eqv/g for nickel-containing solutions and ~ 11÷12 mg eqv/g for the solution of FeCl<sub>2</sub>. The perspectives of applying the filtered elements based on TEG for purifying water from metal cations is shown here.*

Полученные ранее результаты выявили принципиальную возможность применения терморасширенного графита (ТРГ) для очистки воды от катионов металлов Ni<sup>2+</sup> и Fe<sup>2+</sup> [1]. Однако, ТРГ ввиду расслоения и уплотнения несвязанных частиц углеродного материала с низкой плотностью (5 г/дм<sup>3</sup>) не позволяет проводить фильтрацию растворов в стабильном режиме. В связи с этим, необходимо гранулировать ТРГ или изготавливать на его основе фильтры.

В статье представлены условия изготовления самопрессованных фильтров из терморасширенного графита и результаты их испытаний по извлечению катионов Ni<sup>2+</sup> и Fe<sup>2+</sup> из водных растворов.

Фильтры из ТРГ диаметром 60 мм и толщиной 8 мм изготавливали термообработкой окисленного графита (ОГ) массой 2,3÷4 г в замкнутом объеме газопроницаемой формы, обеспечивая взаимное вращение частиц ТРГ с образованием компактного пористого материала (рис. 1). Такой способ позволяет регулировать пористость углеродного материала варьированием массы ОГ с различной степенью терморасширения в форме.

Окисленный графит получали электрохимическим окислением дисперсного графитового порошка в растворах серной и азотной кислот по методике, описанной в работах [2, 3, 4].

Пористость фильтров рассчитывалась по теоретической плотности графита и определялась по формулам:

$$P_p = \frac{V_{\text{ТРГ}} - m_{\text{ТРГ}} \rho_{\text{Г}}}{V_{\text{ТРГ}}} \cdot 100\% ; \quad (1)$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{ТРГ}}} \cdot 100\% , \quad (2)$$



где  $P_P$  и  $P_{H_2O}$  – соответственно расчетная пористость и пористость по воде;  $V_{ПГ}$  и  $V_{ПГ}^{H_2O}$  – соответственно объем пенографита на воздухе и насыщенного водой;  $m_{ПГ}$  – масса пенографита в фильтре;  $m_{H_2O}$  – масса поглощенной воды;  $\rho_G$ ,  $\rho_{H_2O}$  – соответственно теоретическая плотность графита ( $2,23 \text{ г/см}^3$ ) и пикнометрическая плотность воды.

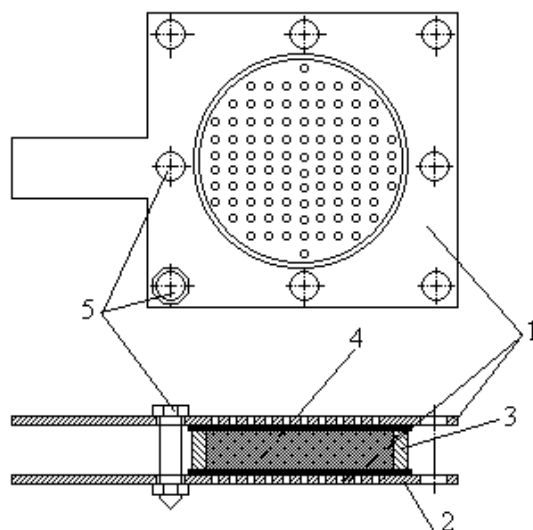


Рис. 1. Форма для изготовления фильтрующих элементов из пенографита:  
1 – перфорированные пластины из нержавеющей стали; 2 – углеродная ткань;  
3 – обечайка фильтра; 4 – пенографит; 5 – шпильки

Для определения характеристик фильтров их вместе с обечайкой помещали в установку фильтрации (рис. 2).

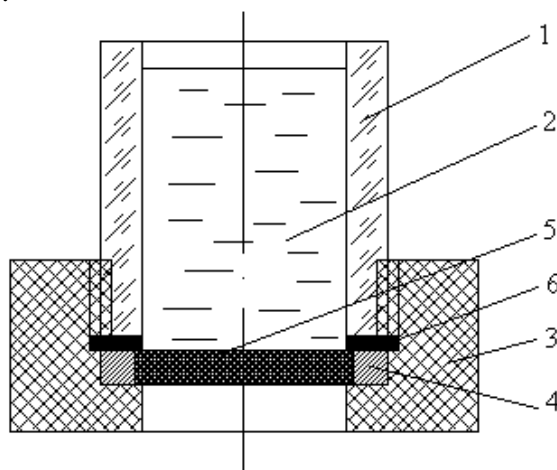


Рис. 2. Схема установки фильтрующего элемента:  
1 – труба из оргстекла; 2 – фильтруемый раствор; 3 – фторопластовая втулка;  
4 – обечайка фильтра; 5 – фильтр из пенографита; 6 – уплотнительное кольцо

Представленные результаты (табл. 1) свидетельствуют о том, что с увеличением температуры терморасширения плотность пенографита снижается, но возрастают потери углерода, вызванные его взаимодействием с кислородом. Без значительного выгорания углерода и с достаточной степенью терморасширения окисленного графита (ОГ), термообработку необходимо проводить при температурах  $650 \div 750^\circ\text{C}$  в течение 3-10 мин.

Таблица 1

Влияние режима термообработки ОГ на насыпную плотность ТРГ ( $d_{\text{трг}}$ ) и выход по углероду ( $B_c$ ) расширением в свободном объеме

$t, ^\circ\text{C}$	600			650			700			800		900	
$\tau, \text{мин}$	3	5	10	3	5	10	3	5	10	1	3	1	3
$d_{\text{трг}}, \text{г/дм}^3$	4,7	4,6	4,6	4,3	4,1	3,8	3,9	3,7	3,5	3,5	2,8	3,0	2,9
$B_c, \%$	100	100	100	100	97	92	93	83	70	83	47	61	22

\*от исходной массы графита.

Экспериментально, по изменению массы углеродного материала было установлено, что полное вспенивание ОГ в форме обеспечивает нагрев при  $650^\circ\text{C}$  в течение 8 минут. Этот режим и применялся при изготовлении фильтрующих элементов.

Таблица 2

Характеристики самопрессованных фильтров из ТРГ с размерами  $\varnothing 60 \text{ мм}$ ;  $h = 8 \text{ мм}$  на основе ОГ ( $d_{\text{трг}} = 3,9 \text{ г/дм}^3$ ;  $t = 650^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 8 \text{ мин}$ )

№ образца	Плотность фильтра, $\text{г/см}^3$	$m_{\text{тргс}}, \text{г}$	$S_{\text{уд}}, \text{м}^2/\text{г}$	Прочность на излом, $\text{кг/см}^2$	Пористость, %		
					расчетная	по воде	по толуолу
1	0,08	1,95	41	1,5	96,3	62,0	82,2
2	0,10	2,35	37	1,8	95,1	61,6	80,8
3	0,12	2,73	36	2,3	94,3	60,9	74,6
4	0,13	3,02	34	2,6	94,3	60,5	79,1
5	0,14	3,31	33	2,8	93,4	60,1	76,7

Таблица 3

Скорость протекания воды через фильтры из ТРГ

Номер образца (табл. 2)	1	2	3	4	5
Объем пропущенной воды, л	Скорость пропускания, л/мин				
1	0,125	0,087	0,083	0,025	0,025
5	0,125	0,074	0,053	0,017	0,016
10	0,114	0,051	0,039	0,012	0,011
50	0,102	0,032	0,024	0,010	0,009
Давление водяного столба, $\text{кг/см}^2$	0,036	0,055	0,066	0,091	0,091

Как следует из табл. 2 и 3, почти двукратное изменение плотности фильтров незначительно влияет на пористость и удельную поверхность образцов. Различия в значениях пористости, определенных по воде и толуолу, указывают на гидрофобность полученных углеродных изделий и недоступности части объема пор для водных растворов. Скорость протекания воды с увеличением пористости возрастает с 0,03 до 0,13 л/мин и со временем фильтрации (50 л) постепенно снижается в 2-3 раза. Это связано с постепенным набуханием углеродного материала, а также возможным закупориванием пор микрочастицами ТРГ.

Оценка ионно-адсорбционных свойств, изготовленных из ТРГ фильтров, была проведена фильтрованием модельных никель- ( ${}^{\text{нач}}\text{C}_{\text{Ni}}^{2+}=0,254 \text{ г/л}$ ) и железосодержащих ( ${}^{\text{нач}}\text{C}_{\text{Fe}}^{2+}=0,830 \text{ г/л}$ ) водных растворов (табл. 4). Увеличение плотности фильтра снижает скорость фильтрации раствора, и за счет увеличения времени контакта углеродного материала с загрязняющими компонентами, приводит к возрастанию степени извлечения катионов. При

этом адсорбционная емкость снижается, так как в более плотных фильтрах увеличение массы углеродного материала превышает рост степени извлечения.

Таблица 4

Результаты очистки никель- и железосодержащих растворов ( $V=0,2$  л) фильтрами из ТРГ

Извлекаемый ион	Номер образца (табл. 2)	Скорость фильтрации, л/мин	Конечная концентрация катиона, г/л	R, %	(C), мгэкв/г
$\text{Ni}^{2+}$ $^{\text{нач}}C_{\text{Ni}^{2+}}=0,254\text{г/л}$ ( $\text{NiCl}_2$ )	1	44	0,144	43,3	0,357
	2	29	0,134	47,2	0,326
	3	17	0,129	49,2	0,293
	4	9	0,126	50,4	0,272
	5	6	0,122	52,0	0,256
$\text{Fe}^{2+}$ $^{\text{нач}}C_{\text{Fe}^{2+}}=0,830\text{г/л}$ ( $\text{FeCl}_2$ )	1	50	0,489	41,1	1,77
	2	29	0,424	49,0	1,53
	3	13	0,424	49,0	1,357
	4	8	0,379	52,8	1,320
	5	8	0,371	55,3	1,239

Для фильтров с самой низкой плотностью ТРГ, а, следовательно, максимальной скоростью фильтрации в непрерывном режиме была проведена очистка тех же модельных растворов (табл. 4) объемом 2 литра (рис. 3). Соотношение концентраций катионов  $C_{\text{кон}} / C_{\text{нач}}$  (динамическая активность адсорбента [5]) в первоначальный момент фильтрации несколько снижается, что вызвано продолжающимся во времени процессом смачивания фильтра. Затем динамическая активность по экспоненциальному закону приближается к значению степени извлечения, порядка 14-15%. Средняя скорость фильтрации по никельсодержащему раствору составляла  $\sim 50$  мл/мин, для железосодержащего  $\sim 40$  мл/мин. По результатам проведенного эксперимента была рассчитана адсорбционная емкость фильтра из ТРГ в зависимости от времени пропускания растворов (табл. 5).

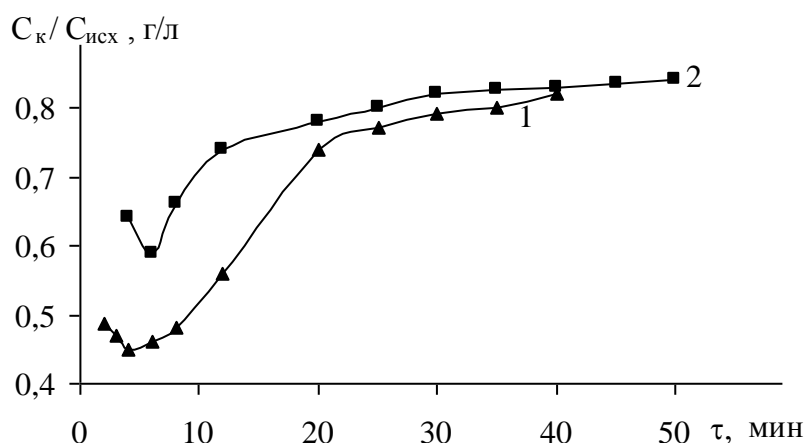


Рис. 3. Зависимость динамической активности адсорбента из ТРГ (фильтр 1 – табл. 2) во времени при непрерывном фильтровании модельных никельсодержащих ( $^{\text{нач}}C_{\text{Ni}^{2+}}=0,254$  г/л) (кривая 1) и железосодержащих ( $^{\text{нач}}C_{\text{Fe}^{2+}}=0,830$  г/л) (кривая 2) растворов ( $V=2,0$  л)

Начальные значения (C) в табл. 5 коррелируют с величинами, приведенными в табл. 4. Далее со временем фильтрации адсорбционная емкость ТРГ, как по  $\text{Ni}^{2+}$ , так и по  $\text{Fe}^{2+}$  зако-

номерно возрастает. Экстраполяцией линейного участка зависимости (С) от обратного времени фильтрования на ось ординат (рис.4) определялись максимально возможные значения (С). Для никельсодержащих растворов такое значение составляет  $\sim 5\div 6$  мг·экв/г, а для раствора  $\text{FeCl}_2$   $\sim 11\div 12$  мг·экв/г.

Таблица 5

Изменение адсорбционной емкости по катионам  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  фильтрующего элемента (№ 1, табл. 2) при непрерывном пропускании модельных растворов (рис. 3)

$\tau$ , мин	4	6	8	12	20	25	30	35	40	45	50
(С) $\text{Ni}^{2+}$ , мг·экв/г	0,388	0,587	0,683	1,126	1,579	1,790	1,983	2,168	2,335	–	–
(С) $\text{Fe}^{2+}$ мг·экв/г	0,899	1,414	1,838	2,487	3,588	4,212	4,772	5,317	5,847	6,363	6,863

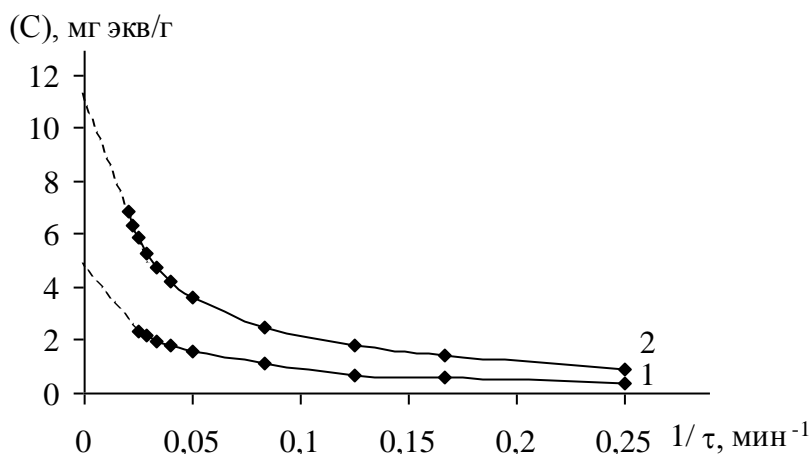


Рис. 4. Зависимость адсорбционной емкости ТРГ в фильтре (образец 1, табл. 2) от обратного времени фильтрования никельсодержащего (1) и железосодержащего (2) растворов (табл. 5)

В целом, по полученным результатам, можно констатировать перспективность применения ТРГ и изделий на его основе для очистки воды. Основной проблемой, препятствующей широкому применению таких фильтров в производственных условиях, является низкая механическая прочность. Для увеличения механической прочности фильтров из ТРГ необходимо введение в их состав армирующих металлических сеток, или каркаса из волокнистых, или спеченных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Применение терморасширенного графита в процессах водоочистки и водоподготовки / Е.В. Яковлева, А.В. Яковлев, А.И. Финаенов, Э.В. Финаенова // Журнал прикладной химии. 2004. № 11. С. 1833-1835.
2. Анодный синтез терморасширяющихся соединений графита в азотной кислоте / А.В. Яковлев, А.И. Финаенов, Е.В. Яковлева, С.Л. Забудьков // Вестник СГТУ. 2003. № 1. С. 113-120.
3. Яковлева Е.В. Электрохимический синтез терморасширяющихся соединений графита в азотнокислом электролите / Е.В. Яковлева, А.В. Яковлев, А.И. Финаенов // Журнал прикладной химии. 2002. № 10. С. 1632-1638.

4. Яковлев А.В. Электрохимический синтез соединений внедрения графита с азотной кислотой для получения пенографита / А.В. Яковлев, А.И. Финаенов // Журнал прикладной химии. 1999. № 1. С. 88-91.

5. Стась Н.Ф. Модифицирование активных углей пропиткой водно-спиртовыми растворами хемосорбентов / Н.Ф. Стась, Ф.Г. Рудко // Журнал прикладной химии. 1989. № 5. С. 958-961.

**Яковлев Андрей Васильевич –**

кандидат технических наук,  
докторант кафедры «Технология электрохимических производств»,  
доцент кафедры «Физическая и органическая химия»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Яковлева Елена Владимировна –**

кандидат химических наук, научный сотрудник ЗАО «УНИХИМТЕК», г. Москва

**Забудьков Сергей Леонидович –**

аспирант кафедры «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Финаенов Александр Иванович –**

доктор технических наук,  
профессор кафедры «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

---

УДК 621.317.444

**В.А. Киселев**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МАГНИТНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФОКУСИРУЮЩИХ СИСТЕМ С МАЛЫМ ДИАМЕТРОМ РАБОЧИХ КАНАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР $-65 \div +250^{\circ}\text{C}$**

*Рассматривается структурная схема, приведены технические характеристики автоматизированной системы контроля температурной стабильности магнитных периодических фокусирующих систем с диаметром рабочих каналов 2,5-6 мм в диапазоне температур  $-65 \div +250^{\circ}\text{C}$ . Процесс контроля автоматизирован на базе микроЭВМ.*

**V.A. Kiselev**

### **THE AUTOMATED CHECK-OUT SYSTEM OF THE TEMPERATURE STABILITY OF MPFS AT TEMPERATURE RANGE FROM $-65 \div +250^{\circ}\text{C}$**

*The block diagram is considered in this article and also characteristics of system of the automated monitoring system of temperature stability of magnetic periodic focusing systems with diameter of working channels 2,5-6 mm in a range of temperatures  $-65 \div +250^{\circ}\text{C}$ . Process of the control is automated on the basis of the computer.*

Стабильность параметров, качество и надежность электровакуумных приборов сверхвысоких частот (ЭВП СВЧ) во многом определяются температурной стабильностью магнитных систем. Стремление к снижению веса и габаритов ЭВП СВЧ, обеспечению требуемых параметров и стабильности их привело к разработке новых магнитотвердых материалов для магнитных периодических фокусирующих систем (МПФС) на основе редкоземельных материалов и кобальта (PSM-Co) и ниодим-железо-бор (Nd-Fe-B) имеющих высокий энергетический уровень. Разработку и последующий выпуск МПФС и ЭВП СВЧ с малым весом и габаритами с требуемой стабильностью параметров существенно осложняет отсутствие средств контроля температурной стабильности магнитов и МПФС в широком диапазоне температур, отвечающих современным требованиям. Требование высокой воспроизводимости результатов измерения индукции (0,01-0,1%) сильно неоднородных магнитных полей для обеспечения контроля температурной стабильности МПФС с температурным коэффициентом порядка  $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4} 1/^{\circ}\text{C}$ , широкий диапазон температур контроля ( $-65 - +250^{\circ}\text{C}$ ), малый диа-

метр рабочих каналов (2,4-15 мм) при достаточно большой их длине (200-600 мм), необходимость автоматизации процесса контроля и обработки результатов измерения определяют сложность и важность решения проблемы по созданию средств контроля температурной стабильности МПФС в широком диапазоне температур.

На рис. 1 представлена автоматизированная система контроля температурной стабильности широкой номенклатуры МПФС в диапазоне температур  $-65 \div +250^{\circ}\text{C}$  [1].

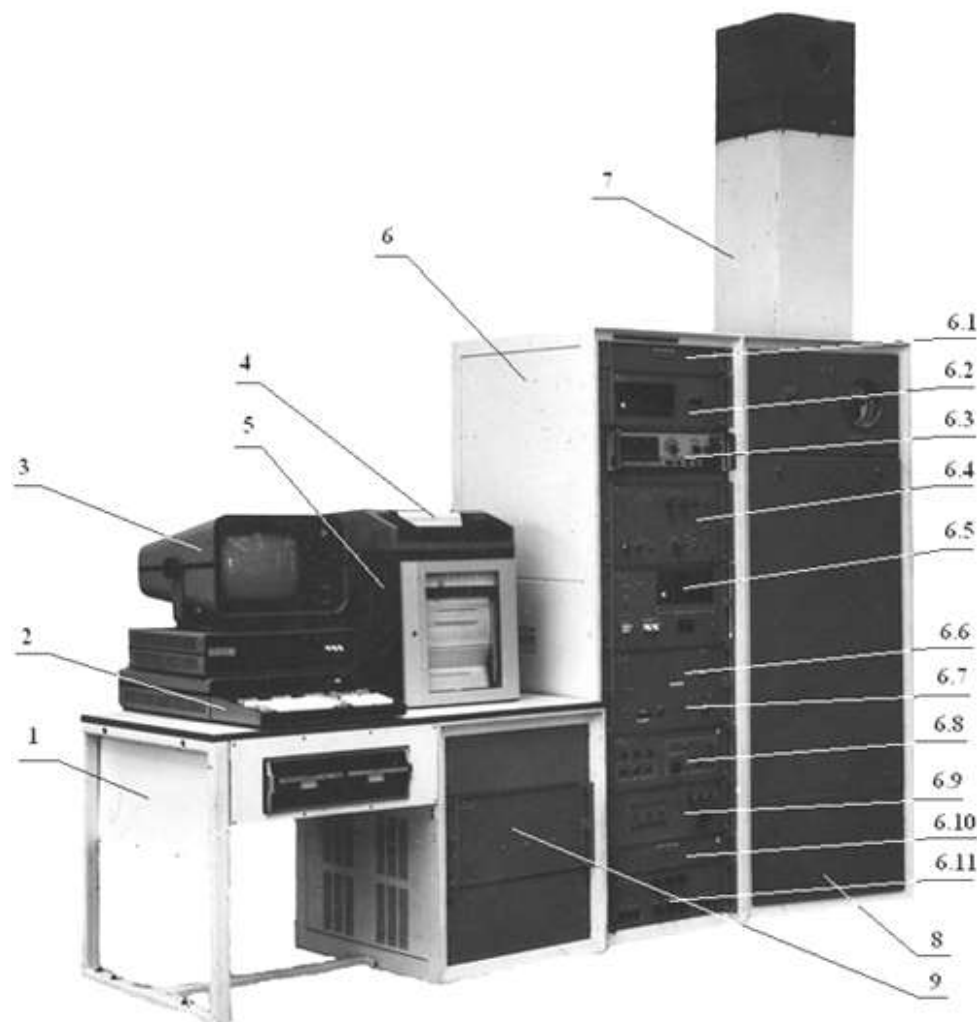


Рис. 1. Общий вид автоматизированной системы контроля: 1 – стенд измерительный; 2 – клавиатура микроЭВМ; 3 – микроЭВМ (Электроника МС-0507.02); 4 – устройство вывода печатающее (Электроника 6313); 5 – автоматический потенциометр КСП4; 6 – стойка измерительная; 6.1, 6.10 – блоки вентиляторов; 6.2 – блок измерения температуры; 6.3 – цифровой вольтметр типа В7-31; 6.4 – блок измерения магнитной индукции (БИМИ); 6.5 – блок управления температурой (БУТ); 6.6 – блок автоматического поддержания температуры (БАПТ); 6.7 – блок калибровки (БК); 6.8 – блок управления механизмами (БУМ); 6.9 – блок питания шагового двигателя (БПШД); 6.11 – блок питания (БП); 7 – термокамера; 8 – стойка термокамеры; 9 – блок сопряжения (БС)

В качестве первичных измерительных преобразователей магнитной индукции использованы преобразователи Холла типа ПХЭ 606817 с габаритными размерами  $1 \times 1 \times 0,6$  мм и  $0,5 \times 0,5 \times 0,6$  мм. Для исключения влияния температурной зависимости параметров преобразователей Холла на результат измерения применен комбинированный способ стабилизации параметров по возмущению и стабилизации температуры по отклонению.

В системе контроля имеется два самостоятельных измерительных канала (рис. 2). Один канал в составе измерительного зонда, БИМИ и автоматического потенциометра КСП-4 обеспечивает автоматическую запись распределения продольной составляющей индукции в рабочем канале МПФС и температурных изменений максимальных значений магнитной индукции (при дифференциальном методе измерения) на диаграммной ленте автоматического потенциометра типа КСП-4.

При этом сигнал, снимаемый с преобразователя Холла, предварительно усиливается высокостабильным измерительным усилителем, а затем подается на вход автоматического потенциометра КСП-4. Одновременно обеспечивается синхронное перемещение измерительного зонда в рабочем канале МПФС и диаграммной ленты потенциометра.

Дифференциальный метод измерения температурных изменений максимальных значений магнитной индукции при скомпенсированном сигнале основной ее величины с записью разностного сигнала на малых пределах измерения позволил повысить разрешающую способность и точность измерения относительных температурных изменений магнитной индукции [2].

Второй канал измерения – измерительный зонд, БИМИ, цифровой вольтметр В7-31, из которого результаты измерения через блок сопряжения поступают в микроЭВМ. При этом выход измерительного усилителя подключен к входу цифрового вольтметра с высокой точностью измерений (на пределе 1 В погрешность измерения 0,02%) типа В7-31.

В режиме второго канала измерения перемещение измерительного зонда в канале МПФС осуществляется под управлением микроЭВМ через БПШД шаговым двигателем ШД5-Д1. При этом система контроля обеспечивает автоматическое управление процессом измерения, обработку поступающей информации по заданной программе и выдачу на ЦПМ следующих результатов измерения для каждой температуры измерения:

- максимальных значений магнитной индукции с указанием знака и порядкового номера кольцевого магнита;
- относительного разброса максимальных значений магнитной индукции;
- относительных температурных изменений максимальных значений магнитной индукции каждого кольцевого магнита МПФС относительно максимальных значений этих магнитов при комнатной температуре;
- температурного коэффициента максимальных значений индукции каждого кольцевого магнита.

Калибровка измерительных каналов перед измерениями производится на пределе 50 мТл с помощью калибровочного соленоида, подключенного к стабилизированному источнику тока.

Основой метода определения температурной нестабильности МПФС является сравнение значений магнитной индукции  $B_t$ , измеренной при текущей температуре  $t$  и значения магнитной индукции  $B_{t_0}$ , измеренной при комнатной температуре  $t_0$ . Температурный коэффициент  $\lambda$  определяется по формуле (1)

$$\lambda = \frac{B_t - B_{t_0}}{B_{t_0} (t - t_0)} \cdot 100\% . \quad (1)$$

При дифференциальном методе измерения температурный коэффициент определяется по формуле (2)

$$\lambda = \frac{\Delta B_t - \Delta B_{t_0}}{B_{t_0} (t - t_0)} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где  $\Delta B_t$  и  $\Delta B_{t_0}$  – нескомпенсированные значения магнитной индукции, измеренные при температуре  $t$  и комнатной температуре  $t_0$  соответственно.



Конструктивно автоматизированная система контроля выполнена в виде стойки термокамеры, стойки измерительной и стэнда измерительного с расположенной на нем микроЭВМ (рис. 1, 2).

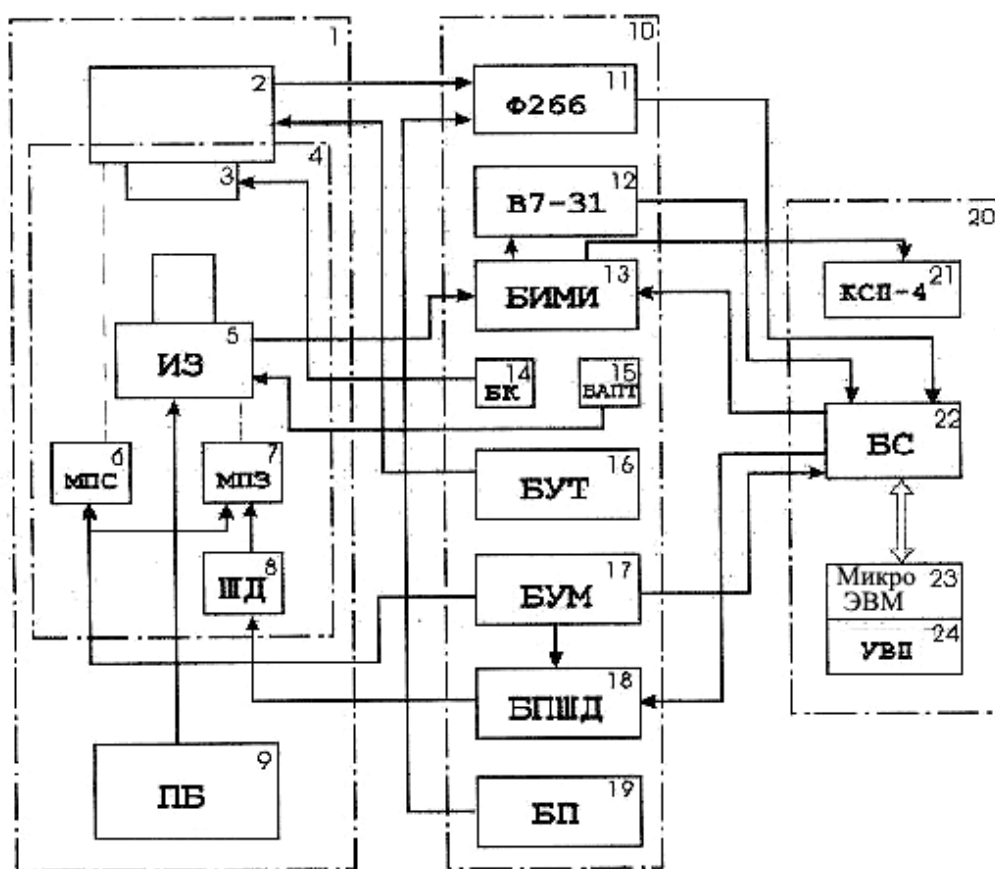


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы контроля:

- 1 – стойка термокамеры; 2 – термокамера; 3 – соленоид; 4 – координатное устройство;  
 5 – зонд измерительный (ИЗ); 6 – механизм для перемещения стола с МПФС (МПС);  
 7 – механизм перемещения зонда (МПЗ); 8 – шаговый двигатель (ШД); 9 – пневмоблок (ПБ);  
 10 – стойка измерительная; 11 – цифровой прибор Ф266; 12 – цифровой вольтметр В7-31;  
 13 – блок измерения магнитной индукции (БИМИ); 14 – блок калибровки (БК); 15 – блок автоматического поддержания температуры (БАПТ); 16 – блок управления температурой (БУТ); 17 – блок управления механизмами (БУМ); 18 – блок питания шагового двигателя (БПШД); 19 – блок питания (БП); 20 – стэнд измерительный; 21 – автоматический потенциометр КСП-4; 22 – блок сопряжения (БС); 23 – микроЭВМ (Электроника МС 0507.02); 24 – устройство вывода печатающее (Электроника МС 6313)

Стойка термокамеры включает в себя термокамеру, механизм загрузки МПФС, механизм перемещения зонда с шаговым двигателем.

Необходимая температура внутри термокамеры устанавливается и поддерживается с помощью блока управления температурой БУТ в любой точке диапазона от минус 65 до плюс 250°C с точностью  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Создание высоких температур осуществляется при помощи нагревателей, а низких – с помощью жидкого азота, подаваемого в рабочий объем камеры из сосудов Дьюара. Контроль температуры МПФС осуществляется с помощью термпар, подключенных к блоку измерения температуры (БИТ) с цифровым прибором Ф 266.

Для установки МПФС в термокамере и для обеспечения соосности МПФС с измерительными зондами разработаны кассеты с направляющими для зондов (рис. 3, 4).

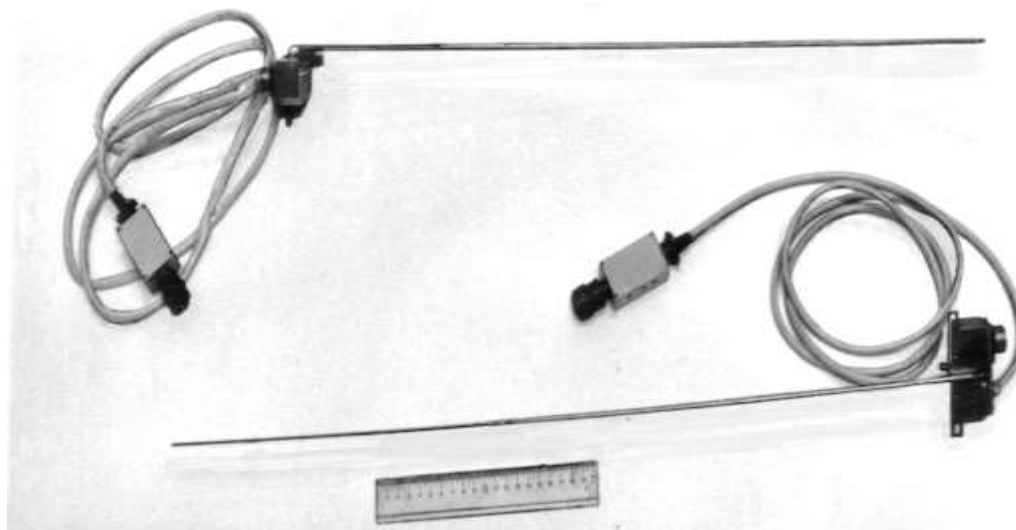


Рис. 3. Измерительные зонды

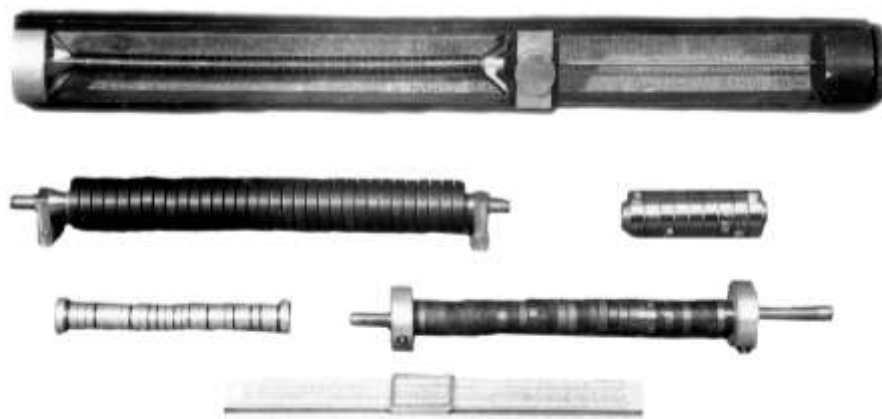


Рис. 4. Магнитные периодические фокусирующие системы и кассета для их установки

Блок сопряжения (БС) организует двунаправленный обмен данными между микро-ЭВМ и внешними устройствами с помощью типовых интерфейсных модулей. Внешние устройства работают в программно-управляемых режимах.

Система контроля позволяет производить измерение магнитной индукции в диапазоне  $0 \div 500$  мТл со следующими поддиапазонами:

$0 \div \pm 20$  мТл;  $0 \div \pm 50$  мТл;  $0 \div \pm 100$  мТл;  $0 \div \pm 200$  мТл;  $0 \div \pm 300$  мТл;  $0 \div \pm 500$  мТл.

Предел допускаемых значений приведенной погрешности измерения магнитной индукции на всех поддиапазонах измерения во всем диапазоне температур не превышает 1%.

Погрешность измерения относительных температурных изменений максимальных значений магнитной индукции при температурном коэффициенте порядка  $0,01\%/^{\circ}\text{C}$  и при измерении через интервал температур  $50^{\circ}\text{C}$  не превышает 15%.

Система обеспечивает контроль МПФС в диапазоне температур:

а) при использовании измерительных зондов с направляющими с наружным диаметром 4 мм:

$-65 \div +250^{\circ}\text{C}$  при длине контролируемых МПФС не более 350 мм;

$-65 \div +200^{\circ}\text{C}$  при длине контролируемых МПФС не более 400 мм;

б) при использовании измерительных зондов с направляющими с наружным диаметром 2,4 мм.

–65 ÷ +160°C при длине контролируемых МПФС не более 210 мм.

Автоматизированная система контроля МПФС в широком диапазоне температур разработана под руководством и при непосредственном участии автора в ЦНИИИА (г. Саратов).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев В.А. Автоматизированная система контроля температурной стабильности магнитных периодических фокусирующих систем в диапазоне температур –65 ÷ +250°C / В.А. Киселёв // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП - 2000: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2000. С. 328-333.

2. А.с. 323749 СССР, МКИ<sup>3</sup> G01r 33/02. Устройство для автоматической записи малых изменений магнитной индукции в широком диапазоне температур / В.А. Киселёв, Е.М. Шабанов (СССР). № 1408145/18-10; заявка 23.11.70; опубл. 10.11.72. Бюл. № 1. 3 с.

#### **Киселев Виталий Алексеевич –**

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Автоматизация оборудования пищевых производств»

Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

---

УДК 519.24+681.3

**О.Н. Долинина, Р.Н. Каримов**

### **МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ ОБЪЕКТОВ ЧИСЛОВОЙ И НЕЧИСЛОВОЙ ПРИРОДЫ**

*Рассматриваются методы представления и совместной обработки многомерных данных объектов числовой и нечисловой природы в пространстве действительных чисел.*

**O.N. Dolinina, R.N. Karimov**

### **METHODS OF PRESENTATION AND JOINT PROCESSING OF MULTIDIMENSIONAL DATA FOR OBJECTS OF NUMERIC AND NON-NUMERIC ORIGIN**

*Methods of presentation and joint processing of multidimensional data for objects of numeric and non-numeric origin in the field of real numbers are considered in the article.*

#### **1. Постановка задачи**

В социологических, эконометрических, психологических, педагогических и других исследованиях большинство объектов содержат признаки числовой и нечисловой природы, измеряемые в качественных и количественных шкалах.

Разделение данных на два однородных подмножества, измеряемых в качественных и количественных шкалах, не позволяет решить задачу совместной обработки многомерных данных, так как к качественным данным неприменимы операции над пространством действительных чисел [5, 7].

Совместная обработка таких многослойных данных, принадлежащих различным пространствам, в большинстве случаев осуществляется методами самой слабой шкалы, в которой измеряется один или несколько признаков исследуемого множества. Например, если хотя бы один признак измеряется в номинальной шкале, то необходимы преобразования всех переменных к этой шкале с неизбежными потерями информации.

Для совместной обработки полученного множества номинальных данных пригодны только категориальные методы и невозможно реализовать важные многомерные классические методы: анализ главных компонент, факторный, кластерный и дискриминантный анализы, методы канонической корреляции, сингулярного разложения и др.

Для решения задачи анализа данных объектов числовой и нечисловой природы нужен математический аппарат, который бы позволил решать задачи многомерного анализа данных числовой и нечисловой природы в линейном пространстве.

Поставленную задачу предлагается решать в два этапа. На первом этапе *все* данные в матрице типа «объект-признак», измеряемые в количественных шкалах, преобразуются в номинальную шкалу и представляются в виде таблицы сопряженности признаков (ТСП). На втором этапе ТСП преобразуется в числовую матрицу, к которой применимы операции над действительными числами, что позволяет решать ряд задач представления многомерных объектов в виде точек в координатном пространстве малой размерности.

## 2. Представление данных

**Шкалы измерений.** В системах обработки информации данные подразделяются на *качественные (нечисловые)* и *количественные (числовые)*. В соответствии с поставленной задачей все измерения переменных объекта преобразуются к номинальной шкале.

Тип шкалы определяется группой допустимых преобразований  $\Phi = \{\varphi(x)\}$  шкалы, переводящих одну систему измерений, являющейся гомоморфным образом эмпирической системы, в другую, также являющуюся гомоморфным образом этой же эмпирической системы. Для шкал качественных измерений допустимы преобразования: взаимно-однозначные, монотонные, тождественные. Чем меньше множество систем, в которые гомоморфно отображается рассматриваемая эмпирическая система, тем сильнее шкала. Тип шкалы определяет также возможности применения к измерениям операций сравнения, арифметических действий.

**Номинальная шкала** строится разбиением измерений на классы по тому или иному признаку. Измерениям, попавшим в один и тот же класс, присваивается одно и то же обозначение. Например, мужской и женский пол можно обозначить *М* и *Ж*, или 1 и 2. Разбиение на классы нужно производить так, чтобы они носили *неупорядоченный характер* и не перекрывали друг друга.

*Группа допустимых преобразований* в этой шкале состоит из *всех* взаимно однозначных преобразований. Арифметические операции не имеют смысла. Не существуют арифметическое среднее, медиана. Оценкой среднего может служить мода распределения, которая не зависит от однозначных преобразований измерений. Например, гипертоников больше, чем гипотоников. Мода является параметром среднего для гипертоников и гипотоников вне зависимости от обозначений: ГП и ГИП, 1 и 2. Измерения качественные, но можно сосчитать количество объектов каждого класса и частоты.

**Методы анализа:** пригодны только методы категориального анализа –  $\chi^2$  (хи-квадрат) критерий для полиномиального распределения;  $\chi^2$  для проверки гипотезы о связанности двух и более номинальных переменных; выводы относительно биномиального распределения; операции над структурными функциями от дихотомических переменных.

**Порядковая шкала.** В этой шкале не только качественные измерения разбиваются на классы, но и упорядочиваются сами классы. Каждому классу присваивается свой *символ* и порядок символов соответствует порядку класса по правилу «больше, чем», «более предпочтителен, чем», «сильнее». Множество *A* называется упорядоченным, если для любых двух его элементов *A* и *B* установлено, что либо *A* предшествует *B*, либо *B* предшествует *A*. Если не удастся установить строгое предшествование для всех элементов множества, но можно произвести «групповое» упорядочение, тогда упорядочиваются подмножества равноценных элементов. Например, такую переменную, как социально-экономический статус (СЭС) можно расположить в таком порядке: высший класс, средний класс, рабочий класс, низший класс (уровни статуса можно обозначить: 4, 3, 2, 1 или *a*, *b*, *c*, *d*).

В этой шкале можно отличить высокие значения от низких, но нельзя описать различия между объектами в единицах измерения. Хотя известно, что значение СЭС 4 больше,

чем значение 2, но нельзя утверждать, что оно в 2 раза больше. Не всегда ясен принцип сравнения и возникают случаи нетранзитивности. Например, команда  $A$  выигрывает у команды  $B$ , команда  $B$  выигрывает у команды  $C$ , но команда  $C$  выигрывает у  $A$ .

Если ни  $A \geq B$ , ни  $A \leq B$ , то  $A$  и  $B$  *несравнимы*. Если одновременно  $A \geq B$  и  $A \leq B$ , то получаем рефлексивное отношение  $A = B$ . В случае, когда некоторые элементы измеряемого множества несравнимы по упорядочивающему отношению, а остальное подмножество элементов допускает сравнение, то имеем *частичный порядок*.

*Преобразования в шкале порядка – монотонные функции*  $f(x)$ . Порядковая шкала позволяет производить все операции номинальной шкалы и преобразования полученных оценок (например, от экспертов), отвечающие всем монотонно возрастающим функциям. Например, положительные оценки могут быть заменены их квадратами, или логарифмами, или любой другой монотонно возрастающей функцией.

Арифметические операции не имеют смысла. Нельзя вычислить среднеарифметическое. Среднее можно оценить медианой или, с некоторой потерей информации, модой распределения.

*Методы анализа: пригодны непараметрические методы*, не зависящие от вида семейства распределений, используются знаки, ранги абсолютных значений и знаки их разностей, число инверсий. Применяются процедуры: проверки гипотезы равенства медианы заданному значению, равенства двух медиан, методы дисперсионного анализа Крускала-Уоллиса и Фридмана, методы ранговой корреляции Кендалла и Спирмена.

**Количественные измерения.** Для этих измерений различают шкалы: *интервальная, отношений, разностей, абсолютная*.

Для любых шкал количественных измерений имеют смысл все арифметические операции. Оценкой параметра сдвига могут служить среднее, медиана, мода распределения.

**Сила шкалы** определяется группой допустимых преобразований: чем шире эти преобразования, тем слабее шкала. По мере увеличения силы шкалы располагаются в таком порядке: номинальная, порядковая, интервальная, отношения, разностей, абсолютная. Хотя качественные шкалы самые слабые, но они более помехоустойчивы, если помеха находится в рамках допустимых преобразований. Методы вычислений слабой шкалы применимы, с некоторой потерей информации, и для измерений в сильных шкалах. Обратное утверждение не имеет смысла, так как данные слабой шкалы без специальных преобразований невозможно обработать в сильных шкалах [3].

**Квазиколичественные измерения.** Качественные данные: многозначные номинальные; порядковые и данные, построенные на субъективных критериях, удобно заменять квазиколичественными переменными, называемыми *квазиквантитативными* (квантитативное – от лат. *quantitas* – количество). Такая замена порядковых данных приводит к некоторой потере информации, но зато каждый качественный признак можно представить в виде квазиколичественного признака [2].

Пусть имеется измерение  $x$  качественного признака  $X$  с  $k$  взаимно исключающими классами, подвергнутыми некоторому упорядочению, например, путем соглашения. Измерение  $x$  можно представить как квазиквантитативную переменную, определяемую как  $k$ -мерный вектор-строку (подвектор) с компонентами, принимающими только значения 0 и 1, причем одна компонента вектора, соответствующая наблюдаемому классу, равна 1, а остальные компоненты равны 0.

Если значения признака измерены у  $n$  объектов ( $n$ -подвекторов), то получим *матрицу квазиквантитативной переменной*  $X$  размерности  $n \times k$  с элементами 0 и 1. В матрице  $X$  каждый объект отображается своей строкой как точка  $k$ -мерного пространства, а признак отображается  $k$  столбцами:

$$X = [(x_{11}, \dots, x_{1k}), (x_{21}, \dots, x_{2k}), \dots, (x_{n1}, \dots, x_{nk})]'$$

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если событие } s_i (i=1, \dots, k) \text{ наступило в } j\text{-м подвекторе;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

**Пример.** Пусть задан порядок измерений в порядковой шкале признака  $\mathbf{x} = [1 \ 2 \ 1 \ 3]'$ ,  $k = 3$ ,  $n = 4$ . Преобразовав эти данные в квазиквантитативную переменную, получим матрицу размерности  $(4 \times 3)$ :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Так как для каждого подвектора матрицы  $\mathbf{X}$  справедливо соотношение  $\sum_{s=1}^k x_{js} = 1$ , то представление качественных данных с помощью квазиквантитативных переменных избыточно. Наблюдение *дихотомической (булевой, бинарной)* переменной, состоящей из двух элементов «0 или 1», соподчиненных постулату классического принципа исключенного третьего: «*A* или *не-A*», является частным случаем квазиквантитативной переменной при  $k = 2$  для всех  $j$ .

**Пример.** Квазиквантитативные переменные имеют большое значение в социологических, эконометрических и медико-биологических исследованиях, в которых большинство переменных не может быть измерено в количественных шкалах. При этом квазиквантитативные переменные с небольшим числом состояний зачастую являются более адекватными, чем результаты измерений по методикам, использующим большее число градаций. Квазиквантитативный признак  $X$  качественных измерений с  $n$  классами задается  $k$  булевскими столбцами, который в силу избыточности можно задать  $k - 1$  столбцами. Представление квазиквантитативной переменной с  $(k - 1)$  столбцами носит название *индикаторной переменной* и широко используется в пакетах прикладных программ.

### 3. Многомерные данные

На практике объекты характеризуются большим количеством различных свойств и связей между ними, примерами являются объекты в социологии, эконометрике, медицине, экологии, сложных технических системах. Если каждый объект в выборке определяется значениями двух или более переменных, то имеем дело с *многомерными данными*, которые подразделяются на два класса данных – числовые и нечисловые.

**Матрица «объект-признак».** Многомерные данные представим в виде матрицы «объект-признак» [4], строки которой соотнесены с анализируемыми объектами или номерами опытов, а столбцы – со значениями изучаемых признаков. Матрицу «объект-признак» обозначим  $\mathbf{X} = [x_{ij}]$ , где  $i = 1, \dots, n$  – объекты,  $j = 1, \dots, m$  – признаки.

Особенностью данных типа «объект-признак» является то, что формирование матрицы связано со временем. Если измерения признаков осуществляются с неизменным сдвигом по времени, то получаем *синхронную схему* (рис. 1). Частным случаем такой схемы являются данные, полученные «одномоментно». Термин «одномоментно» означает такой отрезок времени, в течение которого не могут произойти существенные изменения в объекте. В матрице синхронных данных для  $n$  объектов  $U_1, \dots, U_n$  фиксируются значения  $m$  признаков  $X_1, \dots, X_m$  приблизительно в одно и то же время.

В ряде случаев оказывается, что некоторые элементы  $\mathbf{X}$  были получены в различное время, тогда предпринимаются действия для устранения этого влияния, например, случайным образом определяется порядок, в котором будут опрошены люди.

При более точных исследованиях нужно учесть изменение данных во времени одного или нескольких признаков и объектов. Такие схемы называются *диахронными*.

$$\begin{matrix} X_1 & \dots & X_m \\ U_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} & \end{matrix}$$

Рис. 1

#### 4. Таблицы сопряженности признаков

Признак A	Признак B				Всего по строкам
	1	2	...	c	
1	$n_{11}$	$n_{12}$	...	$n_{1c}$	$n_{1\bullet}$
2	$n_{21}$	$n_{22}$	...	$n_{2c}$	$n_{2\bullet}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
r	$n_{r1}$	$n_{r2}$	...	$n_{rc}$	$n_{r\bullet}$
Всего по столбцам	$n_{\bullet 1}$	$n_{\bullet 2}$	...	$n_{\bullet c}$	$n_{\bullet\bullet}$

Рис. 2

образует  $ij$ -ячейку (*cell*). Число объектов  $n_{ij}$  в  $ij$ -ячейке называют *наблюдаемой частотой* (*observed frequencies*) ячейки.

Сумму объектов  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца записывают так:

$$n_{i\bullet} = \sum_{j=1}^c n_{ij}, \quad n_{\bullet j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}.$$

Объем выборки равен сумме итогов строк и столбцов:

$$n = n_{\bullet\bullet} = \sum_{i=1}^r n_{i\bullet} = \sum_{j=1}^c n_{\bullet j} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c n_{ij}.$$

ТСП используются для решения ряда важных задач:

1. Выявления наличия *статистически значимой связи* между признаками A и B.
2. Построения *логарифмически-линейных* (логлинейных) *моделей*, которые основаны на представлении распределений с системами «вкладов» (*эффектов*), даваемых теми или иными множествами признаков. Такие модели позволяют решать задачи конструирования факторов, наилучшим образом соответствующих исходным данным.
3. В *методе анализе соответствий* (МАС), основной целью которого является переход от ТСП к *числовым* матрицам типа «объект-объект» при исследовании пространства объектов-точек, или «признак-признак» при исследовании признаков-точек в координатном пространстве малой размерности.

#### 5. Логарифмически-линейные модели для ТСП

Логлинейные модели позволяют исследовать простые и сложные связи между большим числом признаков. Приведем основные свойства этих моделей для ТСП 2×2.

**Гипотезы.** Рассматривается *нуль-гипотеза*  $H_0$ , относящаяся к независимости друг от друга признаков A и B. Проверку истинности  $H_0$  с альтернативной гипотезой  $H_1$ , которую определяют как  $H_0$ . Сначала предполагают, что  $H_0$  верна. Затем подсчитывают вероятности, связанные с возможными значениями *критериальной статистики*. Если наблюдаемое значение статистики больше ожидаемого на уровне значимости  $\alpha$ , то утверждают, что либо произошел редкий случай, либо не верна  $H_0$ .

**Критериальная статистика** вычисляется по формуле

$$X^2 = \sum_i \sum_j \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}, \quad (1)$$

где

$$e_{ij} = (n_{i\bullet} \cdot n_{\bullet j}) / n_{\bullet\bullet},$$

Рассмотрим *таблицу сопряженности признаков* (ТСП), которая описывает каждый объект в выборке двумя признаками A и B, измеренных в номинальной или порядковых шкалах. Если данные измерены в количественных шкалах, то они должны быть сгруппированы в не перекрывающиеся классы [1].

Пусть признак A имеет  $r \geq 2$  классов, а признак B –  $c \geq 2$  классов, тогда получим ТСП вида (рис. 2).

Часто ТСП называют *rc-таблицей* в соответствии с числом строк (*row*) и столбцов (*column*). Пересечение  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца



$j$  – ожидаемые частоты. Если  $e_{ij}$  не слишком малы, то распределение  $X^2$  имеет  $\chi_v^2$ -распределение с числом степеней свободы (с.с.)  $v = (r - 1)(c - 1)$ .

Можно применить и другую критериальную статистику

$$Y^2 = 2 \sum_i \sum_j n_{ij} \ln \left( \frac{n_{ij}}{e_{ij}} \right) = 2 \sum_i \sum_j n_{ij} \ln \left( \frac{n_{ij} n_{..}}{n_{i.} n_{.j}} \right), \quad (2)$$

которая также имеет  $\chi_v^2$ -распределение. На практике редко наблюдаются значительные расхождения между значениями  $X^2$  и  $Y^2$ .

**Критическая область.** Область, лежащая выше  $\alpha\%$  точки распределения  $\chi_v^2$ . Если окажется, что  $X^2 \geq \chi_v^2$ , то нулевая гипотеза отвергается.

Если признаки  $A$  и  $B$  независимы, то теоретическая вероятность  $p_{ij}$  того, что случайно выбранное наблюдение попадет в ячейку  $(i, j)$ , равна

$$p_{ij} = p_{i.} p_{.j}, \quad p_{i.} = \sum_{j=1}^c p_{ij}, \quad p_{.j} = \sum_{i=1}^r p_{ij}.$$

Хотя значения  $\{p_{ij}\}$  и неизвестны, отношения  $\{n_{ij}/n_{..}\}$  являются их оценками, и эти оценки можно использовать для вычисления ожидаемых частот при условии независимости  $A$  и  $B$ .

В случае ТСП  $2 \times 2$  признаки независимы, если для вероятностей справедливо соотношение  $p_{ij} = p_{i.} p_{.j}$ , где  $p_{i.} = \sum_{j=1}^2 p_{ij}$ ,  $p_{.j} = \sum_{i=1}^2 p_{ij}$ .

Случай зависимых признаков представим моделью

$$p_{ij} = \eta \tau_i^A \tau_j^B \tau_{ij}^{AB}. \quad (3)$$

Для независимых признаков ( $\tau_{ij}^{AB} = 1$ ) заменим неизвестные значения вероятностей  $p_{ij}$  их частотами  $n_{ij}$  и запишем модель (3) в аддитивной форме

$$\mu_{ij} = \ln n_{ij} = \theta^0 + \theta_i^A + \theta_j^B + \theta_{ij}^{AB}, \quad (4)$$

где  $\theta^0$  – общий эффект;  $\theta_i^A$  – эффект строк;  $\theta_j^B$  – эффект столбцов;  $\theta_{ij}^{AB}$  – эффект взаимодействия. Параметры модели (4) должны удовлетворять условию

$$\sum_i \theta_{ij}^{AB} = \sum_j \theta_{ij}^{AB} = \sum_i \theta_i^A = \sum_j \theta_j^B = 0. \quad (5)$$

Решив системы уравнений (4) и (5), получаем

$$\begin{aligned} \theta^0 &= \sum_i \sum_j \mu_{ij} / r \cdot c = \mu_{..}^*, \quad \theta_j^B = \sum_{i=1}^r \mu_{ij} / r - \mu_{..}^* = \mu_{.j}^* - \mu_{..}^*, \\ \theta_i^A &= \mu_{i.}^* - \mu_{..}^*, \quad \theta_{ij}^{AB} = \mu_{ij} - \mu_{..}^* - \mu_{i.}^* - \mu_{.j}^*. \end{aligned}$$

Формула (4) дает полное описание насыщенной модели и точно предсказывает частоты ячеек. При наличии большого числа признаков смысл исследования состоит в поиске модели с меньшим числом признаков, которая бы адекватно описывала исходные данные. Проверяются гипотезы независимости признаков, отсутствия эффекта одного или нескольких признаков, отсутствия эффекта от всех признаков, кроме общего.

**Многомерные ТСП.** В ТСП  $2 \times 2$  всего 4 ненасыщенных модели, для трех факторов это число равно 18, для четырех – 160, а для пяти приближается к 1000. В многомерном случае из всего многообразия моделей нужно выбрать несколько относительно простых моделей. Такой выбор нужно начинать с построения насыщенной модели, включающей все эффекты. При построении ненасыщенной модели следует учитывать только те эффекты  $\theta$ , которые существенно отличаются от нуля.

При росте числа признаков и их категорий растет и число ячеек в многомерной таблице. При практических исследованиях часто получается, что *число ячеек превосходит число наблюдений* и во многих ячейках оказываются нулевые частоты. В таких случаях логлиней-

ный анализ неприменим и невозможно построение насыщенной модели, так как логарифм 0 равен  $-\infty$ . Если количество факторов больше трех, то для построения моделей нужно воспользоваться пакетами прикладных программ, например, ППП Statgraphics позволяет строить модели для девяти переменных.

### 6. Метод анализа соответствий

Метод анализа соответствий (МАС) можно рассматривать как специальный метод исследования многомерных данных типа ТСП со многими входами. Целью МАС является представление многомерных нечисловых данных в координатном пространстве латентных переменных малой размерности в надежде получить хорошо интерпретируемую конфигурацию исследуемых объектов (признаков)-точек. Таким образом, МАС по своей сути похож на метод факторного анализа. Основной проблемой является переход от данных типа ТСП к числовой матрице типа «объект-объект» при исследовании пространства объектов-точек, или типа «признак-признак» при исследовании признаков-точек в сжатом координатном пространстве.

Пусть дана двухвходовая ТСП  $\mathbf{N}$  размерности  $(r \times c)$ . Целью МАС является представление исходных данных в пространствах меньшей размерности, которые бы сохраняли всю или почти всю информацию о различиях между строками или столбцами. Для такого представления можно использовать теорему Экарта-Юнга [6] с различными преобразованиями исходной матрицы данных  $\mathbf{N}$ . При применении МАС оперируют матрицей  $\mathbf{Z}$ , которая является специальной стандартизованной формой матрицы  $\mathbf{N}$ . Прежде чем получить матрицу  $\mathbf{Z}$ , введем понятия *масса*, *инерция* и *профили строк и столбцов*, которые используются в МАС.

**Масса.** Сначала вычислим *относительные частоты* таблицы  $\mathbf{N}$ , поделив каждый элемент на общее число наблюдений  $n$ . Тогда получим *нормированную* матрицу  $\mathbf{P} = \mathbf{N}/n = \{n_{ij}/n\} = \{p_{ij}\}$ ,  $i = 1, \dots, r, j = 1, \dots, c$ , сумма всех элементов которой равна 1, и она показывает, как распределена единичная *масса* по ячейкам. Масса каждой строки и столбца определяется по формулам

$$\mathbf{w}_r = \mathbf{P}\mathbf{1}_r, \quad \mathbf{w}_c = \mathbf{P}'\mathbf{1}_c, \tag{6}$$

где  $\mathbf{1}_r, \mathbf{1}_c$  – векторы размерности  $r$  и  $c$  с единичными элементами.

**Профили строк.** Для получения профилей строк элементы  $p_{ij}$  нужно поделить на  $w_{ri}$ :  $p_{ij}^{(r)} = p_{ij}/w_{ri}$ . Тогда получим ТСП (рис. 3).

Группа	Категория				Всего по строкам
	1	2	...	c	
1	$p_{11}^{(r)}$	$p_{12}^{(r)}$	...	$p_{1c}^{(r)}$	1
2	$p_{21}^{(r)}$	$p_{22}^{(r)}$	...	$p_{2c}^{(r)}$	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
r	$p_{r1}^{(r)}$	$p_{r2}^{(r)}$	...	$p_{rc}^{(r)}$	1
Масса	$w_{c1}$	$w_{c2}$	...	$w_{cc}$	

Рис. 3

Масса каждого столбца  $w_{cj}$  вычисляется по формуле (6). Сумма элементов строки равна 1 и каждый элемент  $p_{ij}^{(r)}$  в матрице профилей строк интерпретируется как условная вероятность того, что элемент  $i$ -й строки принадлежит столбцу  $j$ .

**Профили столбцов.** В этом случае элементы  $p_{ij}$  нужно поделить на  $w_{cj}$ :  $p_{ij}^{(c)} = p_{ij}/w_{cj}$ . Масса каждой строки  $w_{ri}$  вычисляется по формуле (6). Сумма элементов столбца равна 1 и каждый элемент  $p_{ij}^{(c)}$  в матрице профилей столбцов интерпретируется как условная вероятность того, что элемент  $j$ -го столбца принадлежит  $i$ -й строке. Тогда получим

Группа	Категория				Масса
	1	2	...	c	
1	$p_{11}^{(c)}$	$p_{12}^{(c)}$	...	$p_{1c}^{(c)}$	$w_{r1}$
2	$p_{21}^{(c)}$	$p_{22}^{(c)}$	...	$p_{2c}^{(c)}$	$w_{r2}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
r	$p_{r1}^{(c)}$	$p_{r2}^{(c)}$	...	$p_{rc}^{(c)}$	$w_{rr}$
Всего по столбцам	1	1	...	1	

Рис. 4

**Расстояние** точки до центра масс определяется по формулам:

$$d_{r_i} = \left[ \sum_j \frac{1}{w_{c_j}} \left( \frac{P_{ij}}{w_{r_i}} - w_{c_j} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad Inotr_i = \frac{w_{r_i} \cdot d_{r_i}^2}{\sum_i w_{r_i} \cdot d_{r_i}^2}, \quad Inotc_j = \frac{w_{c_j} \cdot d_{c_j}^2}{\sum_j w_{c_j} \cdot d_{c_j}^2}.$$

**Инерция.** Термин *инерция* является аналогом понятия «момент инерции», и определяется как интеграл произведения элементов массы на квадрат расстояния до центра масс. Тогда инерция каждой строки и столбца равна

$$Inr_i = w_{r_i} \cdot d_{r_i}^2, \quad Inc_j = w_{c_j} \cdot d_{c_j}^2.$$

Инерции определяются как значения  $\chi^2$  статистики Пирсона для соответствующих строк и столбцов исходной ТСП, деленные на  $n$ . При этом суммы инерций исходной и преобразованной систем по всем строкам или столбцам должны совпадать.

**Относительная инерция.** Относительная инерция каждой строки или столбца вычисляется по формуле

$$Inotr_i = \frac{w_{r_i} \cdot d_{r_i}^2}{\sum_i w_{r_i} \cdot d_{r_i}^2}, \quad Inotc_j = \frac{w_{c_j} \cdot d_{c_j}^2}{\sum_j w_{c_j} \cdot d_{c_j}^2}.$$

Если вычисления проведены правильно, то сумма относительной инерции по всем строкам или столбцам должна равняться 1.

**Порядок описания модели МАС.** Для описания исходных данных моделью МАС используем теорему Экарта-Юнга [6]. Так как теорема верна при различных преобразованиях исходной ТСП, то будем применять такое преобразование, которое использует введенное выше понятие инерции. Порядок этих преобразований имеет вид:

1. Вычисляются суммарные значения  $w_r$ ,  $w_c$  по формулам (6).
2. Векторы масс  $w_r$  и  $w_c$  преобразуются в диагональные матрицы

$$\mathbf{D}_r = \text{diag}(w_r^{-1/2}), \quad \mathbf{D}_c = \text{diag}(w_c^{-1/2}).$$

3. Тогда нормированная матрица  $\mathbf{P}$  будет равна

$$\mathbf{Y} = \mathbf{D}_r \mathbf{P} \mathbf{D}_c.$$

4. Умножая  $\mathbf{Y}$  справа на  $\mathbf{D}_c^{-1} \mathbf{1}$  и слева на  $\mathbf{1}' \mathbf{D}_r^{-1}$ , получаем

$$\mathbf{Y} \mathbf{D}_c^{-1} \mathbf{1} = \mathbf{D}_r \mathbf{P} \mathbf{1} = \mathbf{D}_r^{-1} \mathbf{1}; \quad \mathbf{1}' \mathbf{D}_r^{-1} \mathbf{Y} = \mathbf{1}' \mathbf{P} \mathbf{D}_c = \mathbf{1}' \mathbf{D}_c^{-1}.$$

Выражения  $\mathbf{D}_r^{-1} \mathbf{1}$  и  $\mathbf{1}' \mathbf{D}_c^{-1}$  есть пара сингулярных векторов, соответствующих *единичному* сингулярному значению. Так как матрица  $\mathbf{Y}$  положительная и состоит из элементов,

меньших 1, то из теоремы Фробениуса-Перрона следует, что единичное сингулярное значение является максимальным. Элементы собственных векторов, соответствующие этому сингулярному значению, равны суммам строк и столбцов и не могут быть использованы непосредственно для вывода координатного описания мультипликативной модели МАС Исключив влияние эффектов строк и столбцов, получаем следующее сингулярное разложение

$$\mathbf{Z} = \mathbf{D}_r \mathbf{P} \mathbf{D}_c - \mathbf{D}_r^{-1} \mathbf{1} \mathbf{1}' \mathbf{D}_c^{-1} = \sum_{i=2} \sigma_i \mathbf{u}_i \mathbf{v}_i' = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}' . \quad (7)$$

Правая часть выражения (7) есть сингулярное разложение матрицы  $\mathbf{Z}$  с элементами

$$z_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sqrt{n_{i\cdot} n_{\cdot j}}} - \frac{\sqrt{n_{i\cdot} n_{\cdot j}}}{n} = \frac{n_{ij} - n_{i\cdot} n_{\cdot j} / n}{\sqrt{n_{i\cdot} n_{\cdot j}}} . \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой квадратный корень, деленный на  $n$ , из элемента  $\chi^2$ -статистики Пирсона, и применяется для проверки гипотезы независимости групп-строк категорий-столбцов.

Таким образом, МАС можно рассматривать как метод декомпозиции  $\chi^2$ -статистики для ТСП, которая обеспечивает два вида шкалирования: для групп-строк и для категорий-столбцов

$$\mathbf{F} = \mathbf{D}_r \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} , \quad \mathbf{G} = \mathbf{D}_c \mathbf{V} \mathbf{\Sigma} . \quad (9)$$

**Выбор размерности координатного пространства.** Выбор размерности пространства можно осуществить отдельно как для групп-строк, так и для категорий-столбцов. Размер базиса для групп-строк или категорий-столбцов в евклидовом пространстве выбирается, как и в факторном анализе, по доле вклада собственных значений или доли инерции (следовательно, и величины хи-квадрат) строк (столбцов) в общую инерцию в зависимости от числа координат пространства.

**Оценка качества решения.** Качество решения определяется точностью представления расстояний между точками в пространстве более низкой размерности. Если используется максимальная размерность ( $\min(r, c) - 1$ ), то все расстояния воспроизводятся без ошибок. Сначала рассмотрим задачу для разложения по строкам. Найдем значения относительной инерции при выборе координаты  $F^{(k)}$  к общей инерции исходной системы

$$Inot F_i^{(k)} = \frac{w_{r_i} \cdot (F_i^{(k)})^2}{\sum_i w_{r_i} \cdot (F_i^{(k)})^2} , \quad k = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, r,$$

где  $m < r$  – размерность выбранного координатного пространства. По величине  $Inot F_i^{(k)}$  можно судить, какая координата вносит больший вклад в относительную инерцию.

Оценку качества решения по координате  $F_i^{(k)}$  можно определить по отношению величин инерций полученной и исходной координат

$$\gamma(F_i^{(k)}) = \frac{w_{r_i} \cdot (F_i^{(k)})^2}{w_{r_i} \cdot d_{r_i}^2} = \frac{(F_i^{(k)})^2}{d_{r_i}^2} .$$

Величина  $\gamma(F_i^{(k)})$  интерпретируется как корреляция  $i$ -го объекта с координатной осью  $k$ . Качество решения для координатного пространства размерности  $m$  определяется по формуле

$$\gamma(F_i^{(1)} \dots F_i^{(k)}) = \sum_{k=1}^m \gamma F_i^{(k)} .$$

Если величина  $\gamma(F_i^{(1)} \dots F_i^{(k)})$  для  $i$ -й строки мала (например, меньше 0,1), то выбранный размер  $m$  координатного пространства мал и недостаточно хорошо представляет данную строку.

Качество решения для разложения по точкам столбцов по каждой отдельно взятой координате  $G_j$  можно определить по вышеприведенным формулам, заменив  $F$  на  $G$ , а индексы  $i$  на  $j$ ,  $r$  на  $c$ .

Тогда получим

$$\text{Inot}G_j^{(k)} = \frac{w_{c_j} \cdot (G_j^{(k)})^2}{\sum_j w_{c_j} \cdot (G_j^{(k)})^2}, \quad k=1, \dots, m; i=1, \dots, c,$$

где  $m < c$  – размерность выбранного координатного пространства

$$\gamma(G_j^{(k)}) = (G_j^{(k)})^2 / d_{c_j}^2, \quad \gamma_j(G_j^{(1)} \dots G_j^{(k)}) = \sum_{k=1}^m \gamma G_j^{(k)}.$$

**Углы точек, исходящие от центра масс.** Углы при разложении по строкам и столбцам (9) относительно строки и столбца определяются по формулам

$$\alpha F_i^{(k)} = \arccos(\sqrt{\gamma(F_i^{(k)})}), \quad \alpha G_j^{(k)} = \arccos(\sqrt{\gamma(G_j^{(k)})}).$$

**Статистическая значимость анализа соответствий.** МАС является разведочным методом, и он разработан на методологии построения моделей с точки зрения их соответствия данным, а не наоборот. Отсюда следует, что не существует статистических гипотез, которые могут быть применены для проверки результатов этого анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аптон Г. Анализ таблиц сопряженности / Г. Аптон; пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1982. 143 с.
2. Благуш П. Факторный анализ с обобщениями / П. Благуш; пер. с чешск. М.: Финансы и статистика, 1989. 248 с.
3. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. М.: Радио и связь, 1982. 184 с.
4. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков и структур / Б.Г. Миркин. М.: Статистика, 1980. 319 с.
5. Орлов А.И. Нечисловая статистика / А.И. Орлов. М.: МЗ-Пресс, 2004. 513 с.
6. Справочник по прикладной статистике: пер. с англ. / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. М.: Финансы и статистика, 1989. Т. 1. 510 с. 1990. Т. 2. 526 с.
7. Луценко Е.В. Математический метод СК-анализа в свете идей интервальной бутстрепной робастной статистики объектов нечисловой природы / Е.В. Луценко // Научный электронный журнал КубГАУ. 2004. № 01 (3).

**Долинина Ольга Николаевна** –

кандидат технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой «Прикладные информационные технологии»  
Саратовского государственного технического университета

**Каримов Равиль Нургалиевич** –

кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Прикладные информационные технологии»  
Саратовского государственного технического университета

## **ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

---

УДК 621.385.01

**А.Б. Леванде, А.А. Терентьев, М.А. Фурсаев, А.С. Зяблов**

### **ОЦЕНКА ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТЕЙШИХ МОДЕЛЕЙ АМПЛИТРОНА**

*Проведена оценка применимости простейших моделей амплитрона, которыми являются модели «безынерционной» и «жесткой» спицы. На базе моделирования структуры электронного облака в этом приборе методом крупных частиц показано, что модель «безынерционной» спицы адекватно отражает процесс срыва усиления в амплитроне, а учет модели «жесткой» спицы позволяет с большей точностью оценить зависимость напряжения в режиме срыва от частоты.*

**A.B. Levande, A.A. Terentyev, M.A. Fursaev, A.S. Zyablov**

### **SIMPLEST OF SIMULATIONS OF AMPLITRONS RANGE OF USAGE ASSESSMENT**

*An assessment of the simplest simulations of amplitrons was made, including the massless and inflexible spoke simulations. The large particle technique was used to represent the electron cloud in the device. The massless spoke approximation in the simulations proved to be effective in describing the quenching of oscillations in amplitrons, while the inflexible spoke approach facilitated a high accuracy prediction of voltage frequency relationship in the course of oscillations quenching.*

Основой анализа электрических характеристик амплитрона являются представления относительно структуры электронного облака в приборе и условий его формирования. При приближенных расчетах характеристик амплитрона использовались две простейшие, исключаящие друг друга, модели – модели «безынерционной» [1, 2] и «жесткой» [3, 4] спиц. В первой модели полагалась мгновенная подстройка спицы при ее вращении вокруг катода под действием ВЧ поля, амплитуда которого изменяется вдоль замедляющей системы. Согласно второй модели электронное облако представляется набором целого числа одинаковых, равномерно распределенных вокруг катода электронных спиц, параметры которых не зависят от ВЧ поля замедляющей системы. В работе [5] предпринимается попытка объединения этих моделей. Однако оно было осуществлено формально.

Использование метода крупных частиц позволяет смоделировать структуру электронного облака в амплитроне и исследовать ее зависимость от параметров электрическо-

го режима прибора. Результаты такого моделирования дают возможность оценить степень адекватности каждой из упомянутых выше простейших моделей и определить области их применения.

Ниже на базе математической модели, описанной в [6], исследуется зависимость структуры электронного облака в амплитроне от электрического режима прибора и проводится оценка областей применения моделей «безынерционной» и «жесткой» спиц по результатам этих исследований.

На рис. 1 представлена смоделированная структура электронного облака амплитрона при его работе в центре рабочей зоны фазовых сдвигов на дисперсионной характеристике замедляющей системы [7]. Она приведена для прибора, анодный блок которого содержит 17 ячеек, работающего на второй зоне с постоянной распространения в ее центре  $\gamma=7$  с коэффициентом усиления 11 дБ. В этом режиме (рис. 1, а) облако состоит из семи спиц, которые можно считать практически одинаковыми. По крайней мере, видна периодичность между участками анода, на которые попадают электроны.

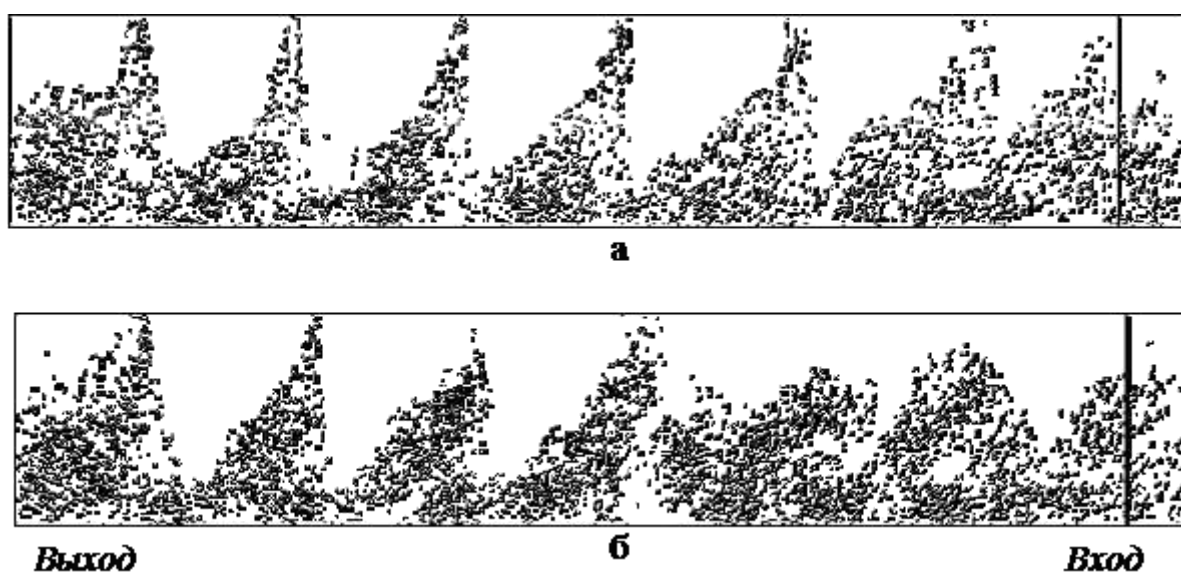


Рис. 1. Конфигурация электронного облака при значениях анодного напряжения, соответствующих номинальному режиму (а) и режиму, непосредственно предшествующему срыву усиления (б)

Структура электронного облака на рис. 1, б соответствует анодному напряжению, величина которого превышает напряжение в режиме срыва усиления, характеризующемся максимальным значением анодного тока. Видно, что электронное облако состоит из семи сгустков, однако под входными ячейками блока они не достигают анода, чем обусловлено уменьшение анодного тока по сравнению с током в режиме срыва. Очевидно, что в режиме срыва усиления происходит отрыв спицы от анода под входной ячейкой анодного блока, где амплитуда ВЧ поля замедляющей системы минимальна. Такой механизм срыва усиления в амплитроне был прогнозирован в [1] исходя из модели «безынерционной» спицы.

Представляют интерес результаты моделирования структуры электронного облака на частоте, при которой постоянная распространения соответствует границе двух соседних зон на дисперсионной характеристике замедляющей системы. Возможность усиления при таких фазовых сдвигах следует из факта возбуждения низковольтного вида колебаний, предшествующего режиму усиления при увеличении анодного напряжения [5]. При 17 ячейках

анодного блока постоянная распространения на частоте этого низковольтного вида равна  $\gamma=7,5$ .

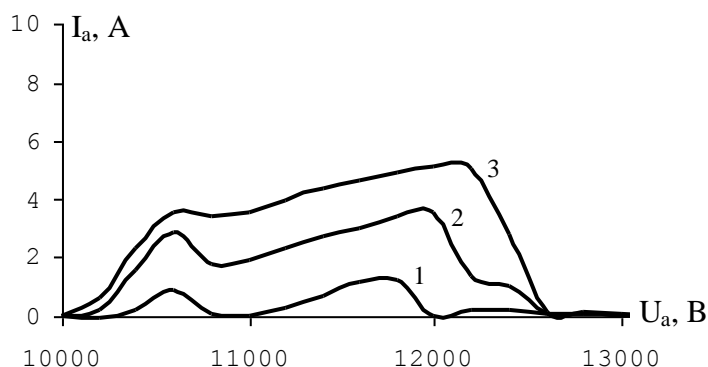


Рис. 2. Расчетные ВАХ амплитрона при усилении сигнала с частотой, соответствующей границе рабочих зон: 1 –  $P_{ex}=1$  кВт; 2 –  $P_{ex}=2$  кВт; 3 –  $P_{ex}=4$  кВт

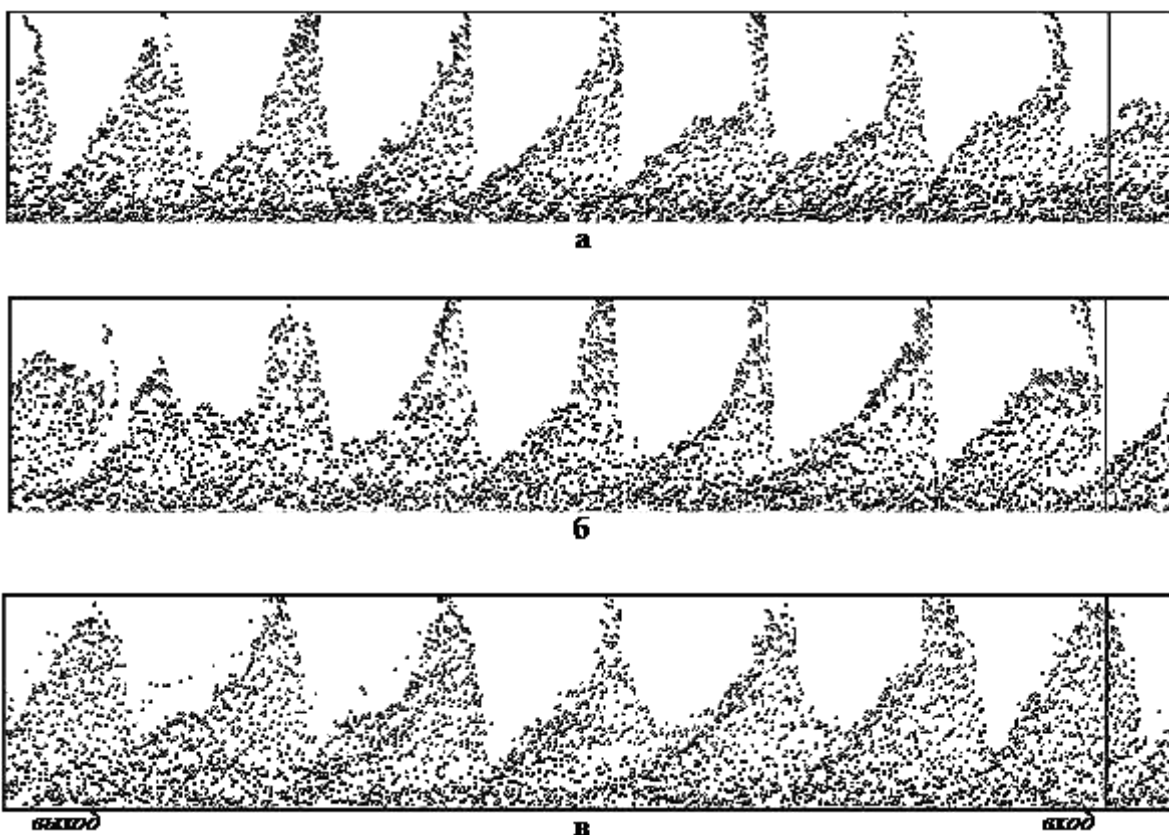


Рис. 3. Конфигурации электронного облака на различных участках ВАХ при усилении сигнала с частотой, соответствующей границе рабочих зон: а – с восемью спицами; б – переформирование спиц под выходными ячейками; в – с семью спицами

Расчет вольт-амперных характеристик амплитрона на частоте с постоянной распространения  $\gamma=7,5$ , результаты которого приведены на рис. 2, показывает, что эти зависимости имеют два участка, где величина тока увеличивается с увеличением напряжения. Данные участки вольт-амперной характеристики отличаются структурой облака: на низковольтном участке оно состоит из восьми спиц, на высоковольтном – из семи, что иллюстрируется результатами моделирования на рис. 3, а и в. На участке, где ток уменьшается при увеличении



напряжения, происходит переформирование структуры электронного облака. Как видно из рис. 3, б, оно происходит под выходными ячейками анодного блока.

Как показало моделирование, на частотах, отличных от частоты, соответствующей границе соседних рабочих зон дисперсионной характеристики, также наблюдается наличие двух участков вольт-амперной характеристики с различным числом спиц. При смещении в сторону низких частот интервал напряжений с восемью спицами увеличивается, а при смещении в сторону высоких частот увеличивается интервал напряжений с семью спицами.

Следует иметь в виду, что численное моделирование проводилось при предположении идеального согласования элементов электродинамической системы амплитрона. В действительности же на частотах в рабочем диапазоне эти условия, как правило, не обеспечиваются. Тем не менее, проведенное моделирование показало отсутствие резкой границы между соседними рабочими зонами и возможность достаточно «плавного» переформирования структуры электронного облака в амплитроне с изменением числа спиц. Очевидно, подобные процессы не могут быть объяснены на базе простейших моделей относительно формирования электронных спиц в этом приборе.

При моделировании рабочего режима амплитрона рассчитывается его вольт-амперная характеристика, и по максимуму тока на этой зависимости определяется напряжение в режиме срыва. Как показало моделирование, интервал анодных напряжений, где осуществляется усиление рабочего сигнала, располагается вокруг величины потенциала Хартри, что соответствует экспериментальным данным [7]. Связь между величинами напряжения в режиме срыва и Хартри была показана в [1] на основе модели «безынерционной» спицы. При предположении, что амплитуда напряжения ВЧ волны на входе замедляющей системы практически равна амплитуде взаимодействующей гармоники входного сигнала, было получено соотношение для оценки величины анодного напряжения в режиме срыва усиления в виде:

$$U_{a \text{ срыва}} = U_X + U_{1 \text{ вх}}, \quad (1)$$

где  $U_X$  – пороговое напряжение Хартри;  $U_{1 \text{ вх}}$  – амплитуда взаимодействующей гармоники входного напряжения.

Математическое моделирование позволяет определить возможность использования этого соотношения. В таблице приведено сравнение величин напряжения в режиме срыва моделируемого амплитрона, полученных в результате моделирования и при расчете по соотношению (1) для двух случаев:

– когда значение постоянной распространения, входящее в соотношение для расчета напряжения Хартри, соответствует частоте рабочего сигнала и определяется дисперсией замедляющей системы;

– когда это значение полагается целым числом, равным значению постоянной распространения для центра рабочей зоны, т.е. является одинаковой для всех частот рабочего диапазона.

Последний случай соответствует модели «жесткой» спицы.

Сравнение результатов расчета напряжения в режиме срыва усиления

$f / f_0$	$\gamma$	$U_{\text{срыва}}$ , кВ моделиров.	$U_{\text{срыва}}$ , кВ при $\gamma = F(f)$	$U_{\text{срыва}}$ , кВ при $\gamma = \text{const}$
0.95	7,5	12,9	12,57	12,93
1.00	7	13,4	13,48	13,48
1.05	6,5	14,1	14,42	14,01

Из сравнения данных таблицы следует, что соотношение (1) позволяет провести оценку зависимости анодного напряжения амплитрона в режиме срыва усиления в рабочем диапазоне частот. При этом необходимо величину постоянной распространения, входящую в

соотношение для напряжения Хартри, считать не зависящей от частоты и равной значению, соответствующему центру рабочей зоны.

Таким образом, как следует из выполненного математического моделирования, электронное облако в амплитроне при его работе на частотах центральной части рабочей зоны дисперсионной характеристики замедляющей системы проявляет свойства, соответствующие простейшим моделям: «безынерционной» и «жесткой» спиц. Первая из этих моделей позволяет объяснить явление срыва усиления в амплитроне. Однако при расчете зависимости анодного напряжения в режиме срыва от частоты она должна быть дополнена положением модели «жесткой» спицы относительно целочисленного значения постоянной распространения, величина которой остается постоянной в рабочем диапазоне частот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фурсаев М.А. К использованию диаграммы фазовой фокусировки для анализа приборов магнетронного типа / М.А.Фурсаев // Вопросы радиоэлектроники. Сер. 1. Электроника. 1965. Вып. 4. С. 30-35.
2. Хелл В. Электронное взаимодействие в приборах со скрещенными полями в режиме ограничения луча пространственным зарядом / В. Хелл // Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями: пер. с англ. М.: ИЛ, 1961. Т. 1. С. 425-436.
3. Хворов М.И. Приближенная оценка параметров модели электронного облака магнетрона в виде «жестких» самоуравновешенных спиц / М.И. Хворов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. 1. Электроника. 1964. Вып. 7. С. 92-100.
4. Dombrowsky G. Theory of the amplitron / G. Dombrowsky // Transaction IRE. 1959. Vol. ED-6, № 4. P. 419-426.
5. Цейтлин М.Б. Сверхвысокочастотные усилители со скрещенными полями / М.Б. Цейтлин, М.А. Фурсаев, О.В. Бецкий. М.: Сов. радио, 1978. 280 с.
6. Терентьев А.А. Численное моделирование многоволновых процессов в магнетронных усилителях / А.А. Терентьев, Е.М. Ильин, В.Б. Байбурун // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1987. Т. 30, № 10. С. 63-67.
7. Браун В. Платинотрон (амплитрон и стабилотрон) / В. Браун // Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями: пер. с англ. М.: ИЛ, 1961. Т. 2. С. 155-167.

#### **Леванде Алексей Борисович –**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры  
«Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Терентьев Александр Александрович –**

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Фурсаев Михаил Александрович –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника и электроника»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Зяблов Антон Сергеевич –**

аспирант кафедры

УДК 621.396

**В.В. Тертышник, А.В. Зиновьев****МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ  
ПО ИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ПОРТРЕТАМ**

*Приводятся результаты моделирования распознавания аэродинамических объектов трех классов по их радиолокационным портретам. Исследовались корреляционный алгоритм распознавания и корреляционный алгоритм с усреднением. Эффективность алгоритмов оценивалась по матрице условных вероятностей, а также с помощью рабочих характеристик распознавания. Входные радиолокационные портреты предварительно смешивались с шумом. При моделировании выяснилось влияние числа эталонных портретов и величины отношения сигнал/шум на эффективность распознавания.*

**V.V. Tertishnik, A.V. Zinoviev****MODELING OF ALGORITHMS OF OBJECTS RECOGNITION ACCORDING  
TO THEIR RADIOLOCATION PORTRAITS.**

*Modeling results of three-class objects recognition according to their radiolocation portraits are represented. Correlation algorithm of recognition and correlation algorithm with averaging are studied. Algorithms efficiency is evaluated by matrix of conditional probabilities and using recognition characteristics. Input radiolocation portraits are preliminary mixed with noise. Influence of perfect portraits number and relation signal/noise on recognition efficiency are defined.*

Моделирование распознавания проводилось в предположении гауссовости входных сигналов. Условная плотность распределения вероятности смеси  $k$ -го портрета  $i$ -го класса с шумом описывалась выражением [1]

$$p_{ik}(V) = \pi^{-n} \det P_{ik} \det H e^{-(P_{ik}V, V)}, \quad (1)$$

где  $P_{ik}$  – оператор, обратный к корреляционному оператору, соответствующему смеси  $k$ -го радиолокационного портрета объекта класса  $A_i$ ;  $H$  – определитель матрицы  $\mathbf{H}$ , характеризующей систему выбранных линейно независимых функций конечного унитарного подпространства  $H_n$  гильбертова пространства  $L_2$ .

В выражении (1) зависимость от конкретного базиса в подпространстве  $H_n$  отражена только в  $\det H$ , остальные величины от базиса не зависят.

Условная плотность распределения вероятности только шума имеет вид

$$p_N(V) = \pi^{-n} \det\left(\frac{1}{N}I\right) \det He^{-\left(\frac{1}{N}V, V\right)}, \quad (2)$$

где  $N$  – спектральная плотность мощности шума;  $I$  – единичная матрица.

Отношение правдоподобия с учетом (1) и (2) можно записать

$$l_{ik}(V) = \det(N P_{ik}) e^{\left(\frac{1}{N}(I-NP_{ik})V, V\right)}, \quad (3)$$

оно не зависит от базисных функций в подпространстве  $H_n$  [2].

Анализ величин, входящих в отношение правдоподобия, показал, что при энергетических соотношениях сигнал / шум для одиночных импульсов портрета больше трех оператор  $(I-NP_{ik})$  представляет собой стробирующий (опорный) сигнал, а сомножитель  $\det(NP_{ik})$  практически не влияет на величину отношения правдоподобия. С учетом этого отношение правдоподобия можно записать

$$l_{ik} \approx e^{\left(\frac{\mathcal{E}}{N}\rho_{ik}\right)}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}$  – энергия входного сигнала;  $\rho_{ik}$  – коэффициент взаимной корреляции входного радиолокационного портрета с  $k$ -м эталоном  $i$ -го класса.

С целью упрощения алгоритма распознавания при моделировании представим экспоненту в (4) степенным рядом

$$l_{ik} \approx 1 + \frac{\mathcal{E}}{N}\rho_{ik}. \quad (5)$$

Заметим, что замена отношения правдоподобия степенным рядом более удобна и корректна, чем замена его логарифмом отношения правдоподобия.

Выражение для максимального среднего выигрыша с учетом (3)...(5) записывается [3]

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \int \sum_{S_i, k=1}^{n_i} \beta_{ik} \left(1 + \frac{\mathcal{E}}{N}\rho_{ik}\right) dV, \quad (6)$$

где  $\beta_{ik}$  – априорная вероятность появления  $k$ -го портрета  $i$ -го класса.

Для обеспечения максимального среднего выигрыша (6) необходимо для каждой области  $S_i$  выбрать максимум суммы

$$\rho_i = \sum_{k=1}^{n_i} \frac{\mathcal{E}}{N} \beta_{ik} \rho_{ik}. \quad (7)$$

Входящий в выражение (7) сомножитель  $\frac{\mathcal{E}}{N}$  является общим для всех  $\rho_i$ , поэтому при сравнении последних его можно не учитывать.

Таким образом, при разбиении пространства входящих сигналов на непересекающиеся области  $S_i$  можно пользоваться статистикой

$$\rho_i = \sum_{k=1}^{n_i} \beta_{ik} \rho_{ik}. \quad (8)$$

Решающее правило при этом имеет вид

$$V \in S_i \text{ если } \rho_i > \rho_j, j = 1, 2, 3 \dots n. \quad (9)$$

Статистика (8) представляет собой усредненный коэффициент взаимной корреляции входного радиолокационного портрета со всеми эталонами  $i$ -го класса. В случае неизвестных априорных вероятностей появления портретов  $i$ -го класса приходится применять

$\beta_{ik} = 1/n_i = \text{const}$ . Тогда статистика  $\rho_i$  будет представлять собой усредненный с одинаковыми весами коэффициент корреляции входного сигнала  $V(t)$  с эталонами  $i$ -го класса. При моделировании распознавания входные радиолокационные портреты объектов представлялись в виде дискретных отсчетов амплитуды через равные промежутки времени. Интервал дискретизации по времени с целью обеспечения небольших ошибок восстановления портретов в большинстве случаев выбирался равным  $\Delta\tau=0,4\tau_u$ , где  $\tau_u$  – длительность сжатого импульса. При таком представлении входных радиолокационных портретов первичными признаками распознавания являются значения дискретных отсчетов амплитуд и последовательность их следования. При реализации рассматриваемого алгоритма распознавания необходимо производить поиск максимума коэффициента корреляции  $\rho_{ik}$ . Это связано с тем, что, во-первых, точное время прихода входных портретов неизвестно, во-вторых, начало портретов в присутствии шумов точно определить удается не всегда. Входной сигнал, поступающий на устройство распознавания, выделялся с помощью строба дальности. Длительность строба  $\tau_c$  превосходила максимальную длительность полезного сигнала и определялась точностью измерения дальности до объекта. Число дискретных отсчетов (размерность вектора признаков) входной реализации при таких условиях равна  $n = \tau_c / \Delta\tau$ , где  $\Delta\tau$  – интервал дискретизации.

Максимум коэффициента корреляции входного сигнала с эталоном находился путем перемещения эталона вдоль входной реализации с дискретным шагом  $\Delta\tau$  и вычисления коэффициента корреляции на каждом шаге.

Таким образом, работа квазиоптимального алгоритма распознавания при решающем правиле (9) описывается выражением

$$\rho_i = \sum_{k=1}^{n_i} \beta_{ik} \max \left\{ \frac{\sum_{j=1}^m \vartheta_j u_{(j+l)ik}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \vartheta_j^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{(j+l)ik}^2}} \right\}, \quad l = 0, 1, \dots, n, \quad (10)$$

где  $\vartheta_j$  – дискретный  $j$ -й отсчет входной реализации;  $u_{jik}$  – дискретный  $j$ -й отсчет  $k$ -го портрета  $i$ -го класса.

Рассмотренный квазиоптимальный алгоритм распознавания включает в себя черты и основные преимущества, присущие корреляционному методу распознавания. Корреляционный метод распознавания также базируется на подсчете коэффициентов корреляции между заранее сформированными эталонами и входными реализациями [4]. Однако решение о принадлежности входной реализации к определенному классу выносится по максимальному коэффициенту корреляции входной реализации только с одним из эталонов классов.

Одним из существенных преимуществ этих алгоритмов является то, что в них используются нормированные эталоны и входные реализации. Если эталоны и входные реализации представить как векторы в  $n$ -мерном пространстве, то на результат распознавания не будут оказывать влияние длины этих векторов.

Другим важным преимуществом алгоритма является инвариантность к временным сдвигам входных реализаций. Это свойство заложено в самом принципе алгоритма распознавания (10), так как он предусматривает просмотр всех положений входных реализаций и отыскание такого положения, которое дает наибольшую корреляцию с эталоном. При этом не требуется предварительного отыскания начала входного радиолокационного портрета (РЛП).

Оценка эффективности рассмотренных квазиоптимальных алгоритмов распознавания проводилось экспериментальным путем. Произвести аналитическую оценку этих алгоритмов довольно сложно, поскольку вид распределения случайной величины  $\rho_i$  не известен. При моделировании распознавания по РЛП использовались объекты трех классов: протяженный объект (бомбардировщик), объект средних размеров (истребитель) и маленький объект (ра-

кета). Распознавание проводилось в некоторой области диапазона наиболее вероятных ракурсов. Эта область располагалась в пределах  $\varphi=4^\circ-17^\circ$  и  $\Theta=100^\circ-101^\circ$  и, как отсюда следует, размеры в горизонтальной плоскости равнялись  $13^\circ$ , а в вертикальной  $1^\circ$ . Размеры области были достаточно небольшими с тем, чтобы получить достаточное количество статистических данных. РЛП объектов всех классов в этой области были рассчитаны с дискретностью по  $\varphi=0,1^\circ$  и  $\Theta=1^\circ$  [5, 6]. Число различных входящих реализаций портретов объектов каждого класса, предъявляемых для распознавания, составляло от 70 до 260. В реальных условиях на реализацию портретов будет оказывать влияние шум. Поэтому входные радиолокационные портреты области предварительно смешивались с шумом. Квадратурные составляющие шума были распределены по нормальному закону с нулевым средним и заданной дисперсией. Пример входных радиолокационных портретов объекта средних размеров при разрешающей способности по дальности  $\delta_r=2,25$  м без учета шума и с его учетом  $\sigma=0,109$  показаны на рис. 1. В дальнейшем при оценке качества распознавания в зависимости от отношения энергии сигнала и спектральной плотности мощности шума используется параметр  $q$

$$q = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}}{N}}, \quad (11)$$

где  $\mathcal{E}$  – средняя энергия одного импульса радиолокационного портрета;  $N$  – спектральная плотность мощности шума.

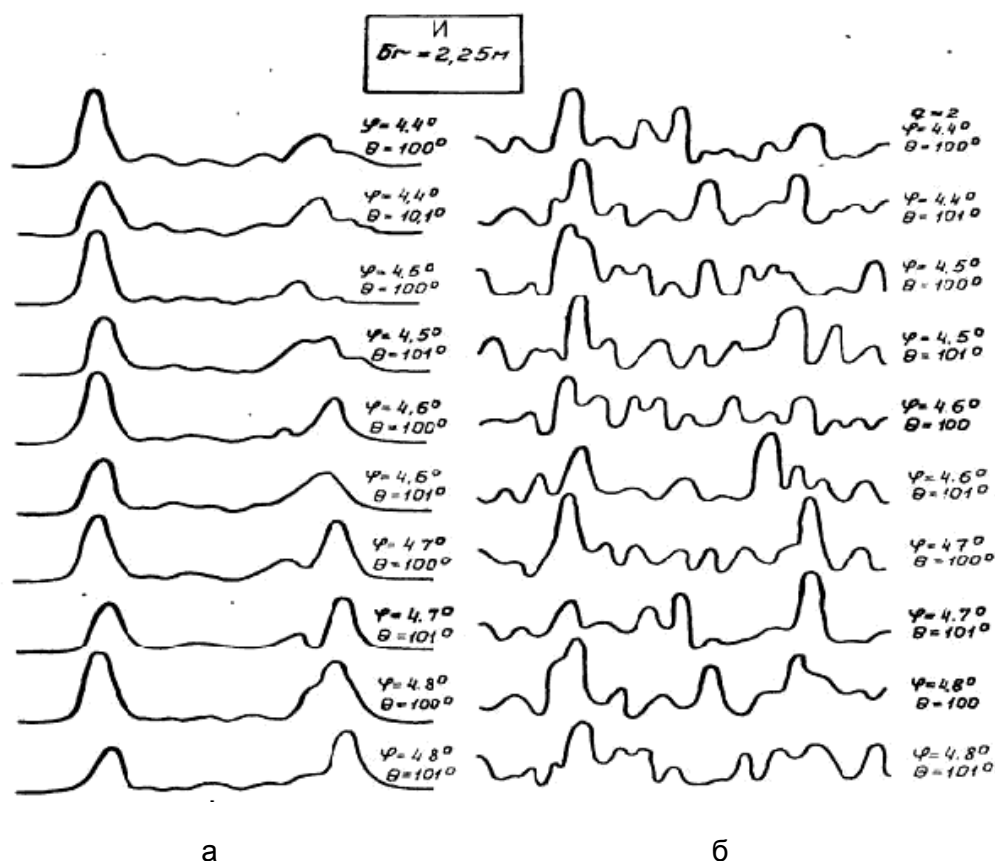


Рис. 1. Радиолокационные портреты объекта средних размеров:  
а) без шума, б) с учетом шума

Среднее число импульсов радиолокационных портретов выбранных большого, среднего и малого объектов на основе их анализа было принято соответственно 8,5, 4,5 и 2. Чтобы получить значение отношения сигнал / шум  $q_\Sigma$  по напряжению для всего РЛП каждого

объекта, параметр  $q$  необходимо умножить: для большого объекта на 2,9, средней протяженности на 2,1 и малой протяженности на 1,4. Эти простые пересчетные соотношения можно получить с помощью рис. 2. На второй оси ординат отложено отношение средней суммарной энергии портретов к спектральной плотности мощности шума  $\frac{\mathcal{E}_\Sigma}{N_0}$ .

Эффективность распознавания оценивалась по матрице условных вероятностей  $P = \begin{pmatrix} P_{ББ} & P_{БИ} & P_{БР} \\ P_{ИБ} & P_{ИИ} & P_{ИР} \\ P_{РБ} & P_{РИ} & P_{РР} \end{pmatrix}$ , элементы главной диагонали которой характеризуют вероятность правильного распознавания соответственно большого, среднего и малого размера среди объектов трех классов.

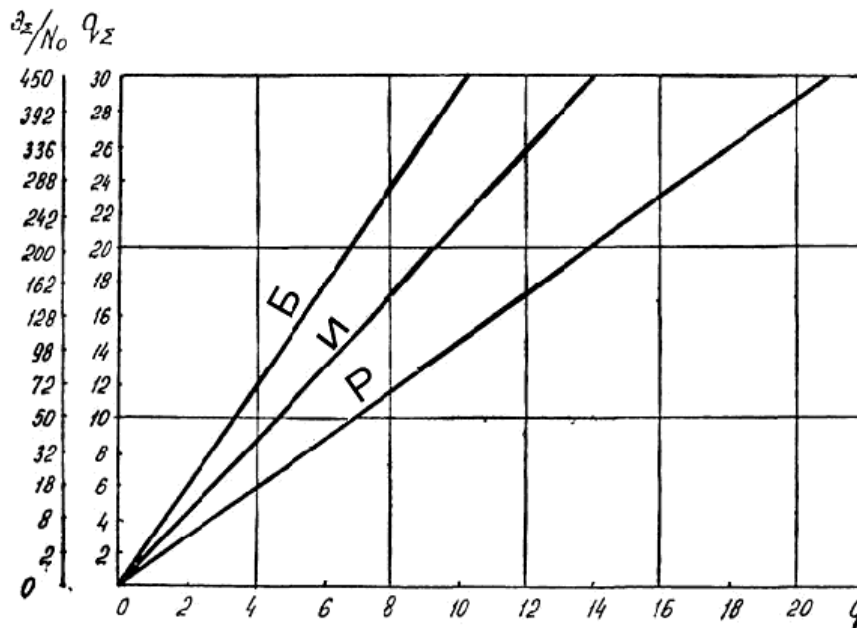


Рис. 2. Зависимость суммарного отношения сигнал/шум для трех классов объекта от параметра  $q$

Исследование алгоритмов распознавания было направлено на выяснение следующих вопросов: влияние на качество распознавания числа эталонов классов и отношения сигнал / шум; степень приближения квазиоптимальных алгоритмов к оптимальным.

Вначале рассматривался наиболее просто реализуемый корреляционный алгоритм распознавания. Число эталонов большого, среднего и малого объектов было соответственно выбрано 3, 5, 1. В качестве эталонных портретов большого объекта принимались усредненные портреты для значений ракурсов  $\Theta=100^\circ, 101^\circ$  и  $\varphi=5^\circ, 5,1^\circ, 5,2^\circ$  – первый эталон;  $\Theta=100^\circ, 101^\circ$  и  $\varphi=10,3^\circ, 10,4^\circ, 10,5^\circ$  – второй эталон;  $\Theta=100^\circ, 101^\circ$  и  $\varphi=15,1^\circ, 15,2^\circ, 15,3^\circ$  – третий эталон. Для объекта средних размеров в качестве эталонов принимались усредненные портреты для таких же значений ракурсов, как и у большого объекта, и, кроме того, четвертый эталон был получен усреднением с одинаковыми весами реализаций  $\Theta=100^\circ, 101^\circ$  и  $\varphi=7^\circ, 7,1^\circ, 7,2^\circ$ , а также пятый эталон –  $\Theta=100^\circ, 101^\circ$  и  $\varphi=8^\circ, 8,1^\circ, 8,2^\circ$ . За эталонный портрет малого объекта была принята реализация при  $\Theta=100^\circ$  и  $\varphi=10^\circ$ .

Моделирование распознавания при таких исходных данных при использовании корреляционного алгоритма и разных отношениях сигнал / шум дало следующие результаты:

$$q = 2,8 \qquad q = 6,4 \qquad q = 20,6$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,59 & 0,41 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0,07 & 0 & 0,93 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,02 & 0,98 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Из (12) видно, что для надежного распознавания аэродинамических объектов при использовании корреляционного алгоритма с ограниченным числом эталонов требуется достаточно большое отношение сигнал / шум для одного импульса портрета. Большие значения вероятностей  $P_{PB}$  – вероятностей принятия малого объекта за большой объект связано с тем, что за счет влияния шумов портреты малого объекта становятся похожи на эталоны большого объекта, что обеспечивает высокий коэффициент корреляции с ними. Более наглядное представление о зависимости вероятности правильного распознавания от отношения сигнал / шум дает рис. 3. Цифрами 1, 2, 3 обозначены кривые распознавания соответственно большого, среднего и малого объектов. В скобках указано число эталонов каждого класса.

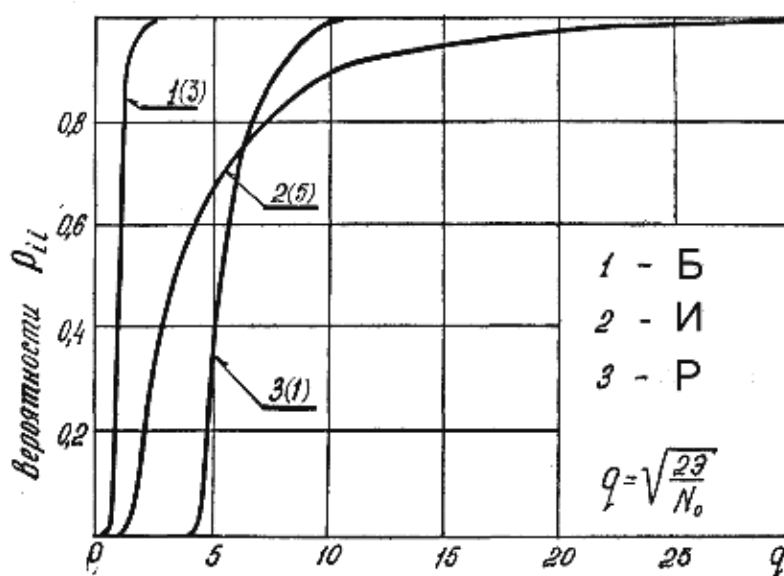


Рис. 3. Зависимость вероятностей правильного распознавания от отношения сигнал/шум

Согласно этому рисунку, для обеспечения вероятности правильного распознавания среднего объекта  $\geq 0,9$  отношение сигнал / шум по напряжению для одного импульса должно быть  $\geq 11$ , а для распознавания ракеты – ловушки с той же вероятностью среди объектов трех классов это отношение должно быть  $\geq 6$ .

Одним из путей повышения качества распознавания аэродинамических объектов, например, объекта средних размеров является увеличение числа эталонов. Увеличение числа эталонов объекта среднего размера в корреляционном алгоритме до 9 давало существенное повышение вероятности правильного распознавания (рис. 4). Рис. 5 иллюстрирует зависимость вероятности принятия объекта средних размеров за большой объект от отношения сигнал / шум. Цифры на рисунках в скобках указывают число эталонов объекта среднего размера. Наиболее существенное улучшение качества распознавания наблюдается при увеличении значений  $q$  от 2,5 до 9. Необходимо отметить, что дальнейшее увеличение числа эталонов до 11 обеспечивало не столь существенный выигрыш при распознавании. Зависимость вероятности правильного распознавания объекта средних размеров от числа эталонов  $n_i$  корреляционного алгоритма при фиксированном отношении сигнал / шум показана на рис. 6.



Повышению качества распознавания будет способствовать, во-первых, тщательный отбор эталонов каждого класса и, во-вторых, учет априорных вероятностей появления радиолокационных портретов  $\beta_{ik}$ . Причем учет априорных вероятностей появления портретов должен по возможности базироваться на данных обучающей выборки. Пренебрежение такой возможностью и принятие одинаковых вероятностей появления портретов  $\beta_{ik} = \frac{1}{n_i}$  иногда приводит к ухудшению распознавания. Так, например, корреляционный алгоритм распознавания, когда решение о принадлежности объекта к какому-либо классу принимается по максимуму коэффициента корреляции входной реализации с одним эталоном класса при  $q=4,5$  и числом эталонов большого, среднего и малого объектов равными соответственно 3, 8, 1 дает  $P_{ПП}=0,83$  при  $P_{ПБ}=0,17$ .

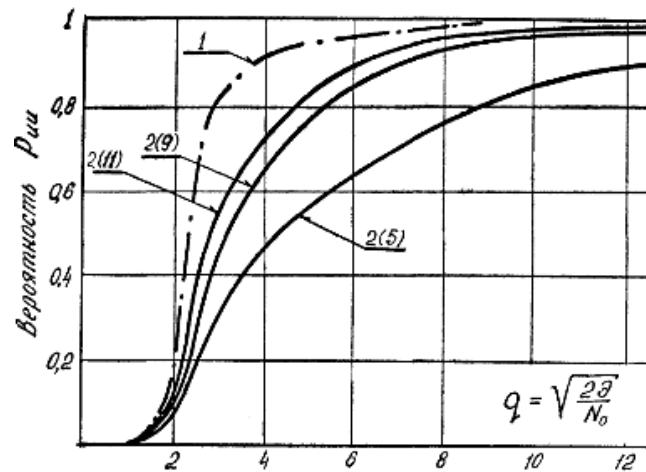


Рис. 4. Зависимости вероятности правильного распознавания объектов второго класса от числа эталонов

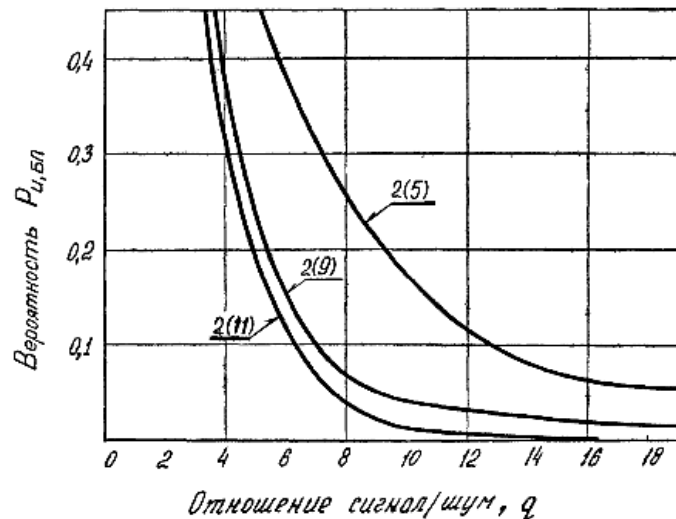


Рис. 5. Зависимость вероятности принятия объекта средних размеров за большой объект от отношения сигнал/шум

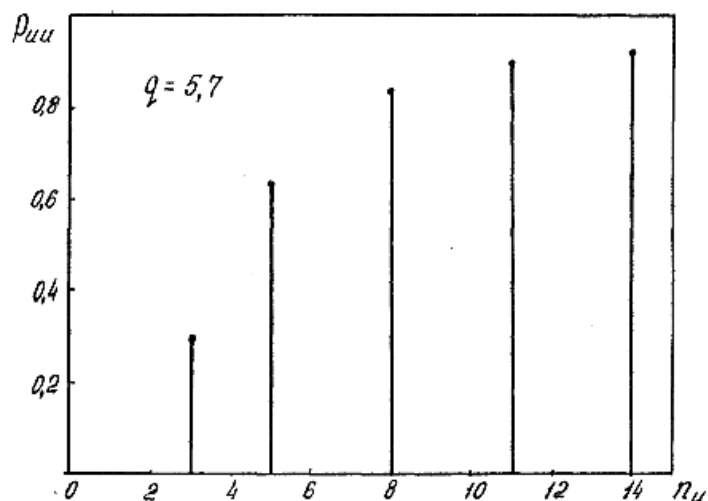


Рис. 6. Зависимость вероятности правильного распознавания объекта средних размеров от числа эталонов

Алгоритм, принятие решения в котором производится по усредненному коэффициенту корреляции с  $\beta_{ik} = \frac{1}{n_i}$  при этом же отношении сигнал / шум дает  $P_{ИИ}=0,75$  и  $P_{ИБ}=0,25$ .

Видно, что усредненный коэффициент корреляции с одинаковыми весами по всем эталонам класса может приводить к ухудшению качества распознавания.

Оценка работы алгоритма при тщательном отборе эталонов и учете априорных вероятностей появления РЛП проводилась на примере распознавания объекта средних размеров. РЛП диапазона наиболее вероятных ракурсов  $\Theta=100^{\circ}-101^{\circ}$   $\varphi=4^{\circ}-10,5^{\circ}$  при дискретности  $\Theta=1^{\circ}$  и по  $\varphi=0,1^{\circ}$  принимались за портреты обучающей выборки. Среди этой совокупности портретов были выбраны 10 наиболее характерных реализаций и приняты за эталоны. Каждый портрет совокупности был похож хотя бы на один эталон с коэффициентом корреляции  $\rho \geq 0,95$ . Была определена частота появления портретных реализаций. Вид характерных РЛП объекта средних размеров и частота их появления для указанного диапазона ракурсов приведена на рис. 7. Выявление наиболее характерных портретов и определение частоты их появления производилось с помощью компьютера.

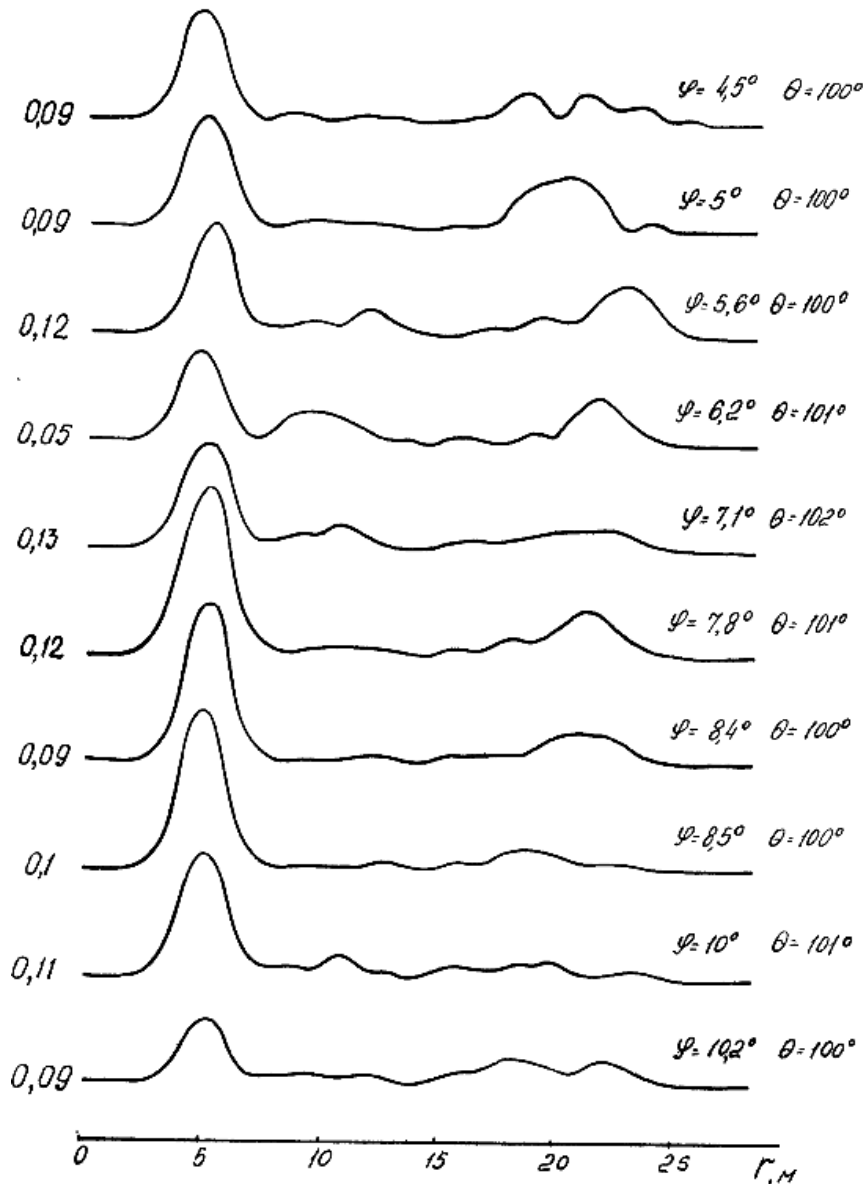


Рис. 7. Вид характерных радиолокационных портретов объектов средних размеров

Моделирование алгоритма распознавания с учетом выбранных эталонов и априорных значений появления портретов при использовании реализаций из диапазона изменения  $\varphi=4^\circ-17^\circ$  и  $\Theta=100^\circ-101^\circ$  дало значительно лучшие результаты по сравнению с описанными ранее. Штрихпунктирная кривая рис. 4 иллюстрирует зависимость вероятности правильного распознавания объекта средних размеров от отношения сигнал / шум для рассмотренного случая.

Моделирование распознавания говорит о том, что применение в РЛС, обеспечивающей отношение суммарной энергии сигнала к шуму больше 200–250, корреляционного алгоритма дает хорошие результаты. Лучшие результаты получаются в том случае, когда производится отбор эталонов и учитываются априорные вероятности их появления на основе информации о структуре РЛП распознаваемых объектов. Недостатком корреляционных алгоритмов является то, что они не позволяют регулировать величины вероятностей отношения ошибочных решений, поскольку, согласно решающему правилу, определение класса входной

реализации производится по максимуму коэффициента корреляции либо усредненного коэффициента корреляции.

Для выявления потенциальных возможностей повышения эффективности распознавания аэродинамических объектов нескольких классов используют рабочие характеристики распознавания (РХР). Для этого переходят от многоальтернативного к двухальтернативному распознаванию. Согласно принятой классификации это означает переход от полного разрешения объектов  $n$  классов к квазиполному разрешению – различению объектов  $i$ -го класса на фоне шумов и объектов  $(n-1)$ -го классов. Так, например, рабочей характеристикой распознавания объекта большого размера является зависимость вероятности принятия объекта большого размера за объект малого или среднего размера, т.е. ошибка 1-го рода, от вероятности принять объект среднего или малого размера за объект большого размера, т.е. ошибка 2-го рода. Для полного представления о процессе распознавания требуется построить  $n$  рабочих характеристик распознавания. Алгоритм распознавания для таких случаев в принципе не изменяется, а распознавание разбивается на  $n$  этапов различения, на каждом из которых используются эталоны только одного из классов. Правило решения при этом формулируется так: если  $\rho \geq \rho_0$ , то принимается решение  $V \notin S_i$ , если  $\rho < \rho_0$ , то принимается решение  $V \in S_i$ . Вероятности ошибочных решений будут равны

$$P_{i,n-1} = \int_{-\infty}^{\rho_0} p_i(\rho) d\rho, \quad (13)$$

$$P_{n-1,i} = \int_{\rho_0}^{\infty} p_{n-1}(\rho) d\rho. \quad (14)$$

Зависимости  $P_{i,n-1}$  ( $P_{n-1,i}$ ) строились путём использования обучающей выборки при фиксированном отношении сигнал / шум, без восстановления законов распределения статистики  $\rho$ . Обучающая выборка представляла собой РЛП объектов трёх классов области по  $\Theta=100-101^\circ$  и  $\varphi=4-10,5^\circ$ . Для каждой реализации обучающей выборки с помощью алгоритма распознавания вычислялось значение статистики  $\rho$ . Затем, изменяя величину порога  $\rho_0$ , для каждого его значения определялась частота ошибок первого и второго рода. При достаточном объёме обучающей выборки эти частоты стремятся к условным вероятностям ошибок первого и второго рода. Объём выборки выбирается не очень большим, поскольку рабочая характеристика распознавания является интегральной характеристикой различимости классов.

На рис. 8 представлена рабочая характеристика распознавания большого объекта среди объектов трёх классов при различных отношениях сигнал / шум. С помощью этих характеристик распознавания можно выяснить эффективность рассмотренных алгоритмов, а также определить качество решающих правил, получаемых по критерию Неймана-Пирсона, минимума среднего риска и идеального наблюдателя.

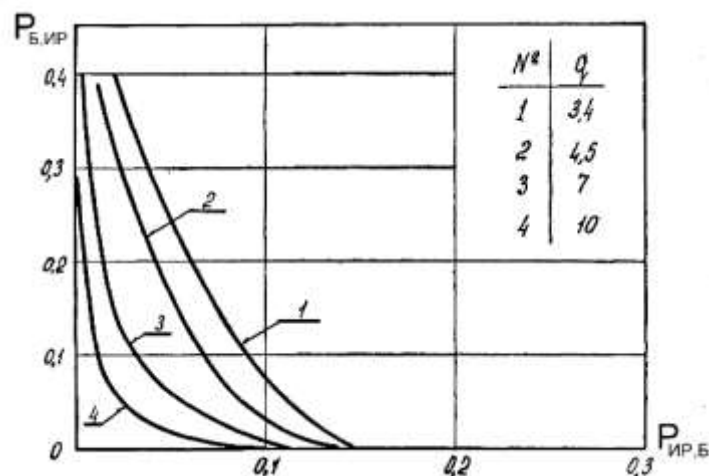


Рис. 8. Рабочая характеристика распознавания объекта большого размера

Рабочие точки рассмотренных корреляционных алгоритмов распознавания большого объекта на фоне объектов других классов при отношениях сигнал / шум  $q \geq 3$  располагаются на оси абсцисс. При этом обеспечивается практически безошибочное распознавание объекта большого класса. Однако вероятности ошибок 2-го рода – ложных тревог – могут достигать значительной величины. Регулировать величину вероятностей ошибок 2-го рода при решающем правиле корреляционного алгоритма не представляется возможным. В тех случаях, когда необходимо получить заданное значение вероятности ошибок 2-го рода при минимальных вероятностях ошибок 2-го рода, целесообразно использовать решающее правило согласно критерию Неймана-Пирсона. Применение этого правила в нашем случае для отношения сигнал / шум, равного 5,8, и вероятности ошибок 2-го рода 0,16 позволит распознавать объект большого размера с вероятностью 0,95 (рис. 8). Приведенные рабочие характеристики распознавания не противоречат тому физически явному факту, что качество распознавания улучшается с увеличением отношения сигнал / шум. Несимметричность рабочей характеристики распознавания говорит о том, что вероятности ошибок принятия объекта большого размера за малый объект и объект средних размеров особенно при большой спектральной плотности мощности помех несколько выше, чем вероятности принятия малого и среднего объекта за большой.

Рабочие характеристики распознавания объекта средних размеров для нескольких значений отношения сигнал / шум и разрешающей способности  $\delta_r = 2,25$  м приведены на рис. 9 и они были построены по описанной выше методике. Из рис. 9 видно, что вероятность принятия объекта средних размеров за большой или малый объект несколько ниже, чем вероятность принять большой или малый объект за объект среднего размера.

О возможностях распознавания малых объектов и о качестве имитации ими более опасных объектов можно судить по рабочим характеристикам (рис. 10).

Вероятность принять большой объект или объект средних размеров за малый объект в целом меньше, чем вероятность принять малый объект за объекты двух других рассматриваемых классов. Причём с учётом РХР (рис. 9), свидетельствующих о меньших вероятностях принятия объекта средних размеров за малый или большой объект, можно сделать вывод, что малый объект при малых отношениях сигнал / шум чаще будет приниматься за большой объект, чем за объект средних размеров. Поэтому большое число объектов малых размеров при малых отношениях сигнал / шум может способствовать затруднению распознавания и приводить к информационным перегрузкам каналов. Для распознавания объектов малых размеров с вероятностями  $\geq 0,9$  при вероятности ошибок 2-го рода  $\leq 0,1$ , отношение сигнал / шум должно быть  $q \geq 17$ , что свидетельствует отношению общей энергии РЛП к спек-

тральной плотности мощности  $\mathcal{E}_\Sigma/N = 24,7$  дБ. При отношениях сигнал / шум  $q > 22$  обеспечивается практически безошибочное распознавание объектов малых размеров среди объектов трёх классов.

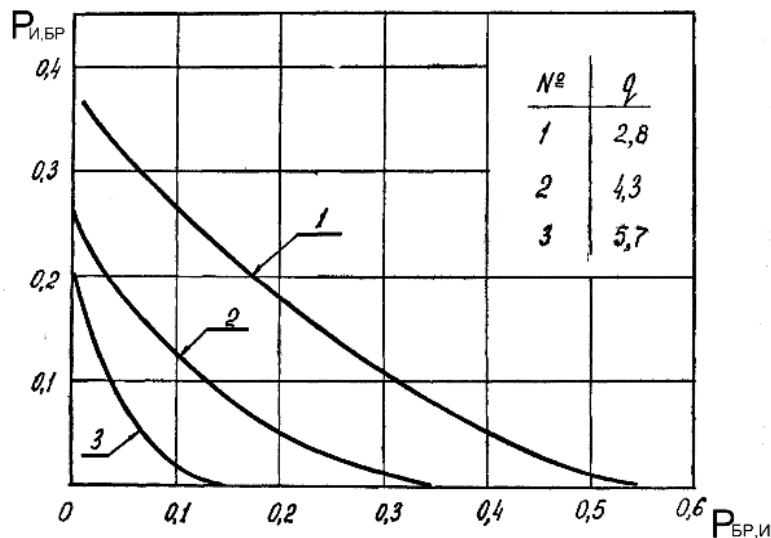


Рис. 9. Рабочие характеристики распознавания объектов средних размеров

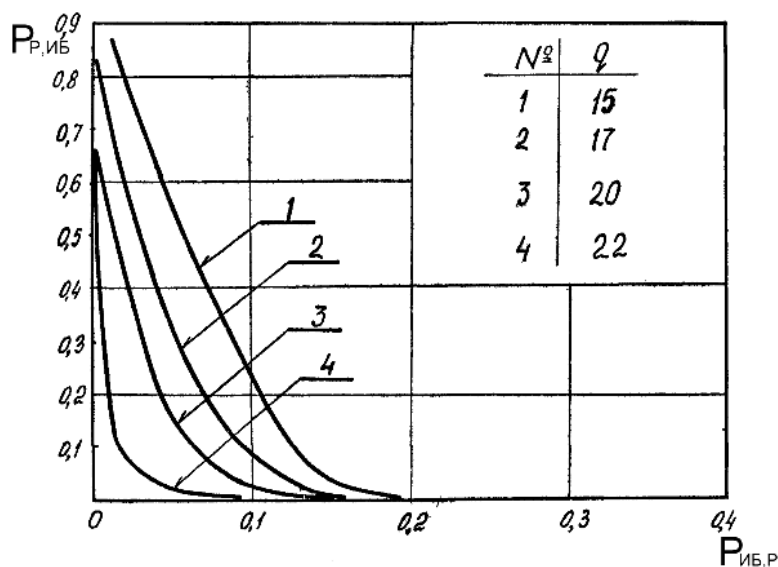


Рис. 10. Рабочие характеристики распознавания объекта малого размера

Для числовой оценки эффективности распознавания было выбрано минимальное значение суммарной вероятности ошибки

$$P_\Sigma = P(S_i) P_{i,n-1} + P(S_{n-1}) P_{n-1,i}, \quad (15)$$

где  $P(S_i)$  – априорная вероятность появления объекта  $i$ -го класса;  $P(S_{n-1})$  – априорная вероятность появления объектов остальных  $(n-1)$  классов.

Вероятности ошибок 1-го рода  $P_{i,n-1}$  и 2-го рода  $P_{n-1,i}$  в этом выражении выбирались равными длине отрезков, отсекаемых касательной к кривой рабочей характеристики различения, проведенной нормально к биссектрисе. Априорная вероятность  $P(S_i)$  принималась равной 0,33, а  $P(S_{n-1})=0,67$ , поскольку объекты каждого класса полагались равновероятными.

На рис. 11 приведены зависимости  $P_{\Sigma}(q)$  для объектов трех классов. Нижняя кривая показывает, что приемлемую эффективность распознавания объекта большого размера  $P_{\Sigma}=0,1 \div 0,2$  можно обеспечить при отношении сигнал / шум  $4 < q < 10$ . Для распознавания объекта средних размеров с той же эффективностью, необходимы большие отношения сигнал / шум  $6 < q < 13$ , и для распознавания объектов малых размеров отношение сигнал / шум должно быть  $q > 15$ .

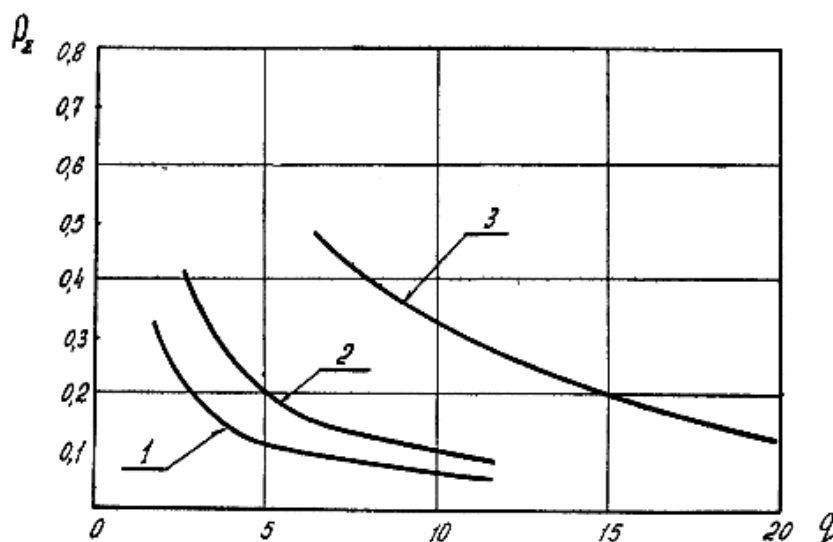


Рис. 11. Зависимость минимального значения суммарной вероятности ошибки от отношения сигнал / шум

Выше рассматривалось распознавание объектов в небольшой области диапазона наиболее вероятных ракурсов. Чтобы получить представление о качестве различения, например объекта большого размера, в большей области диапазона ракурсов было проведено моделирование распознавания по РЛП, при значениях  $\Theta=91^{\circ}-99^{\circ}$  и  $\varphi=1^{\circ}-15^{\circ}$ . Дискретность по  $\Theta$  и  $\varphi$  была выбрана  $1^{\circ}$ , а общее число входных реализаций при моделировании составляло 135. Число эталонов объектов большого, среднего и малого размеров было выбрано соответственно 10, 10 и 1. За эталоны большого объекта принимались наугад выбранные РЛП из указанной области, причем только четыре эталона в точности совпадали с реализациями, предъявляемыми для распознавания. Моделирование распознавания с использованием корреляционного алгоритма при отношениях сигнал / шум больше 2,5 давало практически безошибочные результаты определения объекта больших размеров. Несколько худшие результаты распознавания были получены, если решение принималось по усредненному коэффициенту корреляции входного портрета со всеми эталонами, причем веса эталонов объекта одного класса полагались одинаковыми. При отношении сигнал / шум  $q=4,7$  обеспечивалась вероятность правильного распознавания объекта большого размера  $P_{ББ}=0,91$  при  $P_{БР}=0,09$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тертышник В.В. Связь различных способов распознавания радиолокационных объектов с оптимальным способом / В.В. Тертышник, В.Н. Бурканов // Функциональные устройства низких и сверхвысоких частот: межвуз. науч.-техн. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 80-85.
2. Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов / Д.Д. Кловский. М.: Связь, 1973. 376 с.
3. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.

4. Васильев В.И. Распознающие системы: справочник / В.И. Васильев. Киев: Наукова думка, 1983. 424 с.

5. Тертышник В.В. Моделирование радиолокационных портретов аэродинамических объектов / В.В. Тертышник // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 15-летию кафедры радиотехники. Саратов: СГТУ, 2004. С. 51-58.

6. Тертышник В.В. Методика расчета радиолокационных портретов аэродинамических объектов / В.В. Тертышник, А.В. Зиновьев // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 15-летию кафедры радиотехники. Саратов: СГТУ, 2004. С. 38-51.

**Тертышник Валерий Васильевич –**

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

**Зиновьев Андрей Викторович –**

начальник военной кафедры  
Саратовского государственного технического университета



---

---

# ЭКОЛОГИЯ

---

---

УДК 535.37: 543.426

**О.А. Дячук, Т.И. Губина, Г.В. Мельников**

## **ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ**

*Для увеличения интенсивности твердофазной люминесценции и снижения предела обнаружения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) применялась модификация фильтровальной бумаги уксусной кислотой. Повысить селективность метода и избавиться от фонового сигнала удалось, применив явление переноса энергии от донора (акридинового красителя) к акцептору (ПАУ) на твердой матрице.*

**O.A. Djachuk, T.I. Gubina, G.V. Melnikov**

## **THE LUMINESCENT METHODS OF DETERMINATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN THE MONITORING OF ENVIRONMENT**

*The treatment of the filter paper by acetic acid has been used for the increasing of solid - phase luminescence intensity and reduction the limit of detection of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). To raise the selectivity of the method and to lower a background became possible during the application of the phenomenon of transfer of energy from the donor (acridine dye) to the acceptor (PAH) in the solid substrate.*

### **Введение**

Среди органических соединений, определяющих экологическое состояние окружающей среды, одно из первых мест занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Содержание этих веществ в объектах окружающей среды требует постоянного контроля, поскольку ПАУ обладают канцерогенной и мутагенной активностью. В связи с этим актуальным является разработка простых, экспрессных и доступных методов определения ПАУ в объектах окружающей среды.

К настоящему времени известен целый ряд физико-химических методов определения ПАУ. Наибольшее распространение получил метод определения ПАУ, основанный на при-

менении эффекта Шпольского [1, 2]. Этот метод применяется при анализе почв, растений, атмосферных осадков, при анализе горных пород и нефти, а также при анализе канцерогенных ароматических соединений в онкологии. Суть метода заключается в том, что после серии операций по пробоподготовке получают характерные линейчатые спектры флуоресценции ПАУ при температуре жидкого азота (77К) с использованием специальных оптических криостатов, с последующей идентификацией этих спектров. Поскольку спектры флуоресценции ПАУ перекрываются, для повышения селективности определения используют в качестве аналитического сигнала фосфоресценцию определяемых полициклических ароматических углеводородов. Широкому распространению данного метода препятствует сложность проведения анализа в условиях низких температур.

При переходе от низких температур к комнатной (20-27°C) квантовый выход люминесценции резко снижается в результате увеличения скорости безызлучательных процессов. Снизить интенсивность этих процессов удалось, применив в качестве среды для наблюдения люминесценции ПАУ при комнатной температуре водно-мицеллярные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) [3, 4]. Однако достичь значительного увеличения чувствительности аналитического определения, по сравнению с методом, основанным на эффекте Шпольского, не удалось. Этому препятствовала возможность осуществления значительного концентрирования ПАУ в водно-мицеллярных растворах ПАВ.

Другой подход, получивший развитие в 70-х годах и позволивший также отойти от использования низких температур, связан с использованием твердых матриц, в которые вводились ПАУ [5]. В качестве аналитического сигнала использовалась фосфоресценция при комнатной температуре (ФКТ) ПАУ, сорбированных на твердой подложке [6, 7]. Было показано, что метод определения ПАУ, основанный на регистрации фосфоресценции ПАУ при комнатной температуре, по сравнению с низкотемпературным методом обладает большей селективностью, но меньшей чувствительностью. Известно применение фосфоресценции при комнатной температуре на твердой подложке для определения лекарств, пестицидов, полициклических ароматических углеводородов.

Установлено, что присутствие ионов тяжелых атомов ( $Tl^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Pb^{4+}$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$  и др.) позволяет повысить интенсивность фосфоресценции ПАУ и снизить пределы их обнаружения [8,9]. Использование различных тяжелых атомов, способных в разной степени влиять на интенсивность и время жизни фосфоресценции люминофоров позволяет в ряде случаев проводить селективное определение ПАУ без предварительного выделения компонентов смеси [10]. Для увеличения интенсивности ФКТ фильтровальную бумагу модифицируют различными веществами [11]. Так, известно, что ледяная уксусная кислота вытесняет воду из целлюлозного волокна и нарушает его стеклообразную структуру [12]. Поэтому обработка фильтровальной бумаги уксусной кислотой может оказать существенное влияние на люминесцентные характеристики сорбированных ПАУ. Однако применение метода ФКТ ограничено тем, что не все ПАУ обладают достаточно интенсивной фосфоресценцией и регистрация слабых сигналов осложняется фоновым излучением пробы. Поэтому нами впервые были проведены исследования триплет-триплетного переноса энергии между донорами (акридиновыми красителями) и акцепторами (ПАУ) энергии на матрице целлюлозы.

### Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов был выбран представитель класса ПАУ пирен фирмы «Fluka». Он обладает значительной интенсивностью люминесценции и является наименее токсичным ПАУ. В работе использовались ацетат свинца и ледяная уксусная кислота марки ч.д.а. без дополнительной очистки. Исследуемой матрицей служила фильтровальная бумага марки «Красная лента». В качестве донора энергии электронного возбуждения использовался акридиновый краситель трипафлавин. Спектры люминесценции регистрировали на спек-

трофлуориметре, созданном на базе монохроматора ДФС-24, с разрешением 0,5 нм в спектральной области от 370 до 620 нм.

Замедленная флуоресценция регистрировалась на специально созданном импульсном флуориметре с временным разрешением 100 мкс. Время жизни долгоживущих триплетных состояний определялось по кинетике затухания замедленной флуоресценции после импульсного фотовозбуждения в полосе поглощения красителя.

### Результаты и их обсуждение

При стационарном фотооблучении образцов фильтровальной бумаги, модифицированной ацетатом свинца, с сорбированным пиреном, нами получены спектры быстрой флуоресценции и фосфоресценции пирена при комнатной температуре, которые представлены на рис. 1 (кривая 1).

Из рис. 1 видно, что при добавлении уксусной кислоты в этанольный раствор пирена наблюдается увеличение интенсивности флуоресценции ( $\lambda=395$  нм), подавление процесса образования эксимеров ( $\lambda=480$  нм) и возрастание интенсивности ФКТ ( $\lambda=590$  нм) пирена, сорбированного модифицированной нитратом таллия бумагой.

Анализ колебательной структуры спектра флуоресценции пирена позволил обнаружить возрастание отношения интенсивностей первого максимума к третьему ( $I_1/I_3$ ), (рис. 1) от  $I_1/I_3=1,42$  в отсутствие уксусной кислоты до  $I_1/I_3=1,53$  при увеличении концентрации уксусной кислоты до 2 М. Известно [14, 15], что по данному отношению, которое называется индексом полярности [14], можно судить о полярности среды в микроокружении молекул пирена. Полученные результаты можно объяснить тем, что молекулы пирена, растворенные в смеси этанола с кислотой, могут сорбироваться структурными участками бумаги более полярными (гидрофильными) по сравнению с менее полярными (гидрофобными) участками, где сорбируется пирен из этанольных растворов.

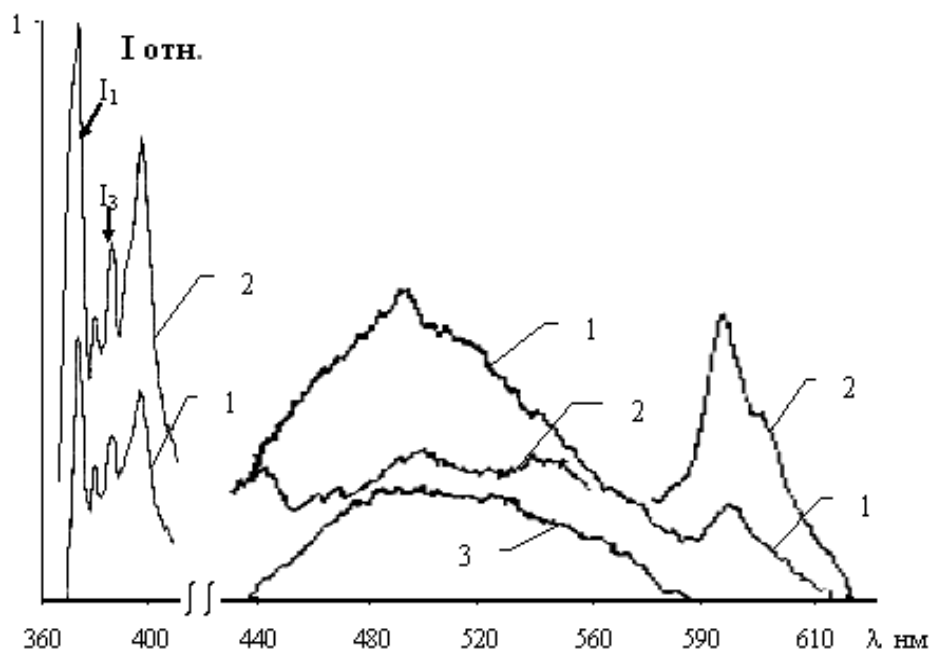


Рис. 1. Спектры люминесценции пирена, сорбированного фильтровальной бумагой из этанола (1) (концентрация пирена  $10^{-3}$  М, концентрация ацетата свинца 0,6 М) и из этанольно-уксусной смеси (2) (концентрация уксусной кислоты 2М); 3 - фоновое излучение бумаги, модифицированной ацетатом свинца ( $C=0,6$  М). Все концентрации даны для растворов, из которых осуществлялась сорбция реагентов фильтровальной бумагой

Возрастание интенсивности флуоресценции (рис. 1) пирена при переходе от этанольных растворов (рис. 1, кривая 1) к этанольно-уксусным (рис. 1, кривая 2) смесям, очевидно, связано с более эффективным взаимодействием пирена с матрицей фильтровальной бумаги. Это приводит к уменьшению вероятности как безызлучательной дезактивации энергии, так и тушения молекулярным остаточным кислородом вследствие потери подвижности сорбированных молекул пирена. Подтверждением предположения об изменении взаимодействия пирена с бумагой при добавлении кислоты является также возрастание интенсивности фосфоресценции пирена (рис. 1). Следовательно, комплексы пирена с тяжелыми атомами свинца, в присутствии уксусной кислоты, так же как и молекулы пирена, могут сорбироваться не только на гидрофобные, но и на гидрофильные структурные участки фильтровальной бумаги.

Присутствие уксусной кислоты в этанольном растворе приводит к снижению эксимерообразования пирена на бумаге  $\lambda=480$  нм (рис. 1, кривая 2), что может способствовать увеличению интенсивности люминесценции мономеров.

Из рис. 1, кривая 3 (видно, что бумага, модифицированная ацетатом свинца) имеет фоновое излучение, которое затрудняет регистрацию слабофосфоресцирующих ПАУ.

С целью увеличения селективности определения ПАУ на твердой матрице и исключения фонового сигнала нами использовано явление переноса энергии электронного возбуждения между донором энергии акридиновым красителем – трипафлавином и определяемым ПАУ – пиреном. Процесс переноса энергии можно представить следующей схемой (рис. 2).

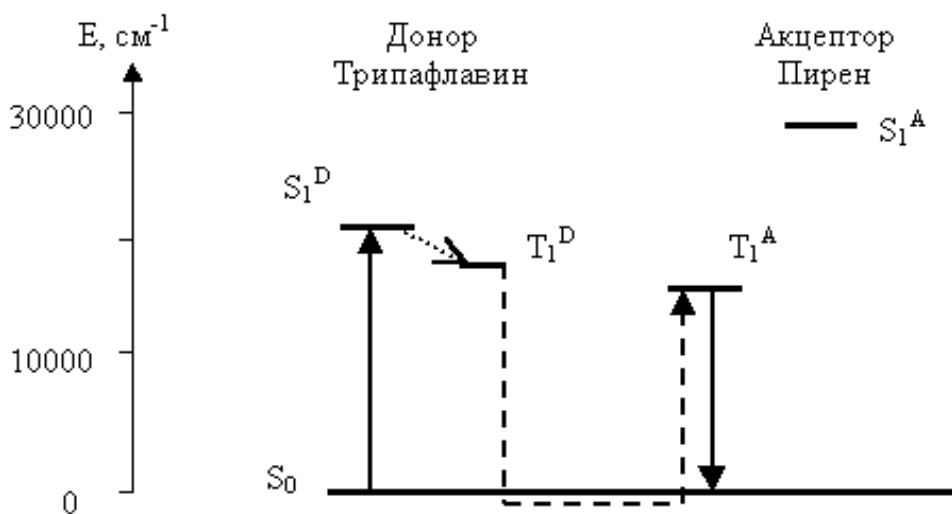


Рис. 2. Схема переноса энергии.  $S_0$ ,  $S_1^D$ ,  $S_1^A$ ,  $T_1^D$ ,  $T_1^A$  – основное, первое синглетное возбужденное и триплетное состояние донора и акцептора соответственно

Для осуществления процесса триплет-триплетного переноса энергии электронного фотовозбуждения нами была специально подобрана система: донор энергии – акридиновый краситель (трипафлавин) и акцептор – пирен. Основными требованиями для выбранной системы являются меньшее значение триплетных энергий акцептора и отсутствие поглощения акцептора при возбуждении в полосе поглощения донора [13]. В результате переноса энергии нами наблюдалось уменьшение интенсивности замедленной флуоресценции трипафлавина с увеличением концентрации пирена на фильтровальной бумаге. По полученным данным построена зависимость, представленная на рис. 3, и определена скорость Т-Т переноса энергии электронного возбуждения следующим образом.

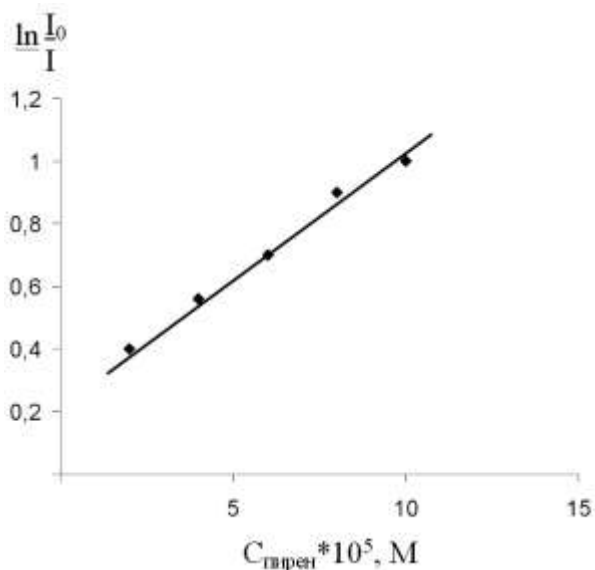


Рис. 3. Зависимость логарифма величины тушения замедленной флуоресценции донора энергии – триафлавина от концентрации акцептора в матрице фильтровальной бумаги

По данным, представленным на рис. 3, определен критический радиус тушения замедленной флуоресценции донора по формуле Перрена:

$$I_0/I = \exp(v \cdot N_A \cdot C) , \quad (1)$$

где  $v$  – объем сферы действия тушения для радиуса  $R_0$ ,  $\text{см}^3$ :

$$v = (4/3) \cdot \pi \cdot R_0^3 , \quad (2)$$

где  $I, I_0$  – интенсивность замедленной флуоресценции донора с добавками акцептора энергии и без акцептора, измеренная через 0,5 мс после импульсного фотовозбуждения образца;  $C_A$  – концентрация акцептора. Если  $C_A$  выражено в моль/л, то наклон зависимости  $\ln(I_0/I)$  от  $C_A$ , обозначенный  $\alpha$  (рис. 3), можно представить следующим соотношением:

$$\alpha = v \cdot 6,02 \cdot 10^{20} . \quad (3)$$

Вероятность  $T-T$  переноса энергии определялась по формуле:

$$k_{\text{пер}} = \tau_{oD}^{-1} \exp(2R_0/L) , \quad (4)$$

где  $\tau_{oD}^{-1}$  – константа скорости спонтанной дезактивации возбужденной молекулы донора (величина, обратная времени жизни триплетных состояний молекул донора) определялась по кинетике затухания замедленной флуоресценции донора – триафлавина;  $L$  – средний эффективный Борковский радиус определялся по отношению интенсивностей замедленной флуоресценции.

Значение константы скорости дезактивации энергии триплетных состояний молекул триафлавина, сорбированных на бумаге,  $\tau_{oD}^{-1}$  определено по кинетике затухания замедленной флуоресценции во времени после импульсного фотовозбуждения и составило  $125 \text{ с}^{-1}$ .

Флуоресцентными методами определены коэффициенты распределения ( $\lg D$ ), характеризующие эффективность сорбции пирена и триафлавина на фильтровальной бумаге (табл. 1). Полученные данные свидетельствуют о более эффективной сорбции на бумаге гидрофобного пирена, чем гидрофильного красителя – триафлавина.

Таблица 1

Параметры, определяющие триплет-триплетный перенос энергии электронного возбуждения в матрице фильтровальной бумаги. Значения энергии триплетных состояний доноров и акцепторов энергии электронного возбуждения ( $E_T$ ); скорости переноса энергии ( $k_{пер}$ ); коэффициент распределения ( $D$ )

Вещество	$E_T \cdot 10^{-3}, \text{ см}^{-1}$	$\lg D$	$k_{пер} \cdot 10^{-1}, \text{ с}^{-1}$
Трипафлавин (донор)	17,6	1,3	1,04
Пирен (акцептор)	16,9	4,9	

Из результатов, представленных в табл. 1, следует, что, несмотря на яркое проявление гидрофобных и гидрофильных свойств пирена и трипафлавина, в результате сорбции они оказываются на столь незначительных расстояниях ( $\sim 5 \text{ \AA}$ ), что возможен процесс переноса энергии электронного возбуждения с высокой скоростью.

Сравнительные характеристики определения пирена на твердой матрице (фильтровальной бумаге) получены нами различными люминесцентными методами: флуоресцентными, фосфоресцентными и методом переноса энергии электронного возбуждения. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики определения пирена на фильтровальной бумаге, полученные различными люминесцентными методами

Характеристики		Методы обнаружения		
		Флуоресценция	ФКТ	Т-Т перенос
$C_{\min}, \text{ М}$		$9 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Область линейности ГГ, М		$2 \cdot 10^{-7} - 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-8} - 8 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$
Фактор селективности	Антрацен	$< 0,6$	$3 \pm 1$	$14 \pm 1$

Из данных, представленных в таблице, следует, что наименьшая концентрация пирена определяется фосфоресцентными методами. Наибольший диапазон концентраций, где реализуется линейность градуировочного графика, обнаружен для флуоресцентного метода. Наибольшая селективность определения пирена возможна при использовании метода переноса энергии.

### Заключение

Таким образом, полученные результаты исследования триплет-триплетного переноса энергии электронного возбуждения свидетельствуют о том, что молекулы полициклических ароматических углеводородов, ионы акридиновых красителей и тяжелых атомов сорбируются на фильтровальной бумаге в микрообластях, обеспечивающих перекрывание электронных оболочек перечисленных реагентов. Фактор селективности определения пирена в смеси с ПАУ возрастает при использовании явления триплет-триплетного переноса энергии электронного возбуждения по сравнению с флуоресцентным способом определения ПАУ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ровинский Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф.Я. Ровинский, Т.А. Теплицкая, Т.А. Алексеева. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 295 с.

2. Kozin I.S. Shpol'skii spectroscopy as a tool in environmental analysis for amino- and nitro-substituted polycyclic aromatic hydrocarbons: A critical evaluation / I.S. Kozin, C. Gooijer, N.H. Velthorst // *Analytica Chimica Acta*. 1996. Vol. 333. № 3. P. 193-204.
3. Jin W.J. Study on five polycyclic aromatic hydrocarbons by chemical deoxygenation micelle-stabilized room temperature phosphorimetry / W.J. Jin, C.S. Liu // *Microchemical Journal*. 1993. Vol. 48. № 1. P. 94-103.
4. Room temperature phosphorescence in the liquid state as a tool in analytical chemistry / J. Kuijt, F. Ariese, A.Th. Brinkman, C. Gooijer // *Analytica Chimica Acta*. 2003. Vol. 488. № 2. P. 135-171.
5. Parker R.T. The development of room temperature phosphorescence into a new technique for chemical determinations. Part 1. Physical aspects of room temperature phosphorescence / R.T. Parker, R.S. Freedlander, R.B. Dunlap // *Analytica Chimica Acta*. 1980. Vol. 119. № 2. P. 189-205.
6. Vo-Dinh T. The room-temperature phosphorescence of several polyaromatic hydrocarbons / T. Vo-Dinh, E. Lue Yen, J.D. Winefordner // *Talanta*. 1977. Vol. 24. № 2. P. 146-148.
7. Campiglia A.D. Fiber optic sensor for laser-induced room-temperature phosphorescence detection of polycyclic aromatic compounds / A.D. Campiglia, T. Vo-Dinh // *Talanta*. 1996. Vol. 43. № 10. P. 1805-1814.
8. Vo-Dinh T. Heavy-Atom Effect on Room Temperature Phosphorimetry / T. Vo-Dinh, E. Lue Yen, J.D. Winefordner // *Analytical Chemistry*. 1976. Vol. 48. № 8. P. 1186-1189.
9. Room temperature phosphorescence analyses of polycyclic aromatic hydrocarbons using an imaging sensing system combined with a bifurcated optical fiber and a cooled charge coupled device detector / A. Ghauch, J. Rima, C. Fachinger et al. // *Talanta*. 2000. Vol. 51. № 4. P. 807-816.
10. Vo-Dinh T. Selective Heavy-Atom Perturbation for Analysis of Complex Mixtures by Room-Temperature Phosphorimetry / T. Vo-Dinh, J.R. Hooyman // *Analytical Chemistry*. 1979. Vol. 51. № 12. P. 1915-1921.
11. Niday G.J. Matrix Effect on the Lifetime of Room-Temperature Phosphorescence / G.J. Niday, P.G. Seybold // *Analytical Chemistry*. 1978. Vol. 50. № 11. P. 1577-1578.
12. Роговин З.А. Химия целлюлозы / З.А. Роговин. М.: Химия, 1972. 72 с.
13. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения / В.Л. Ермолаев, Е.Н. Бодунов, Е.Б. Свешникова, Т.А. Шахвердов. Л.: Наука, 1977. 311 с.

**Дячук Ольга Александровна** –

аспирант кафедры «Экология»

Саратовского государственного технического университета

**Губина Тамара Ивановна** –

доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология»

Саратовского государственного технического университета

**Мельников Геннадий Васильевич** –

доктор химических наук, профессор кафедры «Прикладная физика»

Саратовского государственного технического университета

## ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

---

УДК 369

**А.В. Бабошкин**

### СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНСИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ПЕНСИОННОЙ РЕФОРМЫ

*Анализ финансовой устойчивости пенсионной системы в России на долгосрочную перспективу становится актуальным в ходе проводимой в стране налоговой реформы, основой которой является снижение ЕСН с 35,6 до 26%, в т.ч. на обязательное пенсионное страхование 20% (при заработной плате до 280 тыс. руб. в год). В этих условиях особое значение приобретает выбор факторов финансовой устойчивости пенсионной системы на основе комплексного экономического анализа всех последствий реализации пенсионной реформы. Анализируются основные факторы финансовой устойчивости пенсионной реформы и обосновываются предложения по повышению государственных пенсионных обязательств.*

**A.V. Baboshkin**

### SOCIO ECONOMIC PROBLEMS OF PENSION PROVISION STABILITY WITHIN THE PENSION REFORM

*This scientific article is about very important issues of modern stage evolution in pension scheme – financial stability in Russian pension system. Analysis of financial stability in Russian pension system is standing important during process of taxation reform, basis of this reform, the reduction of single social tax is from 35,6 to 26%, including imperative pension insurance at the rate of 20% (in case of yearly income at the rate of 280 000). In these conditions, the main important role take place in selection of financial stability factors in pension system, which based on complex economic analysis of all consequences of realization in pension system. This article opens analysis in main factors of pension system stability and offers of increasing national pension liability. This article is especially for specialist in pension insurance system and students of institute of higher economic education.*



Анализ устойчивости пенсионной системы в России на долгосрочную перспективу становится особенно актуальным в ходе проводимой в стране налоговой реформы, основой которой является радикальное снижение единого социального налога с 35,6 до 26%, в том числе на обязательное пенсионное страхование 20% (при заработной плате до 280 тыс. руб. в год). В этих условиях особое значение приобретает обоснованный выбор факторов устойчивости пенсионной системы на основе комплексного экономического анализа всех последствий реализации пенсионной реформы. Снижение отчислений в пенсионную систему произведено за счет резкого уменьшения размера ЕСН, направляемого на финансирование базовой части трудовой пенсии.

Чтобы оценить последствия данных изменений для устойчивости пенсионной системы необходимо проанализировать факторы, от которых зависит ее развитие.

До настоящего времени в России низкий уровень пенсионного обеспечения был обусловлен неразвитостью страховых принципов. Так, в частности, средний размер трудовой пенсии в России едва достигает размера прожиточного минимума пенсионера. В чем заключаются причины низкого размера пенсий? В России соотношение численности застрахованных лиц (т.е. плательщиков пенсионных взносов), учитывающихся при расчете фонда оплаты труда, и численности населения, занятого в экономике, в 1990 году составляло 97,5%, в 1995 году – 90,8%, а в 2004 году – уже менее 75%. Это означает, что 25% населения, занятого в экономике России, перешли из категории наемных работников в категорию самозанятого населения, которое по действующему законодательству уплачивает обязательные взносы в «льготном» режиме.

В последующие годы ожидается рост доли самозанятого населения. В настоящее время платежи в пенсионную систему от самозанятого населения составляют менее 1,5% доходной части пенсионной системы. Необходимо повышать заинтересованность самозанятого населения в выплатах в пенсионную систему с одной стороны путем разъяснения зависимости будущей пенсии от размера пенсионных взносов, с другой стороны – путем предоставления возможности открывать персонализированные пенсионные счета и уплачивать взносы в пенсионную систему в соответствующих учреждениях по месту жительства. В случае уплаты самозанятым населением взносов в пенсионную систему на уровне наемных работников средний размер трудовой пенсии мог бы увеличиться более, чем на 20%.

В России 24% пенсионеров относятся к льготным категориям, в том числе пенсионеры в связи с особыми условиями труда, работой на Крайнем Севере, за выслугу лет. Расходы на выплату пенсий льготным категориям граждан до наступления общеустановленного пенсионного возраста составляют более 10% всех расходов на трудовые пенсии. Размер выплат пенсий льготным категориям после достижения общеустановленного пенсионного возраста также не носит страхового характера.

В случае устранения всех вышеуказанных причин низких пенсий даже без изменения пенсионного возраста средний размер трудовой пенсии в России мог бы увеличиться более, чем на 30%.

Повышение пенсионного возраста – неизбежная мера поддержания уровня пенсионного обеспечения при уменьшении соотношения численности плательщиков и пенсионеров. Основная причина ухудшения демографической ситуации – снижение рождаемости. За последние пятьдесят лет коэффициент суммарной рождаемости в России упал с 2,9 до 1,2 ребенка на одну женщину – одно из наиболее низких значений этого показателя в мире. Согласно демографическим прогнозам, при сохранении нынешних условий к 2020 году в России соотношение пенсионеров и плательщиков достигнет 86,3%, в Германии 65,5%, во Франции 68,4%; в Швеции 58,1%; в Великобритании 46,8%.

В большинстве стран – бывших республиках Советского Союза – пенсионный возраст либо уже подняли (например, в Армении, Казахстане, Литве, Латвии и Азербайджане), либо планируют сделать это в ближайшее время (например, в Грузии, Молдове, Украине, Киргизии, Таджикистане).

Многие страны переживают процесс уравнивания пенсионных возрастов, например, в Австрии, Великобритании, Бельгии, Греции пенсионный возраст женщин поднимается до уровня пенсионного возраста мужчин и составит 65 лет. В настоящее время в России остаточная продолжительность жизни 55-летних женщин составляет 23 года, а 60-летних мужчин – 13,5 лет, разница составляет почти 10 лет. Анализ соотношения между мужчинами и женщинами в пенсионных возрастах показывает, что на одного мужчину приходится около двух женщин (1,77), а в экономически активных возрастах соотношение между мужчинами и женщинами имеет прямо противоположный показатель, на одну женщину приходится чуть больше одного мужчины (1,12).

В настоящее время на одного пенсионера-мужчину приходится 2,37 мужчины-работника, на одного пенсионера-женщину приходится 1,2 женщины-работника. Эти цифры наглядно демонстрируют существенное различие участников пенсионной системы по гендерному признаку в рамках реализации пенсионных прав. Учитывая значительно более высокую продолжительность жизни российских женщин, для повышения эффективности пенсионной системы необходимо повысить пенсионный возраст для женщин до 60 лет. Повышение пенсионного возраста для женщин до 60 лет позволит повысить средний размер пенсии на 20%.

Повышение возраста выхода на пенсию для мужчин не будет социально справедливым, так как в настоящее время в России возраст дожития у мужчин составляет 60 лет. Возраст выхода на пенсию превышает возраст дожития только в странах бывшего Советского Союза, например в Казахстане, где пенсионный возраст мужчин 63 года превышает их возраст дожития на несколько лет.

В настоящее время в России стимулирование более позднего возраста выхода на пенсию после 60 лет возможно только путем установления дополнительных надбавок к страховой части пенсии, в случае оформления пенсии после 60 лет. Эти надбавки могут составить за период до 61 года 1% размера страховой части пенсии, до 62 лет – 2%, до 63 лет – 4,5%, до 64 лет – 7%, до 65 лет – 10% размера страховой части пенсии.

Повышение возраста получения только базовой части трудовой пенсии до 63 лет для мужчин и женщин позволит экономить до 22% расходов на базовые пенсии и, соответственно, на 22% поднять размер базовой части пенсии.

Дальнейшее директивное повышение пенсионного возраста свыше 60 лет можно будет рассматривать только по мере роста продолжительности жизни мужчин. В будущем повышение пенсионного возраста до 65 лет для мужчин и женщин позволит повысить средний размер пенсии более чем на 50%.

Дополнительным источником повышения минимального размера трудовой пенсии до прожиточного минимума пенсионера является установление минимального фиксированного платежа на страховую и накопительную части трудовой пенсии для всех категорий граждан, в том числе наемных работников, малого бизнеса и индивидуальных предпринимателей. Это позволит поднять минимальный размер трудовой пенсии до прожиточного минимума пенсионера и одновременно повысить средний размер трудовой пенсии.

Фиксированный размер платежа на страховую и накопительную части трудовой пенсии 4200 руб. с заработной платы до 30000 руб. в год соответствует 14% заработной платы 30000 руб. в год (2500 руб. в месяц). В случае установления фиксированного размера платежа на страховую и накопительную части трудовой пенсии 4200 руб. с заработной платы до 30000 руб. в год с 2005 года и ежегодной индексации размера этого фиксированного платежа по росту заработной платы средний размер пенсии работников с заработной платы до 30000 руб. в год увеличится на 84%. При этом средний размер трудовой пенсии увеличится на 17%.

При установлении минимального фиксированного размера платежа на страховую и накопительную части трудовой пенсии 7000 руб. с заработной платы до 30000 руб. в год

суммарная нагрузка единого социального налога и страховых взносов на страховую и накопительную части пенсии на фонд оплаты труда не превысит 35,6% с заработной платы 30000 руб. год. В случае установления минимального размера платежа на страховую и накопительную части трудовой пенсии 7000 руб. с заработной платы до 30000 руб. в год с 2006 года и ежегодной индексации размера фиксированного платежа по росту заработной платы средний размер пенсии работников с заработной платы до 30000 руб. в год увеличится более, чем в 3 раза. При этом средний размер трудовой пенсии увеличится более, чем на 50%.

Введение накопительной составляющей пенсионной системы – наиболее радикальный шаг пенсионной реформы. Вопрос необходимости, своевременности и формы введения накопительной составляющей пенсионной системы до сих пор остается открытым при обсуждении программы развития пенсионной системы в России. Особенно актуальным этот вопрос стал в период определения возможностей снижения единого социального налога, так как отчисления в накопительную составляющую отвлекают значительную часть доходов пенсионной системы. С одной стороны, в текущий и в среднесрочный периоды прогнозируется высокий реальный рост заработной платы, превышающий инвестиционный доход. В период превышения реального роста заработной платы над инвестиционным доходом при сохранении соотношения численности плательщиков и пенсионеров индексация накопительной части трудовой пенсии окажется ниже индексации страховой части трудовой пенсии.

С другой стороны, текущий период – наиболее благоприятный для введения накопительной составляющей с точки зрения демографической ситуации – благоприятного соотношения численности плательщиков и пенсионеров для возможности отвлечения средств на накопительную составляющую. Согласно прогнозу Минэкономразвития России, с 2015 года средний инвестиционный доход превысит реальный рост заработной платы, и с этого момента эффективность накопительной составляющей превысит эффективность страховой составляющей при любом возрасте выхода на пенсию.

При сохранении сегодняшнего возраста выхода на пенсию для женщин 55 лет и для мужчин 60 лет численность пенсионеров будет неуклонно повышаться, а численность плательщиков будет снижаться, и превышение эффективности накопительной составляющей над страховой составляющей пенсионной системы будет достигнуто значительно раньше – уже с 2010 года.

**Бабошкин Анатолий Васильевич –**

кандидат экономических наук, депутат Государственной Думы Федерального собрания РФ

УДК 338.43:63

**О.Б. Бигдай**

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГОСУДАРСТВА С СУБЪЕКТАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА**

*Рассматриваются особенности взаимодействия государства с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства, обусловленные его экономической спецификой.*

**О.В. Bigdai**

## **THE STATE AND THE AGRICULTURAL ENTERPRENEURSHIPS INTERRELATIONSHIPS**

*This article describes the peculiarities of interrelationships between the state infrastructures and agriculture entrepreneurs within certain economic realities.*

В условиях рынка взаимодействие государства с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства имеет специфические особенности и проявляется в конкретных формах и видах. Оно базируется на партнерских отношениях юридических и физических лиц, складывающихся по поводу производства аграрного сырья, его переработки и доставки готовой продукции к потребителям с наименьшими для сельхозпроизводителей затратами.

Вместе с тем, отдельные исследователи не считают воспроизводственный процесс сферой деятельности государства и противопоставляют механизм государственного регулирования в аграрном секторе рыночному саморегулированию [1].

Использование категорий «государственного воздействия и регулирования», наряду с понятием «государственного и хозяйственного партнерства», обуславливает необходимость выделения их особенностей и поиска критериев межкатегориальной дифференциации. В этом смысле формирование соответствующего понятийного аппарата в рамках научных исследований ученых-экономистов ставит задачу идентификации используемых дефиниций в целях их применения в хозяйственной практике.

По нашему мнению, категориальный анализ целесообразно проводить в разрезе понятий «воздействие» и «взаимодействие», поскольку становление и развитие сельскохозяйственного предпринимательства невозможно рассматривать вне зависимости от прямых и обратных связей государства с сельхозпроизводителями.

На основании этого, следует отметить наше несогласие с позицией исследователей, относящих предпринимательство в аграрной сфере к саморегулируемому типу хозяйственной деятельности [2]. Если считать эту точку зрения общепринятой, то оказывается, что при увеличении объемов производства продуктов сельского хозяйства, они реализуются по мере роста потребительского спроса. Тем не менее, на практике во избежание перепроизводства продукции аграрного происхождения и вследствие ограничения платежеспособных возможностей покупателей, субъекты хозяйствования формируют предложение в рамках проведения государственных закупочных и товарных интервенций.

При этом государство становится субъектом сельскохозяйственного предпринимательства и занимает соответствующее место в его структуре, чем способствует повышению эффективности функционирования хозяйств различных форм собственности. Их экономическая эффективность определяется уровнем выхода продукции в сопоставлении с денежными затратами на ее производство и характеризуется минимизацией предпринимательских издержек, способствующей достижению равновесия между предложением продовольственных товаров и существующим на них спросом.

Следует также учитывать, что взаимодействие государства с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства отличается особенностями, обусловленными его экономической спецификой. К ним относятся:

– повышенный риск, отражающий неустойчивость рыночной конъюнктуры, обусловленной, с одной стороны, природными факторами, а с другой – дискретным поступлением продукции на рынок аграрного сырья и продовольствия;

– для взаимодействия государства с хозяйствами являются типичными затраты, которые выступают следствием меньшей фондовооруженности аграрного сектора, по сравнению с другими, смежными с ним отраслями.

Кроме того, рыночный спрос формирует ассортимент продовольственных товаров посредством установления отношений хозяйств с производителями сельскохозяйственных машин, поставщиками удобрений, топлива, энергетических и других ресурсов. Их отношения корректируются государством, которое, в свою очередь, уравнивает спрос и предложение продукции аграрной сферы. В данном процессе государство выступает партнером сельскохозяйственных предприятий, поскольку располагает определенной долей собственности на средства производства и принимает непосредственное участие в воспроизводстве продуктов аграрного происхождения.

В этой связи, производственную структуру сельскохозяйственного предпринимательства формируют крестьянские (фермерские) хозяйства, сельскохозяйственные организации и государство. Взаимодополнение указанных субъектов базируется на необходимости удовлетворения возрастающего потребительского спроса и обуславливается следующими причинами:

- недостаточной фондооснащенностью сельскохозяйственного производства, требующего инвестиций;
- ограниченностью у предпринимателей в аграрном секторе собственных денежных ресурсов для ведения расширенного воспроизводства;
- возможностью оптимизации объемов предложения продовольственных товаров на основе проведения государственных закупочных и товарных интервенций.

Приведенные причины необходимости государственного и хозяйственного партнерства являются характерными и для стран с экономикой рыночного типа. За счет него обеспечивается сбалансированность между воспроизводством материально-вещественных факторов производства. Вследствие этого возникает потребность в адаптации государства к условиям рыночного хозяйствования, требующего использования вещественных факторов в объеме, качестве и соотношении, которые диктуются задачей максимизации предпринимательских доходов в аграрном секторе.

Имеющийся в этом плане зарубежный опыт указывает на две основные формы достижения государственного и хозяйственного партнерства. Так, в ряде стран Западной Европы, Канаде и США практикуется использование организационно-управленческого экономико-институционального видов взаимодействия государства с мелкими, средними и крупными фермами. Эффективность их межсубъектных отношений обуславливается разработкой и выполнением правительственных программ финансовой, информационной или научно-технической поддержки предпринимательской деятельности в сельском хозяйстве.

В соответствии с названными программами, формируется политика государственного участия в воспроизводстве продовольственных товаров. С точки зрения организационно-управленческой деятельности, государство создает структуры, осуществляющие закупочные мероприятия. С позиции же его экономико-институционального взаимодействия с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства, оно реализует меры, направленные на ограничение возможностей крупного капитала в аграрном секторе и минимизацию монопольного диктата промышленных и торговых отраслей. Обобщенно эти меры можно подразделить на пять следующих составляющих:

Первая составляющая призвана интенсифицировать воспроизводственный процесс в сельском хозяйстве посредством стабильного обеспечения перерабатывающих предприятий аграрным сырьем. В приведенном направлении государство активно поддерживает снабженческо-сбытовую кооперацию и привлекает субъектов предпринимательства в систему государственных закупок вплоть до резервирования производства отдельных продовольственных товаров.

Вторая составляющая мер направлена на обеспечение доступа начинающих предпринимателей к финансовым источникам. Поэтому к экономико-институциональным мерам гос-

ударства в данном аспекте относятся: бюджетное финансирование отдельных мероприятий и программ развития мелкотоварного производства, стимулирование коммерческих банков на предоставление кредитов мелкому и среднему бизнесу, создание специальных фондов по страхованию деятельности индивидуальных предпринимателей, функционирующих в структурах ассоциаций.

Третий блок опосредует повышение технической оснащенности хозяйств различной специализации, производственно-сбытовых кооперативов и вертикально интегрированных объединений.

Четвертая составляющая имеет целью решение проблем регионального развития за счет создания так называемых, «агропромышленных зон» в периферийных территориях, где формируются более привлекательные, чем в целом по стране, условия для организации предпринимательской деятельности в базовых отраслях сельского хозяйства.

И, наконец, пятый блок формируют меры экономико-правового порядка, которые связаны с антимонопольным регулированием и реформированием отношений собственности на средства производства.

На наш взгляд, для эффективной реализации вышеобозначенных проблем государству не следует ориентироваться на тотальное разгосударствление аграрного сектора. Создавая равные стартовые начала различным производственно-коммерческим формированиям, оно должно активнее использовать их потенциальные возможности в конкурентной борьбе, но не отказываться от доли государственной собственности в производственной структуре сельскохозяйственного предпринимательства.

В этой связи, рыночная трансформация ставит вопрос о параметрах разгосударствления, что, на первый взгляд, может показаться уже не актуальным. Между тем, реформирование отношений собственности в структуре сельскохозяйственного предпринимательства в РФ в настоящее время формирует потребность в его качественном завершении. Экономическая реформа приватизации призвана ограничить монополию государства на распределение средств производства и создаваемых материальных благ. В данном смысле актуален вопрос не о ликвидации государственной собственности как таковой, а об устранении факторов ее монополизированного воздействия на другие, соседствующие с ней формы хозяйствования на земле.

При изменении характера выполнения экономических функций государству невыгодно отказываться от своей доли собственности и праве пользования средствами производства. Ему следует стимулировать приватизационный процесс в плане создания конкурентоспособной среды, способствующей увеличению объемов производства сельскохозяйственного сырья и повышению качества готовой продукции.

В современных условиях процесс разгосударствления экономики России приобретает системно-функциональный характер, который обеспечивается Конституцией РФ, Федеральными законами «О земельной реформе», «О крестьянском (фермерском) хозяйстве» и другими правовыми источниками. В результате их выполнения, как показывают данные табл. 1, темп роста государственной формы собственности в социально-экономической структуре сельскохозяйственного предпринимательства в РФ за период с 2000 по 2003 годы составил 8,5%.

Вместе с тем, переход производственно-хозяйственных структур из статуса государственных в положение частных не всегда обеспечивает ведения расширенного воспроизводства и не является основным экономико-институциональным условием развития предпринимательства в аграрном секторе. Опыт его коммерциализации показывает, что уменьшение количества хозяйств государственной формы собственности не способствует созданию оптимальной среды для функционирования субъектов сельскохозяйственного предпринимательства в отраслях растениеводства, животноводства и птицеводства.

В то же время, взаимодополнение различных форм собственности, в том числе и государственной, позволяет субъектам сельскохозяйственного предпринимательства адаптиро-

ваться к изменениям рыночной ситуации, выбирая тот вид деятельности, который отвечает повышенным производственным и индивидуальным потребностям.

Таблица 1

Социально-экономическая структура сельскохозяйственного предпринимательства в РФ [3]

Наименование форм хозяйствования	Годы				Темп роста, 2003 к 2000, %
	2000	2001	2002	2003	
Организации по производству сельскохозяйственной продукции – всего	27645	24849	24201	22135	-19,9
в том числе:					
государственные предприятия	1899	2140	2252	2060	8,5
открытые акционерные общества	899	1085	1188	1304	45,1
закрытые акционерные общества	4140	3404	2859	2526	-39,0
представительства и филиалы	124	132	143	125	0,8
товарищества на вере	199	158	142	131	-34,2
общества с ограниченной ответственностью	1344	1386	2231	2844	111,6
производственные кооперативы	11953	12286	12336	10960	-8,3
ассоциации крестьянских (фермерских) хозяйств	335	203	153	124	-63,0
учреждения	103	86	85	88	-14,6
прочие	6649	3969	2812	1973	-70,3

Межотраслевая конкуренция, опирающаяся на принципы экономического равновесия и дифференциации предпринимательских доходов, вызывает повышение конкурентоспособности мелких и средних хозяйств за счет использования государственных экономико-институциональных мер. В связи с этим, представляется обоснованным создавать равные стартовые начала, а не фактическое равенство доходов предпринимателей при проведении координационно-дополняющей экономической политики государства.

Осуществление такой политики предполагает уменьшение формата прямого вмешательства государства в воспроизводственный процесс, что сопровождается сменой приоритетов государственного координирования, переходом от тактического к стратегическому, то есть долгосрочному виду экономико-институционального взаимодействия государства с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства. Оно стоит в стимулировании межотраслевой конкуренции и обеспечении ограничения монопольного влияния промышленно-торгового капитала на сельское хозяйство.

В силу этого, основным средством обеспечения конкурентоспособности хозяйств и одним из значимых инструментов долгосрочной экономической стратегии государства в аграрной сфере выступает программирование развития межотраслевых отношений в предпринимательской среде. Опыт программирования в системе агробизнеса стран Западной Европы, Канады и США указывает на то, что элементы пятилетнего планирования, от которых наше государство отказалось в середине 80-х годов прошлого столетия, находят применение в экономике рыночного типа. Например, сельскохозяйственный закон США, принимаемый конгрессом сроком на пять лет, определяет параметры хозяйствования аграрных формирований, определяет направления экономической политики государства в аспекте привлечения бюджетных и внебюджетных ресурсов.

Это подтверждается целевым финансированием хозяйств, производственных зон и субъектов сельскохозяйственного предпринимательства в зависимости от их производствен-

ных результатов. При этом государственные инвестиции выполняют стратегически важную координационную функцию, так как они обеспечивают стабилизацию воспроизводственного процесса, с точки зрения длительных перспектив и на основе общих социальных выгод [4].

Тем не менее, затраты государства, связанные с реализацией инвестиционных проектов, целесообразно комбинировать с расходами его партнеров на основе концентрации денежных средств юридических и физических лиц. В целях продажи ценных бумаг в больших объемах, что было типичным для фондового рынка Российской Федерации в середине 90-х годов, требуется снижение их ценового уровня. В связи с этим, ценные бумаги крупных хозяйственных структур могут продаваться государству по ценам, несколько меньшим рыночной стоимости последних. Падение курса акций оказывает негативное воздействие на прежних собственников средств производства, в то время как новые держатели ценных бумаг оказываются в экономически выгодном для них положении. В результате снижается удельный вес акционеров, которыми выступают нерентабельные хозяйства, что требует распределения акций, главным образом, среди эффективно функционирующих субъектов предпринимательства. Данный подход обуславливается аналитической оценкой материалов табл. 2, указывающей на то, что темп роста численности низкорентабельных частных предпринимательских структур в аграрной сфере РФ за период с 2000 по 2003 годы составил – 21,7%.

Таблица 2

Распределение субъектов сельскохозяйственного предпринимательства по формам собственности [3]

Годы	Все организации	Формы собственности							
		государственная	в том числе		муниципальная	частная	смешанная российская	совместная российская и иностранная	прочие
			федеральная	субъектов Российской Федерации					
2000	27645	2366	1113	1253	481	24243	520	25	10
2001	24849	2216	1062	1154	591	21481	523	35	3
2002	24201	2090	1026	1064	708	20787	572	39	5
2003	22135	1851	925	926	718	18983	532	42	9
Темп роста, 2003 к 2000, %	-19,9	-21,8	-16,9	-26,1	49,3	-21,7	2,3	68,0	-10,0

Учитывая, что изначальной целью институциональных инвесторов является установление стабильных аграрно-торговых связей по вертикали, а интерес индивидуальных предпринимателей заключается в гарантированном получении доходов, формирование акционерных обществ и смешанных организаций правомерно осуществлять через партнерское взаимодействие государства с крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и сельскохозяйственными организациями. В данном отношении юридические и физические лица, хозяйствующие на земле, могут участвовать в акционировании государственных предприятий, но в таком объеме, в каком они способны произвести вложения в уставный капитал за счет собственных денежных источников.

Вместе с тем, разгосударствление не должно ставить своей целью статистическое увеличение числа собственников, земли, труда и капитала, хотя, на первый взгляд, может показаться, что указанное обстоятельство обеспечивает сельскохозяйственному предпринимательству стабильность и динамизм. В действительности, это достигается на основе конку-



ренции среди мелких, средних и крупных хозяйств и их оптимальном сочетании с предприятиями государственной формы собственности.

Приватизацию неправомерно изолировать от конкурентоспособности и эффективности сельскохозяйственного производства и превращать ее из средства поддержки предпринимательской инициативы в тактическую цель краткосрочного порядка. И не случайно по этому поводу в Федеральном законе «О разграничении государственной собственности на землю» выделяется необходимость обеспечения реализации мер по выпуску дополнительных акций приватизированных перерабатывающих и обслуживающих предприятий в целях передачи контрольного пакета акций этих предприятий сельхозпроизводителям [5].

Следовательно, подходы к проблеме взаимодействия государства с субъектами сельскохозяйственного предпринимательства следует строить как на реформировании отношений собственности, так и на применении других экономико-институциональных мер. Они должны учитывать недостаточную развитость рыночной инфраструктуры и неподготовленность государства к контролю за финансовой, платежной и налоговой дисциплинами, а также отсутствие надлежащей законодательной базы. Наличие данных предпосылок, характеризующих транзитивную экономику РФ, выступает индикатором для установления формального и неформального государственного и хозяйственного партнерства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Злобин Б.К. Экономика и организация рыночного хозяйства / Б.К. Злобин. М.: Экономика, 2000. 449 с.
2. Добрынин А.И. Общая экономическая теория / А.И. Добрынин, Г.П. Журавлева. СПб.: Питер, 2002. 282 с.
3. Основные показатели сельского хозяйства России в 2003 году. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2004. 32 с.
4. Кейнс Дж.М. Общая теория занятости, процента и денег / Дж.М. Кейнс. М.: Прогресс, 1978. 494 с.
6. Федеральный закон «О разгосударствлении государственной собственности на землю» // Экономика сельского хозяйства России. 2001. № 9. С. 17-19.

**Бигдай Ольга Борисовна** –

кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Финансы и кредит»,  
Северо-Кавказского гуманитарно-технического института

УДК 316.334

**И.Л. Кром**

#### **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ, СВЯЗАННОГО СО ЗДОРОВЬЕМ, В ПРАКТИКЕ ИНСТИТУТА МЕДИКО-СОЦИАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

*Разработанная в соответствии с Международной классификацией (ICIDH) концепция инвалидности в России не предполагает оценку качества жизни, связанного со здоровьем. Исследования данного показателя проведе-*

*ны у 1,5 тыс. инвалидов вследствие сердечно-сосудистых заболеваний. Результаты свидетельствуют о том, что качество жизни, связанное со здоровьем, следует рассматривать как самостоятельный и объективный интегративный показатель состояния инвалидов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями.*

**I.L. Krom**

**MODERN APPROACHES OF LIFE QUALITY EVALUATION  
CONNECTED WITH HEALTH IN THE PRACTICE  
OF MEDICAL-SOCIAL EXAMINATION INSTITUTE**

*The conception on invalidism, worked-out in Russia in correspondence with International Classification (ICIDH) does not presuppose the evaluation of quality of life, connected with health. 1500 invalids with cardiovascular system diseases were examined to study the given index. The received results show that the quality of life connected with health should be studied as a self-dependent and objective integrative index of state of invalids with cardiovascular system diseases.*

Вторая половина XX в. и начало XXI в., наряду с несомненными успехами в профилактике и лечении заболеваний, отмечены ростом инвалидности населения. Изучение структуры и причин инвалидизации больных вследствие хронических заболеваний в наши дни перестаёт быть предметом только медицинских исследований и становится одной из важных социальных проблем многих стран мира.

Принятие в 1995 г. Закона «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» и разработка новых методологических подходов [1, 2, 3], позволили России использовать международные критерии при определении инвалидности. Инвалидность определяется как социальная недостаточность вследствие нарушений здоровья со стойким расстройством функций организма, приводящая к ограничению жизнедеятельности и необходимости социальной защиты. В отличие от существовавшей многие годы в стране идентификации утраты трудоспособности с инвалидизацией, концепция инвалидности, в соответствии с Международной классификацией (International Classification of Impairment, Disability and Handicaps – ICIDH), принятой Всемирной организацией здравоохранения в 1980 г. [4], определяет критерии нарушения здоровья, степени ограничения жизнедеятельности и социальные последствия болезни. Согласно данной классификации, под «повреждением» (impairment) понимается утрата или аномалия анатомических, физиологических, психологических структур или функций. Нарушение жизнедеятельности (disability), по классификации Всемирной организации здравоохранения, – возникающее в результате повреждения ограничение или утрата возможности осуществлять повседневную деятельность, считающуюся нормальной для человеческого общества. Социальные ограничения (handicaps) предполагают возникающие в результате повреждения и нарушения жизнедеятельности ограничения и препятствия для выполнения социальной роли, считающейся нормальной для данного индивида в соответствии с его биосоциальными характеристиками. Инвалидность рассматривается как сложное социальное явление, зависящее от многих факторов, необходимых для успешной социализации личности. Ограничения жизнедеятельности возникают в том случае, если больной лишён возможностей, обычно имеющихся в обществе и необходимых в повседневной жизни, включая образование, занятость, личную и финансовую безопасность, свободный доступ ко всем видам общественного обслуживания, свободу передвижения и т.д. [5]. Однако, существующая практика установления инвалидности не учитывает ситуацию болезни

(М.М. Орлова), объясняющую болезнь и её социальные последствия, отражающую «изменившиеся условия психологической деятельности больного, психологическую «цену» болезни, степень утраты прежних возможностей личности». Дефиниция ситуации болезни имеет универсальное значение в рамках соматической патологии. Объективные критерии тяжести заболевания (а именно они, прежде всего, учитываются при проведении медико-социальной экспертизы), «создавая ту или иную ситуации, при всём их значении не всегда определяют характер изменения личности больного» [6] и эффективность социализации.

Определяя взаимосвязь болезни и её последствий, А. Jette указывал на возникновение социальных ограничений и снижение качества жизни в результате нарушения жизнедеятельности [7]. Между тем, разработанная в России современная концепция инвалидности не предусматривает оценку качества жизни, связанного со здоровьем (health related quality of life), при установлении инвалидности. Термин «качество жизни, связанное со здоровьем», являясь одним из ключевых понятий современной медицины, позволяет дать глубокий обобщённый анализ «физических, психологических, эмоциональных и социальных проблем больного человека» [8]. Некоторые авторы понимают качество жизни, связанное со здоровьем, как способность индивидуума функционировать в обществе соответственно своему положению и получать удовлетворение от этого [9, 10]. По мнению Г.М. Зараковского, «качество жизни» определяется через соответствие параметров жизни потребностям людей. Это соответствие может проявляться в двух формах. Первая – переживание людьми удовлетворённости (неудовлетворённости) процессом и результатами своей жизнедеятельности. Вторая форма – объективная или экспертная оценка потенциалов индивидуума по отношению к объективным критериям анатомо-физиологического статуса и здоровья или к нормативно принятым обществом критериям: нормам морали, ценностям и результатам жизнедеятельности. Таким образом, делает вывод автор, прямыми индикаторами качества жизни могут быть субъективные и объективные оценки фактического состояния (уровня) названных выше соответствий. Но могут быть и косвенные индикаторы качества жизни, как потенциальной возможности достижения того или иного уровня соответствия параметров жизнедеятельности актуальным потребностям [11].

Всемирная организация здравоохранения характеризует качество жизни, связанное со здоровьем, как «индивидуальное восприятие своей позиции в жизни в контексте с культурной средой и системой ценностей, в которой проживает индивид, и в соотношении с его целями, ожиданиями, стандартами и воззрениями» [12].

По мнению М. Edlund и соавтора [13], интерес к проблеме качества жизни в медицине объясняется следующими причинами:

1. Всё в большей степени основополагающим принципом медицины становится уважение личности и прав пациента. Гарантии прав пациента на сознательный выбор между лечением и нелечением, на утешение и так далее связаны с «оптимальным качеством жизни больного».

2. Структура заболеваемости кардинально меняется, всё больше становится хронических больных, которые не могут быть излечены, несмотря на прогресс медицины. В отношении таких больных терапия направлена на улучшение их качества жизни.

Анализ существующих методик оценки качества жизни показывает, что большинство из них охватывает пять основных аспектов этого понятия [14]:

1. Физическое состояние (физические ограничения, физические способности, физическое благополучие).

2. Психическое состояние (уровни тревоги и депрессии, психологическое благополучие, контроль эмоций и поведения, познавательные функции).

3. Социальное функционирование (межличностные контакты, социальные связи).

4. Ролевое функционирование (ролевое функционирование на работе, дома).

5. Общее субъективное восприятие состояния своего здоровья (оценка настоящего состояния и его перспективы, оценка боли).

Очевидно изменение содержания клинической медицины в связи с введением в нее понятия «качество жизни». И прежде всего это связано с возрастанием значения субъективного фактора, отношения самого пациента к болезни. С ориентацией медицины на качество жизни пациента происходит гуманизация клинической практики. В контекст истории болезни включается в большей мере индивидуальность пациента, жалобы больного перестают играть вспомогательную роль, но учитываются как важнейший самостоятельный элемент.

В медицинской практике качество жизни используется в различных контекстах [8]:

1. Качество жизни – критерий оценки эффективности лечения.

В международной клинической практике большое количество работ посвящено исследованиям качества жизни пациентов при оценке эффективности проводимого лечения: различных программ лекарственной терапии, комбинированных методов лечения. В тех случаях, когда используются радикальные вмешательства (например, хирургические операции), важным результатом является субъективная оценка больным своего состояния, которое может изменяться в широком диапазоне в зависимости от побочных эффектов вмешательства (эмоциональное состояние женщины после проведения калечащей радикальной мастэктомии). В связи с этим качество жизни имеет значение одного из основных показателей успешного лечения.

2. Качество жизни – критерий определения эффективности новых лекарственных препаратов.

В настоящее время исследования качества жизни пациентов представляет собой обязательный элемент апробации, регистрации и внедрения новых лекарственных препаратов, предназначенных для лечения хронических заболеваний, оценка качества жизни проводится наряду с общепринятыми клиническими исследованиями. В тех случаях, когда лекарственные препараты назначают для лечения заболеваний, не имеющих четких клинических маркеров (например, синдром раздраженной кишки), качество жизни пациентов является ведущим критерием, на основании которого выносится заключение об эффективности препарата и возможности его введения в клиническую практику. В большинстве стран оценка качества жизни относится к одному из основных методов исследования новых лекарственных препаратов в связи с тем, что задачей лекарственной терапии является улучшение качества жизни пациентов. В аннотациях многих современных препаратов отмечено, что они улучшают качество жизни больных.

Кардиология относится к разделам внутренних болезней, где проводится наибольшее количество исследований по влиянию лекарственных препаратов на качество жизни пациентов. Из сердечно-сосудистых препаратов чаще всего проводилось исследование по оценке качества жизни при лечении антигипертензивными препаратами.

Лечащий врач, назначая больному с артериальной гипертензией антигипертензивные препараты, чаще всего отмечает стабилизацию цифр артериального давления. Около 45% больных начинают чувствовать себя лучше [15]. Однако приблизительно столько же больных, несмотря на положительную динамику артериального давления, могут не отмечать улучшения, а некоторые (около 10%) могут отметить, что чувствуют себя хуже, чем до лечения, жалуясь на снижение работоспособности, сексуальной активности, увеличение раздражительности и забывчивости, на неблагоприятные изменения в своем социальном статусе, семейном положении и в профессиональных способностях.

Мета-анализ девяти опубликованных с 1970 по 1990 годы исследований на двадцати семи группах больных обобщил результаты влияния на качество жизни четырнадцати антигипертензивных средств. В последующие годы появились многочисленные исследования, показывающие важность изучения качества жизни при оценке препаратов из основных групп антигипертензивных средств и необходимости учёта динамики параметров качества жизни пациентов при длительной терапии.

3. Качество жизни – прогностический фактор.

В ряде случаев доказано прогностическое значение показателя качества жизни. Качество жизни как прогностический фактор используют при стратификации больных в клинических исследованиях и при выборе индивидуальной программы лечения больного.

#### 4. Качество жизни – показатель эффективности реабилитационных программ.

Исследование качества жизни пациента позволяет осуществлять мониторинг состояния больного в процессе реабилитации, отличать осложнения в течении заболевания и побочные эффекты лечения. На основании данных о качестве жизни могут разрабатываться комплексные программы реабилитации при различных заболеваниях. Возможность выздоровления больного и эффективная социализация в значительной степени определяются качеством жизни пациента на этапах реабилитации.

#### 5. Качество жизни – ориентир в разработке подходов к паллиативной терапии.

Сравнительный анализ влияния наиболее распространенных хронических неинфекционных заболеваний на качество жизни показывает, что хроническая сердечная недостаточность – один из основных соматических факторов инвалидизации больных, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, ухудшает качество жизни пациентов в большей степени, по сравнению с другими патологическими состояниями [16]. Несмотря на успехи фармако-терапии хронической сердечной недостаточности, прогноз больных с выраженной сердечной недостаточностью III-IV функционального класса NYHA остается неблагоприятным, а качество жизни – неудовлетворительным. При этом плохое качество жизни при хронической сердечной недостаточности связывают не только с ограничивающим действием симптомов хронической сердечной недостаточности, но и с неопределенностью жизненных перспектив после постановки диагноза хронической сердечной недостаточности [17]. Тем не менее, именно увеличение продолжительности жизни и улучшение ее качества считаются основными целями лечения больных с хронической сердечной недостаточностью.

А.А. Новик и соавторы выделяют три признака, характерных для концепции качества жизни [8].

*Многомерность.* Качество жизни содержит информацию об основных сферах жизнедеятельности человека: физической, психологической, социальной, духовной и финансовой и позволяет определить влияние болезни и лечения на состояние больного.

*Изменяемость во времени.* Качество жизни не является постоянным и меняется в зависимости от состояния больного. Данные о качестве жизни позволяют осуществлять мониторинг состояния пациента.

*Участие больного в оценке его состояния.* По мнению авторов, эта характеристика качества жизни является особенно важной. Оценка качества жизни, сделанная самим пациентом, является достоверным показателем его состояния. Данные о качестве жизни, наряду с традиционным медицинским заключением, позволяют составить полную и объективную картину болезни.

Определение качества жизни, связанного со здоровьем, проводится с 1999 г. в кардиологическом бюро Государственной службы Медико-социальной экспертизы Саратовской области у инвалидов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Из более чем 1500 инвалидов, участвующих в настоящем исследовании, 98% относятся к «базовому» и «нижнему» слоям по классификации Т.И. Заславской [18]. Все респонденты являлись лицами трудоспособного возраста, из них 43% были в возрасте до 50 лет. Выявлены существенные гендерные различия: 87% инвалидов были мужчинами. Высшее образование имелось у 19%; в то же время подавляющая часть респондентов, имевших лишь среднее или неполное среднее образование, обладали и наименьшим профессиональным и квалификационным трудовым потенциалом, к тому же большинство из них, как установлено, живут за чертой бедности. Нами подтверждено, что инвалиды с низким уровнем образования, как правило, склонны преувеличивать значимость своей болезни, имеют более выраженные психологические проблемы и реже, чем инвалиды с высшим образованием, возвращаются к труду [19]. Для боль-

шинства респондентов, занятых чисто физическим трудом, часто само возникновение ограничений жизнедеятельности, связанных с сердечно-сосудистой патологией, предполагает потерю профессии, безработицу, исчезновение многовариантности трудового выбора, нарушение социализации.

Для исследования качества жизни был использован Миннесотский опросник, разработанный в 1987 г. Т. Rector и J.Cohn для больных с хронической сердечной недостаточностью. Опросник качества жизни при хронической сердечной недостаточности (MLHFQ) содержит 21 вопрос, ответы на которые позволяют определить, насколько имеющаяся сердечная недостаточность ограничивает физические возможности больного; социально-экономические аспекты и общественные связи пациента; положительное эмоциональное восприятие жизни. Предварительное исследование эффективности опросника показали его высокую валидность и чувствительность.

Величина показателя качества жизни, вычисленного на основании оценок самого больного, как выяснилось, коррелирует с рядом объективных характеристик, в том числе устанавливаемых в ходе инструментального обследования больных. Полученные результаты показали, что качество жизни следует рассматривать как самостоятельный и надёжный (объективный) многофакторный показатель, реально отражающий состояние инвалидов вследствие сердечно-сосудистого заболевания.

**Миннесотский опросник качества жизни у больных с хронической сердечной недостаточностью (MLHFQ)**

*Мешала ли Вам сердечная недостаточность жить так, как хотелось бы, в течение последнего месяца из-за:*

1	<i>отеков голеней, стоп?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	11	<i>ограничений в диете?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
2	<i>необходимости отдышаться днем?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	12	<i>чувства нехватки воздуха?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
3	<i>трудности подъема по лестнице?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	13	<i>необходимости лежать в больнице?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
4	<i>трудности работать на дому?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	14	<i>чувства слабости, вялости?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
5	<i>трудности с поездками вне дома?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	15	<i>необходимости платить?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
6	<i>нарушения ночного сна?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	16	<i>побочного действия лекарств?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
7	<i>трудности общения с друзьями?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	17	<i>ощущения себя обузой для родных?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
8	<i>снижения заработка?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	18	<i>чувства потери контроля?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
9	<i>невозможности заниматься спортом, хобби?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	19	<i>чувства беспокойства?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
10	<i>сексуальных нарушений?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5	20	<i>ухудшения внимания, памяти?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5
			21	<i>чувства депрессии?</i>	0, 1, 2, 3, 4, 5

Варианты ответов: 0 – нет; 1 – очень мало; ... 5 – очень много

Обнаружены доказательства влияния на суммарный показатель качества жизни таких факторов, как возраст, уровень образования и гендерные различия. Отмечено относительное снижение суммарного показателя качества жизни у больных старше 50 лет. Наши наблюдения находят подтверждение в исследованиях М.М. Петровой с соавт. (2000), которые объяс-

няют данное обстоятельство тем, что развитие инфаркта миокарда и инвалидность в возрасте 50-59 лет воспринимаются больными как катастрофа, в то время как больные 30-49 лет настроены более оптимистично. Самые высокие показатели качества жизни соответствовали в основном больным с высшим образованием, самые низкие – лицам с неполным средним образованием. Для большинства больных, имевших среднее или неполное среднее образование, перенесенный инфаркта миокарда и установление инвалидности предполагают потерю профессии, развитие социальной недостаточности. Кроме того, пациенты с низким уровнем образования склонны преувеличивать угрозу болезни [19]. Качество жизни женщин оказалось, по нашим данным, заметно более низким, чем у мужчин. Проведённый математический анализ подтвердил существенность статистической зависимости суммарного показателя качества жизни от клинических характеристик, являющихся предикторами клинического прогноза у данной категории инвалидов. Величина показателя качества жизни, вычисляемого на основании оценок самого больного, т.е. являющегося, казалось бы, сугубо субъективным показателем, на самом деле хорошо коррелирует с рядом вполне объективных величин и характеристик, в том числе выявляемых в ходе специального обследования больных. Была доказана чёткая прогностическая значимость показателя качества жизни. По результатам исследования, используя метод пошаговой регрессии, была построена линейная модель клинического прогноза инвалидов вследствие сердечно-сосудистых заболеваний, с высокой надёжностью совпадающая с точным клиническим прогнозом ( $p \leq 0,01$ ), установленным с учётом динамических изменений клинических данных и результатов инструментального обследования инвалидов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. При этом выявлена зависимость клинического прогноза от показателей, характеризующих качество жизни и определённых при тестировании больных по Миннесотскому опроснику. Значение точного клинического прогноза определяет построенная нами регрессионная модель реабилитационного потенциала, содержащая те же объективные показатели и значения качества жизни, что и модель клинического прогноза. Сам показатель реабилитационного потенциала может рассматриваться как числовая характеристика клинического прогноза.

Качество жизни предполагает и оценку самим больным ограничений своей жизнедеятельности. Выявлена существенная зависимость качества жизни от способности больного к самообслуживанию и трудовой деятельности ( $p \leq 0,05$ ), что позволяет объективизировать процесс установления инвалидности. Введение в практику медико-социальной экспертизы и медико-социальной реабилитации определения качества жизни инвалидов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, несомненно, могло бы повысить степень объективности и достоверности при установлении инвалидности и стать одним из критериев оценки эффективности медико-социальной реабилитации и социализации данной категории инвалидов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмишин Л.Е. Социально-гигиенические аспекты инвалидности, причины и перспективы медико-социальной экспертизы и реабилитации при заболеваниях системы кровообращения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Л.Е. Кузьмишин. М., 1997. 51 с.
2. Лаврова Д.И. Современная концепция инвалидности / Д.И. Лаврова // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 1998. № 2. С. 5-8.
3. Осадчих А.И. Инвалидность и инвалиды: теория и практика / А.И. Осадчих, И.В. Лебедев, А.Е. Лысенко // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 1998. № 2. С. 3-5.
4. World Health Organization International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps: a Manual of Classification Relating to the Consequences of Disease. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1980. 216 p.
5. Лаврова Д.И. Теоретические основы медико-социальной экспертизы при патологии внутренних органов в свете современной концепции инвалидности: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Д.И. Лаврова. М., 2000. 26 с.

6. Орлова М.М. Социально-психологическая адаптация соматических больных и ситуация болезни / М.М. Орлова // Психология системного функционирования личности: материалы Междунар. науч. конф. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2004. С. 223-225.
7. Jette A. Physical disablement concepts for physical therapy research and practice / A. Jette // Physical Therapy. 1994. Vol. 74, № 5. P. 380-386.
8. Новик А.А. Концепция исследований качества жизни в медицине / А.А. Новик, Т.И. Ионова, П. Кайнд. СПб.: ЭЛБИ, 1999. 139 с.
9. Кон Я.И. Качество жизни у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями / Я.И. Кон, Р.А. Либис // Кардиология. 1993. № 5. С. 66-72.
10. Либис Р.А. Оценка эффективности лечения больных хронической сердечной недостаточностью с учётом динамики показателей качества жизни: дис. ... канд. мед. наук / Р.А. Либис. Оренбург, 1994. 170 с.
11. Зараковский Г.М. Качество населения в аспекте качества жизни: возможные показатели и методы их оценки / Г.М. Зараковский // Проблемы психологии и эргономики. 2000. № 1. С. 46-55.
12. Study protocol for the World Health Organization project to develop a Quality of Life assessment instrument // Quality of Life Research. 1993. № 2. P. 153-158.
13. Edlund M. Quality of life: an ideological critique / M. Edlund, L. Tancredi // Perspectives in Biology and Medicine. 1985. № 85. P. 591-607.
14. Хетагурова А.К. Вопросы качества жизни в современной паллиативной медицине / А.К. Хетагурова // Вопросы управления здравоохранением. 2003. № 6 (13). С. 49-50.
15. Метелица В.И. Справочник по клинической фармакологии сердечно-сосудистых лекарственных средств / В.И. Метелица. М.: Медпрактика, 1996. 778 с.
16. Изучение качества жизни больных с хронической сердечной недостаточностью: современное состояние проблемы / В.А. Орчов, Н.Г. Бенгелиани, С.Р. Гиляревский и др. // Российский кардиологический журнал. 2001. № 3 (29). С. 58-72.
17. Winters C.A. Heart failure: living with uncertainty / C.A. Winters // Progress Cardiovascular Nursing. 1999. № 14 (3). P. 385-391.
18. Заславская Т.И. Трансформация социальной структуры российского общества / Т.И. Заславская // Куда идёт Россия?.. Социальная трансформация постсоветского пространства: Междунар. симпозиум 12-14 янв. 1996 г. / Междунар. акад. центр социал. наук, Моск. высш. шк. социал. и экон. наук; общ. ред. Т.И. Заславской. М., 1996. С. 11-21.
19. Hsi Y.Y. Life quality of postmyocardial infarction patients: influence of personal variables on coping / Y.Y. Hsi, C.Y. Chen, M.B. Lee // Taiwan Journal. 1990. Vol. 89. P. 149-155.

**Кром Ирина Львовна** –

кандидат медицинских наук,

докторант кафедры «Социальная антропология и социальная работа»

Саратовского государственного технического университета

УДК 338:331.5

**Л.К. Миронова**

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В УПРАВЛЕНИИ ЗАНЯТОСТЬЮ МОЛОДЕЖИ**

*Определены сущность и место занятости молодежи в управлении  
территориальными экономическими системами, систематизированы соци-*



*ально-экономические факторы занятости молодежи, научные подходы и принципы формирования системы управления занятостью молодежи. При этом особое значение приобретают вопросы совершенствования государственной и региональной политики в области управления занятостью молодежи, определения приоритетных направлений занятости молодежи в территориальных экономических системах.*

**L.K. Mironova**

## **NEW APPROACHES IN YOUTH EMPLOYMENT MANAGEMENT**

*The essence and the place of youth employment in management of territorial economic systems are determined in this article. Social-economic factors of youth employment system management are studied as well. Special attentions acquire the questions of improvement of the state and regional policies in the field of youth employment management, and determination of priority lines of youth employment in territorial economic systems.*

Будущее любого общества в значительной мере определяется общественным сознанием молодежи, ежегодно вступающей в активную социально-политическую, экономическую жизнь и пополняющей путем ротации политические, экономические и иные элиты страны. Не составляет исключения в этом плане и современная молодежь России, которая, по-своему воспринимая и оценивая окружающую российскую действительность, стремится включиться в процессы политического, экономического, социального развития страны и её территориальных систем. Однако у 53,9% молодежи преобладают негативные оценки окружающей действительности из-за остроты проблемы занятости молодежи и других деструктивных тенденций в стране.

Трансформационные процессы, происходящие с 90-х годов в России, оказали радикальное воздействие на все стороны жизнеустройства российского общества. В этой связи четко обозначились наиболее острые проблемы: чрезвычайное падение оплаты труда, пенсий и всех иных видов денежных выплат; социальная поляризация общества; формирование бедности и нищеты; обострение безработицы, которая для большинства работающих является своеобразным «дамкловым мечом»; деградация методов экономической и социальной защиты, а также отраслей социальной инфраструктуры.

Эти проблемы имеют два серьезных следствия. Во-первых, поляризация ведет к устойчивому расслоению общества и дестабилизирует ситуацию, негативным образом воздействуя на детей и молодежь. Это тем более опасно, что в социальный слой богатых и очень богатых входит политическая элита. При этом из общего состава бедняков около половины – дети и молодежь до 30 лет. Одна треть бедных формируется, прежде всего, по экономическим причинам – низкая оплата труда, неплатежи заработной платы, безработица, низкий уровень пенсий и материального обеспечения одиноких матерей, многодетных семей и инвалидов.

Во-вторых, бедность, безработица, экономическая и социальная нестабильность, несбыточность надежд, крушение планов интенсифицируют процессы маргинализации населения. В результате эксклюзии появляется широкий слой пауперов, как следствие нисходящей экономической и социальной мобильности. Оценки специалистов показывают, что «социальное дно» составляет около 10% городского населения, среди которого около 1,3 млн. беспризорных и безнадзорных детей. Такая ситуация все более обостряет проблему управления занятостью молодежи, которая занимает одно из центральных мест в управлении территориальными экономическими системами [1, с.5-27].

Как известно, социально-экономическое положение любой территориальной экономической системы во многом определяется её ресурсным потенциалом, где творческое проявление экономической инициативы граждан и особенно молодежи, гарантирует политическую стабильность, осуществление подлинной демократии, отвечает коренным национальным интересам [2, с.175-192].

Значимость исследуемой проблемы определяется и тем, что плохо налажено взаимодействие территориальных единиц, как в плане обмена информацией и опытом по обеспечению занятости молодежи, так и в плане организации практического, хозяйственного взаимодействия предпринимателей, органов государственного и муниципального управления, других заинтересованных лиц между собой по вовлечению молодежи в различные секторы экономики.

В этой связи необходим акцент на выявление всех экономических и социальных факторов занятости молодежи, определение её роли и места в развитии территориальных экономических систем, закладывание основы для выработки общегосударственных и региональных программ по обеспечению и управлению занятостью молодежи в системе управления территориальными экономическими системами.

Управление занятостью молодежи представляет собой совокупность организационно-экономических отношений, которая направлена на достижение экономических и социальных интересов субъектов и объектов управления, обеспечивает развитие потенциала молодежи и реализуется в таких имманентных функциях как экономическая, трудоворесурсная, социальная, демографическая, политическая. Конечной целью такой системы отношений является всестороннее развитие молодежи, её потенциала, которое активно воздействует на процесс создания всех видов благ и ценностей, обеспечивает устойчивое развитие территориальных экономических систем.

Объективная необходимость управления занятостью молодежи в управлении территориальными экономическими системами определяется тем, что:

– в условиях динамизма общественной жизни и институциональных преобразований экономики молодежь становится важнейшим интеллектуальным, экономическим, трудовым ресурсом территориальных экономических систем;

– внутренним резервом, обеспечивающим развитие и саморазвитие важнейшего элемента системы управления территориальными экономическими системами как управления занятостью молодежи, является взаимодействие самих исполнителей, управленцев предпринимательских структур, органов государственной и муниципальной власти, общественности и семьи.

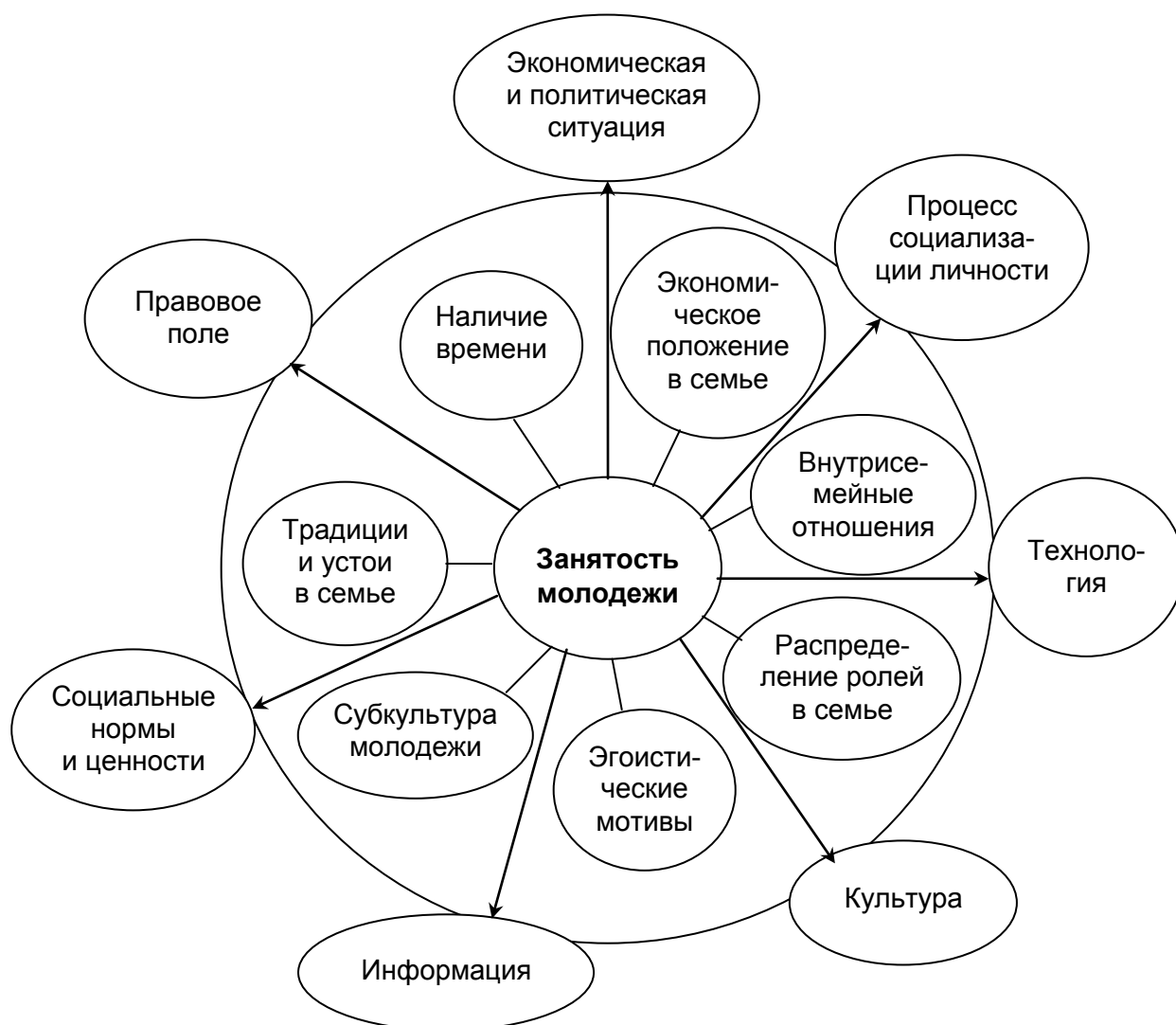
Данное положение основано на комплексном подходе к проблеме управления занятостью молодежи в управлении территориальными экономическими системами. Применение принципов системности и комплексности к исследованию проблем управления занятостью молодежи в территориальных экономических системах позволит рассматривать системы как объединение частей в единое целое, свойства которого могут отличаться от свойств входящих в него частей. Системный подход следует рассматривать как ряд взаимосвязанных аспектов: системно-элементный, системно-структурный, системно-функциональный, системно-коммуникационный, системно-интегрированный и системно-исторический, которые, по мнению автора, необходимо учитывать при исследовании управления занятостью молодежи в территориальных экономических системах.

Принцип системности и комплексности подразумевает умение видеть наиболее значимый комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных подсистем, входящих в систему управления занятостью молодежи. Это последовательный, поэтапный подход к решению проблем управления занятостью молодежи, который позволяет осуществлять постановку целей, сбор информации, разработку альтернатив, оценку вариантов и выбор лучшего из них. При этом, по мнению автора, необходимо учитывать такое важное специфическое свойство системы, как мультиплицирующий эффект, который позволяет задействовать в развитие

подсистемы управления занятостью молодежи развитие других подсистем управления территориальными экономическими системами.

Одним из важнейших инструментов в управлении занятостью молодежи является факторный подход, цель которого состоит в определении степени влияния внешнего и внутреннего окружения на производственно-хозяйственную и иную деятельность молодежи, а также выявление заинтересованных групп лиц в использовании труда молодежи, а зачастую и несовершеннолетних (см. рисунок). Важнейшими факторами воздействия внешнего окружения на занятость молодежи являются: изменения политической и экономической ситуации, процессов социализации личности, правового поля, технологии, информации, социальных норм и ценностей, культуры. Факторами внутреннего окружения молодежи являются: экономическое положение в семье, наличие времени, эгоистические мотивы, внутрисемейные отношения, традиции, устои и распределение ролей в семье, влияние друзей, субкультура молодежи.

Вышеуказанные факторы занятости молодежи определены как взаимосвязанные и взаимодополняющие, в отличие от традиционно принятого их разграничения, с учётом развития внутреннего окружения молодежи и изменений внешнего.



Взаимодействие внешних и внутренних факторов, воздействующих на занятость молодежи

Проведенный автором анализ показывает, что наибольшее влияние на молодежь в настоящее время оказывают: семья, близкие родственники, друзья, внешнее окружение, средства массовой информации (см. таблицу).

## Наиболее значимые факторы, влияющие на молодежь

Наибольшее влияние на молодежь в настоящее время оказывают:	Исследуемая группа				
	Крестьяне (фермеры)	Руководители предприятий	Интеллигенция	Работники органов власти	Рабочие
	%	%	%	%	%
Семья	39,3	22,9	28,1	27,6	34
Близкие родственники	15,5	2,9	0	0	0
Друзья	15,5	17,1	6,3	3,9	34
Внешнее окружение (школа, общество)	0	20	28,1	39,5	26
Средства массовой информации	29,8	37,1	37,5	28,9	6
Всего	100	100	100	100	100

Анализ позволяет сделать вывод, что почти 60% молодых оценивают свое материальное положение как среднее, более 20% молодежи – как плохое и очень плохое, и только 9,6% из них оценивают материальное положение своих семей как хорошее. И если, по мнению 18,7% молодых респондентов, их материальное положение за последний год скорее улучшилось, то для 54,3% оно осталось без изменений, а для 20,6% – скорее ухудшилось. При этом ведущими мотивами раннего трудоустройства молодежи являются желание заработать, помочь своим родителям, попробовать себя, получить квалификацию.

Однако исследования показывают, что работа для молодежи превращается в заработок. Желание заработать у молодежи и подростков, по мнению большинства опрошенных, чаще всего связано с низким доходом в семье. Причина отношения подростков к труду только как к источнику материального дохода заключается в недостаточной материальной обеспеченности семьи.

В управлении занятостью молодежи необходимо использование специфических методологических подходов к исследованию занятости молодежи, исходя из предпосылки о существовании российского молодежного социума как чего-то относительно единого и целостного, а также использования методов анализа на основе социально-экономических характеристик.

Основными методологическими подходами и принципами управления занятостью молодежи в управлении территориальными экономическими системами должны стать: дифференцированный, интеграционный и вариантный подходы, а также принцип преемственности во времени, принцип инерционности развития.

С позиций методологии дифференцированный подход представляется целесообразным в управлении занятостью молодежи в территориальных экономических системах. Ведь разнообразию любой территории должна соответствовать система достаточно дифференцированных во временном и территориальном разрезах инструментов управления занятостью молодежи. В рамках такого подхода государство призвано участвовать в поддержке программ молодежной занятости, с разным долевым участием федеральных средств участвовать в финансировании инфраструктуры, создавать благоприятный инвестиционный климат на территориях путем налоговых и инвестиционных льгот, направлять иностранные кредиты на проекты, способные улучшить территориальные пропорции. При этом поддержка государства не должна усиливать диспропорции и консервировать сложившуюся территориальную структуру.

Сущность принципа преемственности во времени состоит в использовании законов диалектики взаимодействия таких двух противоположностей, как стабильность и динамизм, то есть повторяющихся и изменяющихся явлений и процессов, характерных для функционирования системы управления занятостью молодежи в территориальной экономической системе.

Принцип инерционности в управлении занятостью молодежи в территориальных экономических системах сводится к продолжению в прогнозируемом периоде настоящих, достаточно хорошо изученных, устойчивых тенденций и закономерностей.

Вариантный подход в управлении занятостью молодежи означает, что окончательный выбор варианта занятости молодежи лучше делать на основе анализа всей полученной информации о состоянии и тенденциях развития территориальной экономической системы. Как свидетельствует практика развивающихся экономических систем, многовариантный подход всегда более эффективен, ибо обеспечивает предотвращение необоснованного выбора какого-либо другого варианта.

Комплексное исследование проблемы занятости молодежи поможет создать теоретическую модель, объясняющую данное явление, а также выявить факторы, позволяющие воздействовать на развитие этого явления в практическом применении.

Проведенный анализ показал, что в сегодняшней системе трудовой подготовки нет реальных механизмов стимулирования молодежи, и государство не имеет прямого отношения к их внешней мотивации к труду. Около  $\frac{1}{4}$  опрошенных респондентов считают, что проблема государственной мотивации к труду заключается в низком уровне практической отдачи от существующих форм профессионального обучения. Важно подчеркнуть, что здесь понятие «профессионализма» в принципе неприменимо к тем способам добывания средств, которые характерны для молодежи в большинстве случаев. Они возникают и приобретают смысл лишь на определенном уровне развития потенциала у молодежи.

Эффективность государственной (территориальной) программы трудоустройства молодежи, по мнению большинства респондентов, определяется совокупностью факторов: размерами финансирования данных программ, заинтересованностью в поддержании этих программ различными территориями, вовлеченностью в поддержание таких программ широких слоев общественности. Наиболее эффективные методы решения проблемы управления занятостью молодежи нашли отражение в предложенной автором территориальной Программе обеспечения занятости молодежи на основе развития молодежного предпринимательства. Задачи Программы определяются ее конечной целью – созданием эффективной системы управления занятостью молодежи – и заключаются: в создании правовых, экономических, организационных условий для управления занятостью молодежи; в повышении эффективности использования инфраструктуры занятости молодежи; в совершенствовании механизмов финансовой поддержки, в консолидации средств финансирования приоритетных направлений занятости молодежи; в преодолении административных барьеров на пути управления занятостью молодежи; в предоставлении методической, информационной, консультационной, образовательной и правовой поддержки управления занятостью молодежи.

Программа представляет собой план действий администраций, служб регулирования занятости населения, фондов, общественных организаций по обеспечению занятости молодежи, внедрению конкретных молодежных предпринимательских проектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексная оценка социально-экономического развития регионов РФ в 1998-2002 годах: Федеральная целевая программа «Сокращение различий в социально-экономическом развитии регионов РФ на 2002-2010 гг. и до 2015 г.». М., 2001.
2. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество / Д. Белл. М., 2000. 220 с.

**Миронова Лидия Корнеевна** –

старший преподаватель кафедры «Социальная работа»

Института социального образования (филиал)

Российского государственного социального университета в г. Саратове,

соискатель Поволжской академии государственной службы имени П.А. Столыпина

**П.В. Пучков**

## **СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА GERONТОЛОГИЧЕСКОЙ КАТЕГОРИИ НАСЕЛЕНИЯ В ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ СЕМЕЙНОГО GERONТОЛОГИЧЕСКОГО ЭБЬЮЗИНГА**

*Статья посвящена новому аспекту в социологии насилия – социологии жестокого обращения по отношению к лицам пожилого возраста (геронтологический эбьюзинг) в различных его манифестациях. Автор статьи предлагает модель по вмешательству в различных ситуациях геронтологического эбьюзинга.*

**P.V. Puchkov**

## **SOCIAL PROTECTION OF GERONTOLOGY CATEGORY OF POPULATION UNDER CIRCUMSTANCES OF ELDERLY ABUSING**

*This article is devoted to one of the new aspects in the sociology of violence – sociology of elderly abusing (gerontology abusing) in its different manifestations. The author of the paper offers a theoretical framework for intervention of elder abusing.*

Современные перемены в российском обществе все отчетливее показывают изменение в общественных взаимоотношениях традиционных норм уважения в отношении пожилых людей, проявляемое в различных формах, включая и самую негативную ее форму – жестокое обращение с данной категорией населения (геронтологический эбьюзинг – elderly abusing).

Рассматривая данное понятие, отметим, что в зарубежной англоязычной социологической и психологической литературе используется несколько терминов, характеризующих жестокое обращение по отношению к геронтологической категории населения.

Основными терминами, обозначающими дурное обращение с лицами пожилого возраста, злоупотребление уязвимым положением, оскорбление и унижение, являются собиравательные англоязычные термины «abuse» (плохое или жестокое обращение; злоупотребление; нападение, избиение; ругань, оскорбление, совращение) [1, с.5] и «neglect» (пренебрежение, игнорирование, забывание, лень, отсутствие заботы, запущенность, заброшенность) [2, с.479]. Разработанность категориального аппарата по проблеме насилия в отношении геронтологической группы населения в английском языке свидетельствует о большом внимании к данной проблеме за рубежом. При этом некоторые исследователи видят в отсутствии соответствующей терминологии проблему для изучения явления данного вида насилия в России [3, с.27].

Такой вид насилия обусловлен, по мнению ряда ученых, политическими и экономическими переменами, имеющими место в нашей стране. Бедность, безработица, экономическая нестабильность, немотивированное агрессивное поведение некоторых представителей молодежи порождает насильственные действия, способствующие повышению риска для самой уязвимой, зависимой и беспомощной категории населения – стариков.

Геронтологический эбьюзинг во внутрисемейных отношениях также нарушает целый ряд прав человека на равную защиту перед законом и защиту от дискриминации по признаку пола, право не подвергаться жестокому обращению, право на жизнь и физическую неприкосновенность, право на наивысшие стандарты физического и психологического здоровья.

Геронтологический эбьюзинг во внутрисемейных отношениях является одной из самых скрытых форм домашнего насилия, что приводит к трудностям в оценке масштаба проблемы, поскольку ввиду родственных связей жертва отказывается предпринимать правовые меры по отношению к эбьюзеру (лицо, поведение которого может быть рассмотрено как источник физических или душевных страданий) и старается уберечь его от наказания. Этим частично и объясняется тот факт, что подобные внутрисемейные отношения долгое время находились вне поля зрения социальных работников.

Все это требует серьезнейшего и незамедлительного изучения данного явления, поскольку ставит перед обществом множество морально-этических, правовых, социальных, психологических проблем.

Однако важность данной проблематики во многих зарубежных странах хорошо осознается государством и обществом в целом. Об этом свидетельствует наличие системы государственных социальных служб, защищающих права пожилого человека, и многочисленных благотворительных организаций, оказывающих помощь данной категории лиц в семейных условиях.

В нашей же стране вопросы, связанные с жестоким обращением с лицами пожилого возраста, до настоящего времени находятся еще на ранней стадии общественного признания и изучения. Есть достаточные основания полагать, что распространенность этого явления значительна, а подавляющее большинство случаев проявления этого социального зла не выявлены.

Данную проблему мы пытались осветить в монографии, в которой внимание автора статьи было в основном сконцентрировано на определении сущности и степени этой формы насилия как в домашних условиях (*domestic elderly abuse*), так и в условиях проживания пожилых людей в медицинских и социально-медицинских лечебных учреждениях (*institutional elderly abuse*) [4].

Проведенные нами исследования, а также богатый опыт западных стран, особенно США, убедительно свидетельствует о том факте, что существует в силу замкнутости семейных отношений скрываемость фактов насилия по нравственно-этическим соображениям, и как следствие, отсутствует детально разработанная статистика, что затрудняет определение реальной распространенности геронтологического эбьюзинга.

Несмотря на эти проблемы, существует прямая возможность незамедлительного вмешательства во все увеличивающееся число случаев эбьюзинговых ситуаций, что требует создания теоретической модели социальной защиты, базирующейся на уже имеющихся знаниях. Такая модель могла бы в определенной степени обеспечить всестороннюю структуру превентивных мер, направленных на предотвращение, а возможно, и на искоренение различных проявлений геронтологического эбьюзинга.

При создании такой модели ученым, работающим в этой области, необходимо опираться на все имеющиеся исследования и разработки, выполненные как в нашей стране, так и за рубежом. Однако анализ как отечественной, так и западной социологической геронтологической литературы показал, что во многих исследованиях отсутствует единый подход к изучаемому явлению. Это прежде всего, выражается в недостаточно научно обоснованном терминологическом аппарате, слабой разработке теоретической базы, объясняющей данный феномен, отсутствии общепринятых дефиниций ключевых понятий геронтологического эбьюзинга, недостаточной репрезентации эмпирического материала. Все эти и другие причины создают препятствия и трудности при выработке единой стратегии предотвращения и искоренения геронтологического эбьюзинга.

В различных странах для борьбы с геронтологическим эбьюзингом разработаны разнообразные меры, включая программы информирования общественности, принятие нового законодательства, решения судебных органов и корректировочные и профилактические программы. Аналогичные меры, хотя и не в столь широких масштабах, осуществляются и в некоторых государствах бывшего Советского Союза, например в Киргизии.

В целом меры по борьбе с геронтологическим эбьюзингом разрабатываются в целях расширения информированности и понимания этого негативного социального явления, поощрения уважения и признания достоинства пожилых людей и на этой основе защиты их прав. Конкретные меры включают регулирование практики ухода, повышение эффективности выявления случаев геронтологического эбьюзинга, улучшение планирования ухода и лечения. Такие меры также направлены на стимулирование сотрудничества между компетентными учреждениями и поощрение научных исследований в этой области.

Принципы, на которые ссылаются при разработке практических мероприятий, включают, в зависимости от конкретных условий, этические соображения, права человека и ценности свободы, самостоятельности, справедливости, уважения частной жизни, уважения между людьми и признания достоинства. Правовые и судебные системы, социальные стратегии и политика в области развития человеческого потенциала, а также профессиональные и сервисные службы – все эти элементы социума активно подключаются к проведению практических мероприятий. Помимо семей и отдельных активистов, в борьбе против геронтологического эбьюзинга все более активно участвуют общины и структуры поддержки, действующие по месту жительства и на неофициальном уровне.

В США, где насилие в семье продолжает оставаться распространенной и серьезной проблемой, для предотвращения насилия используются охранные ордера. Гражданско-правовой охранный ордер – правовой документ, предназначенный для защиты от жестокого обращения и предоставления жертвам насилия в семье соответствующих форм правовой помощи. Они выдаются судьями после судебного разбирательства, проводимого в соответствии со специальными положениями гражданского кодекса штата, направленными против насилия в семье, по требованию жертв жестокого обращения, их юристов или их представителей. Охранные ордера предоставляют жертвам насилия в семье широкий спектр правовой защиты, прежде всего виновник жестокого обращения должен прекратить преследование, угрозы, физическое насилие.

В польском Уголовном кодексе появилась специальная статья, предусматривающая наказание за насилие (физическое или психологическое), в виде заключения на три года без права уменьшения срока. Например, полицейское управление Польши ввело в качестве эксперимента новую систему работы с делами, связанными с домашним насилием. После первого обращения (жалоба может поступить как от жертвы, так и от соседей или работников социальных служб) полицейские приходят на место происшествия и заполняют специальную форму, так называемую «голубую карту», где указывают, кто совершил акт насилия, кто является пострадавшим лицом, тип насилия, первый ли это случай, а также другую информацию. После заполнения формы и введения информации в компьютерный банк данных семью в течение трех последующих дней посещают социальный работник и полицейский. В полиции имеются данные, что в 80 процентах случаев, когда была заполнена «голубая карта», насилие не повторялось. Совершивший насилие понимает, что хотя его не привлекли к ответственности после первого случая, это будет сделано после второй жалобы. Система «голубых карт» позволяет привлечь к ответственности виновного в совершении повторного правонарушения независимо от того, подавало ли пострадавшее лицо иск. Представители Департамента считают, что это является результатом воздействия психологического фактора – нарушители правопорядка стали задумываться о последствиях своего поведения.

Приведенный опыт Польши показывает, что многие страны проблему домашнего насилия выводят на государственный уровень. В странах, где нет охранных ордеров, создаются законы, которые не только защищают жертву после того, как над ней было совершено насилие, но и пытаются предотвратить насилие в семье.

Так, в Австрии изменения общего Кодекса гражданского законодательства позволяют жертве получить временный судебный запрет. В Македонии разработан проект закона предоставления мер судебной защиты.



Правительства всех провинций и территорий Канады уделяют много внимания проблеме запрещения насилия в отношении лиц пожилого возраста, делая основной упор на превентивные меры. Используются возможности системы образования, предпринимаются меры по обеспечению безопасности пожилых, развиваются службы для переживших геронтологический эбьюзинг, повышаются требования к правозащитной системе. При этом налицо стремление учитывать потребности групп населения со специальными нуждами: пожилых женщин и мужчин-инвалидов, аборигенов, представителей национальных меньшинств.

В провинции Альберта в 1998 г. был принят Акт защиты от насилия в семье, который берет под защиту всех членов семьи, включая и пожилых людей.

Существуют также программы индивидуального консультирования для обидчиков. В Виннипеге с 1990 г. действует Суд по семейному насилию, созданный под давлением ответственности для внимательного и справедливого разбирательства случаев насилия в отношениях между супругами, по отношению к престарелым. Создание этого специального суда обеспечивает такой же строгий подход к случаям насилия в семье, как и к другим проявлениям насилия против личности. Работа Суда по семейному насилию признана успешной во многом благодаря подбору специально подготовленных судей и прокуроров, осведомленных о проблемах насилия.

В соответствии с Актом о жертвах домашнего насилия в провинции Саскечеван в 1995 г. введены в действие ордера, дающие право немедленного вмешательства в любое время суток со стороны специально обученных мировых судей. Эти ордера могут предоставить жертвам эксклюзивное право владения общим жилищем, оберегают жертв домашнего насилия от любых контактов с обидчиком и предписывают служащим полиции наблюдение за данным домом. Наряду с этим ордера могут обеспечивать дополнительные средства, такие, как денежная компенсация жертве (например, оплата услуг по переезду, услуг дантиста, юриста и т.п.). Специальный ордер на вход в жилище позволяет официальным лицам контролировать ситуацию и, если требуется, эвакуировать жертву (в том случае, если она не может действовать самостоятельно), особенно если пострадавшие – пожилые люди или люди с ограниченными возможностями. Нарушение любой части указанного Акта является уголовным преступлением. Каждый офицер полиции в провинции прошел специальное обучение по проблемам домашнего насилия и по применению нового законодательства.

С 1988 г. в провинции Онтарио, в частности, в крупнейшем городе провинции – Торонто – действует Система немедленного реагирования на проявления домашнего насилия (Domestic Violence Emergency Response System (DVERS)). Учредителями этой системы стали Канадская Служба безопасности (ADT), службы поддержки жертв и полиция г. Торонто. ADT бесплатно предоставляет жертвам насилия портативную сигнальную аппаратуру и обеспечивает круглосуточную ее работу. Член семьи, которому угрожает опасность, может с помощью этой аппаратуры подать сигнал, который немедленно передается в полицию как звонок особой важности.

Развиваемая ADT с 1991 г. в качестве местной услуги, система DVERS стала первой программой такого рода в Северной Америке. Торонто явился 26-м городом в Канаде, пользующимся этой системой, которая внедрена также в 130 городах США.

В Канаде приобрели известность 5 исследовательских центров (в Ванкувере, Виннипеге, Лондоне, провинции Онтарио, Монреале, в г. Фредериктон провинции Нью-Брансвик) по проблемам семейного насилия. Они созданы в 1993 г. и финансируются Исследовательским советом по социальным и гуманитарным наукам Канады и федеральным департаментом здравоохранения и социального обеспечения, а также получают средства от местных объединений граждан. Эти центры стремятся обеспечить устойчивое сотрудничество между учеными, преподавателями, практиками, политиками и всеми заинтересованными организациями.

В деятельности, направленной на предотвращение и искоренение насилия, принимают участие средства массовой информации, в том числе Канадская ассоциация радиовещания, а также профсоюзы.

Большой оригинальностью отличаются инициативы местных сообществ (community): создаются театрализованные и музыкальные постановки; выпускаются футболки с надписями и символикой против насилия (дизайн некоторых создан теми, кто его пережил); работают группы образования для мужчин, которые используют традиции коренных народов, буддистов, гандистов, экологистов и т.п.

Достижения Канады могут быть учтены не только при составлении и реализации проектов неправительственных организаций, но и при подготовке и внедрении правительственных программ как на местном, так и на общенациональном уровнях.

Изучение международного и отечественного опыта, деятельности различных институтов и структур, выполняющих функции по предотвращению и преодолению геронтологического эбьюзинга, представляет набор основных мероприятий, которые необходимо учитывать при разработке единой модели защиты прав пожилого человека при выявлении актов насилия, направленных к рассматриваемой категории населения. К ним следует отнести: а) создание четкой правовой базы; б) ресурсное обеспечение; в) ориентационную работу, направленную на социальную активность в семье и обществе; г) просветительско-образовательную деятельность; г) совершенствование функций социальных государственных структур и институтов; д) скоординированную деятельность государственных и общественных учреждений по социальной защите пожилой категории населения страны; е) разработку чрезвычайных и систематических видов оказания помощи; ж) разработку комплексной профилактики по борьбе с геронтологическим эбьюзингом, как в семейных условиях, так и в обществе в целом; з) рациональное ведение кадровой политики; д) профессиональную, опирающуюся на мировой опыт, подготовку специалистов по работе с данной категорией населения, подверженной геронтологическому эбьюзингу.

Одна из составляющих данной модели, представленной в данной статье, по нашему мнению, является наиболее релевантной для ситуаций, в которых лица пожилого возраста могут подвергнуться различным типам геронтологического эбьюзинга со стороны эбьюзеров. Такая ситуация может возникнуть в том случае, когда стресс, возникший у эбьюзера в результате определенных ситуационных и (или) структурных факторов, может с большей вероятностью обусловить для него выполнение эбьюзинговых актов, направленных на уязвимого индивида. Среди таких структурных факторов выделяются: физические проблемы, проблемы, связанные с ухудшением здоровья, затрудненный контакт в силу особенностей личности, ранее приобретенный опыт социализации насилия, социально-экономические факторы.

В структурный фактор входит и та нежелательная нагрузка, обуза, которая ложится на плечи лиц, обеспечивающих уход и заботу за пожилыми (overburdened caregiver). Эта обремененность включает в себя широкий диапазон физических, психологических, социальных и финансовых проблем, особенно усугубляющихся во время обслуживания пожилых лиц с ограниченными физическими и психическими возможностями, отягощенных хроническими болезнями.

Литература по геронтологии зафиксировала два типа обслуживающего персонала, обремененного нежелательной дополнительной нагрузкой, одновременно испытывающего чрезмерное напряженное состояние. Одни переживают внешнюю стрессовую ситуацию, связанную с ежедневным материально-техническим обеспечением (objective burden). Вторые испытывают чувство беспокойства, вины как перед самим пожилым человеком, так и перед окружающими (subjective burden).

Поэтому, на наш взгляд, сама модель стратегии вмешательства должна исходить из природы взаимоотношений между эбьюзером и эбьюзируемым лицом в пожилом возрасте. При этом здесь необходимо учитывать следующее.

Многие ученые считают, что лицо, осуществляющее уход за пожилым человеком, может стать виновником эбьюзированной ситуации в четырех случаях.

Первый случай, когда у лица, предоставляющего уход, практически отсутствуют умения и навыки выполнять принятую на себя в данных обстоятельствах роль, что, в свою очередь, – это второй случай, – может являться основной причиной неспособности обеспечить адекватный уход. Третий случай связан с враждебными и агрессивными импульсами, исходящими от лица, предоставляющего уход, в силу тех или других причин. Четвертый случай может быть связан с неудовлетворительными условиями проживания, неадекватным применением лекарств, недостаточно разработанными стандартами в социальной работе, окружающей обстановкой, которая может быть опасна для пожилых, социальным поведением, являющимся причиной страха, и неадекватными социальными контактами. Отсюда и разработка необходимых мер в предотвращении геронтологического эбьюзинга.

Первый шаг таких действий должен предполагать временную изоляцию эбьюзера от эбьюзируемого пожилого лица в самых крайних неотложных случаях с институализацией последнего, когда не имеется других средств для обеспечения уменьшения стрессовой ситуации. Изоляция жертвы от эбьюзера имеет несколько преимуществ, среди которых можно назвать следующие: а) срочная (незамедлительная) защита жертвы от дальнейших посягательств со стороны эбьюзера; б) предоставление специальным службам возможности оказания необходимой помощи эбьюзированным лицам с оценкой и детальной разработкой ряда мер по предотвращению, а, возможно, искоренению отдельного случая или случаев геронтологического эбьюзинга. Такая поддержка может предоставить жертвам геронтологического эбьюзинга психологическую, медицинскую, финансовую, социальную помощь; в) разрядка интенсивно-эмоциональных взаимоотношений между эбьюзируемым и жертвой за счет временного прекращения контактных отношений; г) профессиональное наблюдение и корректировка действий всех заинтересованных служб за дальнейшими взаимодействиями между жертвой и эбьюзером; д) разработка образовательных программ как для эбьюзеров, так и для эбьюзируемых лиц.

Защита пожилых людей от жестокого, несправедливого отношения к ним нуждается не только в медицинском, психологическом, социальном обеспечении, но также и юридическом.

В этом случае нужно обратиться к Рекомендациям № R (85)4 Комитета Совета Европы по жестокости в семье, в частности к параграфам 11, 13, 17, касающимся юридических мер, и Рекомендациям № R (87)21 «Содействие жертвам и предотвращение жестокости». Эти рекомендации прямо относятся к изучаемой теме. «Желательно правительствам стран, входящим в Совет Европы, принять следующие меры по отношению к пострадавшим пожилым людям: а) безотлагательная помощь в случае необходимости; б) оказание медицинской, психологической, социальной и материальной помощи; в) совет, как предотвратить вероятное в будущем жестокое отношение; г) информирование о правах жертв геронтологического эбьюзинга; д) помощь и содействие во время судебного процесса; е) содействие в получении компенсации за причиненный ущерб от нарушителя; обеспечение выплат от страховых компаний или других агентств; помощь в получении компенсации от государства» [5, с.21].

Учитывая вышестоящие предложения, нам следует предпринять следующие шаги, направленные на эффективную защиту лиц пожилого возраста от геронтологического эбьюзинга. Таким шагом будет являться разработка статьи в гражданском законодательстве, обязывающей социальных работников, работников медицинской службы, а также всех других лиц, имеющих непосредственный контакт с лицами пожилого возраста, незамедлительно сообщать о всех фактах проявления геронтологического эбьюзинга.

При этом заявления, поданные медицинским персоналом по поводу обнаруженных фактах жестокого обращения с лицами пожилого возраста, правоохранительными органами должны рассматриваться как наиболее ценные, поскольку первая задокументированность последствий жестокого обращения должна учитываться при определении степени наказания и ответственности лиц, совершивших тот или иной вид насилия. Данные сообщения могут быть сделаны в устной или письменной формах, лично или посредством различных вспомо-

гательных средств (по телефону, факсом, электронной почте и т.д.). Допускается также и анонимность заявителя. Хотя последнее может затруднить процесс расследования.

На социального работника отдела социального обеспечения в основном возлагаются подготовительная работа и контрольная функция. Им после получения сообщения о фактах геронтологического эбьюзинга начинается сбор необходимой информации, которая должна включать: а) имя, адрес и возраст эбьюзируемого лица; б) имя, адрес и возраст эбьюзера; в) выявление природы возникновения любых травм, полученных в результате жестокого обращения, психологического состояния эбьюзируемого лица или описание типа геронтологического эбьюзинга, под воздействием которого оказалось лицо пожилого возраста; г) любая другая дополнительная информация, имеющая непосредственное отношение к фактам геронтологического эбьюзинга.

Эти документы совместно с заключением медицинского работника подаются в специально организованный для этих целей отдел по борьбе с жестоким обращением при УВД области, города, района или какого-либо населенного пункта в месте проживания эбьюзируемого лица, где специальной комиссией проверяются данные факты. В течение последующих пяти дней ответственным работникам данного отдела необходимо уведомить представителей отдела социального обеспечения о мерах, предпринятых в ходе расследования по тому или иному факту геронтологического эбьюзинга.

В процессе изучения, исследования и подтверждения полученных данных проводится опрос лиц, подвергшихся геронтологическому эбьюзингу, а также всех, кто имел на момент совершения акта или актов насилия, какую-либо информацию. Показания других участников-очевидцев случая или случаев геронтологического эбьюзинга – родственников, медицинских работников, соседей, знакомых эбьюзируемого лица – могут обеспечить социального работника ценными данными, позволяющими установить достоверность фактов, указанных в заявлении. Особую значимость могут иметь сведения, полученные от самого эбьюзируемого лица, с которым следует проводить беседу только социальному работнику, работающему в течение определенного времени в близком с ним контакте, так как в этом случае эбьюзируемый мог бы в откровенной обстановке предоставить все сведения, касающиеся проявлений геронтологического эбьюзинга. В том случае, если социальный работник заключает, что факты, изложенные в заявлении, не соответствуют действительности или существует слишком мало информации для того, чтобы утверждать, что факт насилия действительно имел место, то данный случай определяется как неподтвержденный, и данное дело может быть закрыто за отсутствием улик. Однако при этом все же необходимо принять во внимание, что данный факт должен быть под постоянным контролем в течение определенного времени для того, чтоб проследить дальнейшую динамику взаимоотношений между эбьюзером и эбьюзируемым.

В случае подтверждения ранее полученной информации о проявлении жестокого обращения к лицам пожилого возраста ответственные сотрудники департамента социального обслуживания могут сделать как устное, так и письменное заявление в отдел по борьбе с жестоким обращением, специально организованный для решения этих вопросов. Дальнейшее расследование должно быть проведено в соответствии с существующим на данный момент Уголовным и Гражданским кодексами РФ с момента поступления сообщения. Так, например, социальные службы и правоохранительные органы, ответственные за расследование полученных данных, должны изучить и проверить информацию в самый кратчайший срок в случае проявления физического геронтологического эбьюзинга.

Возраст эбьюзируемого лица и степень опасности для него являются приоритетными факторами в процессе проведения расследования, исходя из общего контекста ситуации. Оценка риска должна производиться с участием следующих основных условий: общее состояние здоровья до совершения эбьюзинга и после его; динамика взаимоотношений жертвы с эбьюзером; его отношение к совершенному инциденту; оценка уровня физических, умственных и психологических способностей, необходимых для противостояния эбьюзеру. Со-

циальному работнику необходимо в ходе проведения расследования определить степень угрозы потенциального вреда для пожилого человека, характер предыдущих случаев геронтологического эбьюзинга, если они имели место. Отметить, если ли склонности у эбьюзера к применению наркотических и других средств, вызывающих агрессивные действия, что может служить, в свою очередь, существенным показателем высокой степени риска всплеска насилия для данной категории населения.

Проведение опроса социальным работником является одной из самых сложных задач в ходе расследования. Социальный работник не только должен хорошо владеть техникой проведения интервью, но должен обладать рядом качеств: к беседе должен быть подготовлен заранее, интервью вести в спокойном тоне, учитывая, что перед ним могут оказаться люди различного жизненного опыта, уровня знаний, образования, при получении информации следует избегать прямых и открытых вопросов.

В том случае, если дело передается в судебные инстанции, то, с согласия пострадавшего от геронтологического эбьюзинга, он может быть временно изолирован в целях его безопасности. А сам эбьюзер должен быть подвергнут санкциям судебных органов, если на это есть основания, согласно закону «О мерах социально-правовой защиты лиц пожилого возраста от геронтологического эбьюзинга», который предстоит принять на самом высшем уровне законодательной власти.

Данный закон призван предоставить максимальную защиту лицам пожилого возраста от геронтологического эбьюзинга в рамках действующего законодательства Российской Федерации. После его принятия необходимо ввести меры по обеспечению выполнения указанных в законе норм соответствующими государственными органами при содействии социальных партнеров – неправительственных и общественных организаций, а также и граждан. Кроме того, настоящий закон должен, кроме регулирования отношений в области социально-правовой защиты пострадавших от геронтологического эбьюзинга, определить профилактические мероприятия по предупреждению проявлений актов насилия. Главной целью принятия закона должно быть создание социально-правовой системы охраны жизни пожилого человека, его здоровья, предоставление пострадавшему защиты от проявлений насилия, основанной на соблюдении международных стандартов в области прав человека.

Данный закон также должен учитывать определенные моменты, используемые в международной юридической практике. Так, например, в Норвегии Уголовный кодекс (Акт № 10 от 22 мая 1902 г., модифицированный в 1988 г.) определил действия полиции в случае жестокого обращения, имеющей право начать расследование без согласия пострадавшего или свидетелей. Согласия жертвы не требуется для начала государственного преследования в следующих случаях: а) когда уголовное преступление приводит к чьей-либо смерти; б) когда преступление совершено против бывшего или настоящего супруга/супруги или сожителя; в) когда преступление совершено против родственников по прямой восходящей или нисходящей линии; д) когда судебное преследование необходимо в общественных интересах. А в Италии Уголовный кодекс, как и в Норвегии, Дании, содержит ряд статей, определяющих наказание от шести месяцев до пяти лет в случаях, когда старого человека, нуждающегося в уходе, оставляют без помощи [5, с.25].

Итак, нами были предложены некоторые меры, направленные на предотвращение, а возможно, и на искоренение актов геронтологического эбьюзинга. Однако для формирования обоснованной социальной политики и разработки корректировочных и профилактических стратегий и программ необходимо расширить соответствующую научную базу. Предстоит также решить и методологические проблемы: сформулировать достоверные, обоснованные и емкие определения геронтологического эбьюзинга; выявить этиологию и последствия геронтологического эбьюзинга в различных условиях; провести целенаправленные качественные аналитические исследования, нацеленные на выявление причинных аспектов геронтологического эбьюзинга, документально зафиксировать данные о распространенности фактов геронтологического эбьюзинга.

Расширение представлений о характере и масштабах явления геронтологического эбьюзинга может способствовать повышению информированности общественности, эффективному распознаванию и регистрации случаев геронтологического эбьюзинга и принятию своевременных и надлежащих мер реагирования. Конкретные организации, тесно связанные с проблемами положения пожилых людей, могут улучшить свою работу, благодаря организации специализированной подготовки, посвященной проблемам динамики проявления геронтологического эбьюзинга, его диагностики, корректировочным мерам, лечению и направлению нуждающихся в соответствующие учреждения.

Такая модель социальной защиты от геронтологического эбьюзинга должна включать как вопросы разграничения функций между управленческими уровнями, создание делового оптимального вертикального и горизонтального взаимодействия между субъектами управления, так и создание вполне конкретной программы предотвращения и преодоления этого вида насилия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lougman Dictionary of Contemporary English: Lougman Addison Wesley Group LTD, 1978. 490 p.
2. Мюллер В.К. Новый англо-русский словарь / В.К. Мюллер. М.: Рус. яз., 2002. 880 с.
3. Walker L. Psychology and Domestic Violence around the World / L. Walker // American psychologist: APA, 1999, January. P. 27-37.
4. Пучков П.В. Социологическая интерпретация геронтологического эбьюзинга / П.В. Пучков. Саратов: СГТУ, 2005. 200 с.
5. Краснова О.В. Жестокое отношение к пожилым людям (Реферативный обзор исследования «Violence against elderly people») / О.В. Краснова // Психология зрелости и старения. 1998. № 2. С. 19-28.

**Пучков Павел Васильевич** –

докторант кафедры «Социология»

Саратовского государственного технического университета

УДК 316.42:35

**А.Ю. Слепухин, Л.С. Костюченко**

#### **БОЛОНСКИЙ ПРОЦЕСС: ЕСТЬ ЛИ РЕАЛЬНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА?**

*В статье представлена история интеграции национальных систем образования европейских стран за последние 25 лет. Анализируются основные принципы Болонской декларации, роль и место российской высшей школы в Болонском процессе.*

**A.Yu. Slepukhin, L.S. Kostyuchenko**

#### **THE BOLOGNA PROCESS: IS THERE ANY ALTERNATIVE?**

*The article presents the history of integration of national educational systems of European countries during last 25 years. The main principles of the Bologna declaration are analyzed and the place of Russian Higher School in Bologna process is discussed.*

## Введение

Глобализация, все более охватывающая различные сферы экономической, социальной и информационной жизни общества, не может не влиять на развитие системы высшего образования. В рыночной экономике знания превращаются в товар и поэтому в современных условиях между развитыми странами обостряется конкурентная борьба за место на мировом рынке образовательных услуг. В настоящее время на этом рынке доминируют США с ежегодным доходом в 12-14 млрд. долларов. Образование – пятая по значимости статья экспорта американской экономики. Для сравнения: на Россию приходится менее 0,5% мирового рынка образовательных услуг, оцениваемого в 90 млрд. долларов в год.

Европа в настоящее время проигрывает США в этой конкурентной борьбе. Для преодоления отставания политические круги и академическая общественность наиболее развитых европейских стран в восьмидесятые и девяностые годы прошлого столетия инициировали процесс, который в настоящее время получил название Болонского. Болонский процесс не ограничивается задачами только высшего образования. Он является одной из многих форм глобализации, например, таких, как мировой рынок, транснациональные компании, Интернет, мировой терроризм и т.п. Высшее образование, которое является одной из главных сфер национальной идентичности, также все более интернационализируется [1].

Подписанию Болонской декларации предшествовало значительное число важных событий в жизни Европы, стимулировавших интеграционные процессы в сфере образования. В 1988 г. в Болонье на конференции ректоров европейских вузов была принята Всеобщая хартия университетов (Magna Charta Universitatum) [2], в которой подчеркивалась их особая роль как центров культуры, знания и исследований, способных обеспечить необходимую динамику создания европейского образовательного пространства. Важным шагом на пути дальнейшего сближения национальных систем образования европейских стран явилось принятие в 1997 г. в Лиссабоне конвенции «О признании квалификаций, относящихся к высшему образованию в Европейском регионе» [3]. Этот документ стал основой для взаимодействия между европейскими странами в сфере образования. В 1998 г. в Париже последовало подписание министрами Великобритании, Германии, Италии и Франции совместной декларации по гармонизации архитектуры европейской системы высшего образования – Сорбоннской декларации [4], стимулировавшей создание общего европейского образовательного пространства на основе положений Лиссабонской конвенции.

Тем самым была подготовлена почва для принятия в 1999 г. Болонской декларации [5], под которой первоначально поставили свои подписи руководители образовательных систем 29 стран Европы. За прошедшие годы число стран-участниц увеличилось до сорока пяти. Таким образом, этот проект ЕС стал действительно панъевропейским.

### Основные принципы формирования европейской системы высшего образования

Первоначально в Болонской декларации были поставлены шесть целей:

- понятность высшего образования, т.е. содействие трудоустройству студентов и увеличению конкурентоспособности европейского образования (выдача единых Приложений к диплому – Diploma Supplement – об академической квалификации учащегося);
- введение двухуровневого высшего образования (бакалавр/магистр) с первым циклом не менее трех лет;
- внедрение системы зачетных единиц (кредитов) как средства поддержки студенческой мобильности внутри Европы;
- обеспечение качества образования с целью разработки сопоставимых критериев и методологий;
- расширение мобильности студентов и преподавателей, научных сотрудников, административного персонала вузов;

– формирование европейского подхода к развитию высшего образования.

Главной задачей Болонского процесса является создание в Европе конкурентоспособной и динамичной экономики, основанной на знаниях и способной обеспечивать устойчивый экономический рост, увеличить количество рабочих мест, обеспечить большую социальную сплоченность и, в конечном счете, противостоять глобальной экспансии американского капитала.

Большая часть мероприятий в рамках Болонского процесса происходит при поддержке со стороны ЮНЕСКО, Евросоюза и Еврокомиссии с широким вовлечением университетской общественности, профессиональных сообществ и студенческих организаций. Болонские идеи получили свое дальнейшее развитие в следующих новых международных документах:

– Коммюнике «К европейскому пространству высшего образования» [6] совещания министров образования европейских стран (Прага, 2001);

– Коммюнике «Реализуя европейское пространство высшего образования» [7] конференции европейских министров, отвечающих за высшее образование (Берлин, 2003);

– Коммюнике «Европейское пространство высшего образования. Достижение целей» [8] конференции европейских министров, отвечающих за образование (Берлин, 2005).

Вышеперечисленные встречи проводились с целью мониторинга выполнения Болонских задач, их корректировки и выбора первоочередных приоритетов. В качестве последних добавились такие вопросы, как усиление интеграции образования и науки, ответственность вузов за повышение социальной сплоченности общества, открытость Европы для остального мира, важность обучения в течение всей жизни.

Последнее совещание министров, отвечающих за высшее образование в странах-участницах Болонского процесса, которое состоялось в мае 2005 г. в норвежском городе Бергене, подтвердило готовность координировать политику этих стран по созданию европейского пространства высшего образования (ЕПВО) к 2010 году. В Коммюнике подчеркивается «ведущая роль учреждений высшего образования, их сотрудников и студентов как партнеров в Болонском процессе» [8], отмечается широкое внедрение двухуровневой системы, в рамках которой обучается уже более половины студентов в большинстве стран. При этом, однако, «сохраняется необходимость расширения диалога между правительствами, учреждениями и социальными партнерами с целью повышения возможностей трудоустройства выпускников с квалификацией бакалавра, включая соответствующие должности в общественном секторе» [8]. Министры отметили, что практически все страны создали условия для системы обеспечения качества образования, основанной на Болонских критериях. Европейская сеть обеспечения качества (ENQA) разработала стандарты и общие принципы обеспечения качества на всем европейском пространстве. Министры обязались ввести в действие на этой основе модель взаимной оценки качества на национальном уровне.

В качестве приоритетов на последующие два года подчеркивается важность взаимообогащающей связи образования и научных исследований для реализации роли высшего образования в культурном развитии общества и его социальной сплоченности. В этой связи должно быть пересмотрено место докторантуры в структуре высшего образования. Предложено рассматривать докторантуру как третий цикл (уровень) обучения к общим квалификационным рамкам единого ЕПВО. Рабочей группе по мониторингу Болонского процесса поручено к 2007 г. подготовить доклад о дальнейшем развитии основных принципов реализации программы докторантуры. При этом было отмечено, что необходимо избегать избыточного регулирования этих программ.

В заключение в Коммюнике отмечается, что ЕПВО должно стать открытым и привлекательным для всех регионов мира. Министры подтвердили свою приверженность цели обеспечения равной доступности качественного высшего образования для всех и создания соответствующих условий для студентов, включая государственную финансовую и экономическую помощь, особенно студентам из социально неблагополучных групп населения.



Таким образом, вышеприведенные документы Болонского процесса свидетельствуют, что основной мотивацией этого процесса является глобальная конкуренция на мировом рынке образовательных услуг. Поэтому Болонский процесс следует рассматривать не как внутриевропейское явление, а как часть более широкого процесса, а именно, как ответ Европы на вызовы глобализации. Это будет способствовать повышению конкурентоспособности не только системы высшего образования, но и всей европейской экономики в целом, а также развитию и укреплению демократических основ развития общества, что крайне важно для постсоциалистических стран.

Настоятельная необходимость перемен подтверждается еще двумя европейскими документами, опубликованными в 2003 г.: национальным отчетом Великобритании «Будущее высшего образования» [9] и международным отчетом, подготовленным Европейской комиссией, «Роль университетов в Европе знаний» [10].

В английском отчете отмечается, что наряду с очевидными успехами британской системы образования назрела необходимость решения серьезных проблем, стоящих перед учреждениями высшего профессионального образования. Особо подчеркивается главенствующая роль образования для повышения благосостояния нации. Университетам необходимо еще шире развивать связи с производством и экономикой в целом. Отмечается важность внедрения научных разработок в производство, развитие инновационной деятельности. В результате вузы должны стать более автономными, открытыми и финансово независимыми.

В документе Европейской комиссии, под руководством которой происходит модернизация образовательного пространства стран ЕС и других государств, подписавших Болонскую декларацию, подчеркивается, что европейская система образования не вполне отвечает требованиям конкурентоспособности на мировом рынке. Для преодоления отставания намечены шесть направлений деятельности:

- ✓ создание условий для получения вузами постоянных доходов и их эффективного использования;
- ✓ повышение автономности и профессионализма в академических и управленческих делах;
- ✓ создание условий для повышения качества образования;
- ✓ ориентация вузов на вклад в местное и региональное развитие;
- ✓ установление более тесных связей вуз – предприятие с целью распространения, внедрения и использования новых знаний в экономике и обществе;
- ✓ создание единого и открытого европейского образовательного пространства.

В обоих документах прослеживается сходство как в осознании проблем, так и в методах их разрешения. Перед высшим профессиональным образованием ставится одинаковая задача – подготовка высококвалифицированных кадров и участие в создании конкурентоспособных экономик, основанных на знаниях. Вузы представляются в качестве решающих факторов изменений, которые в конечном счете должны привести к увеличению занятости населения во всех сферах производства и росту национального благосостояния. Для многих вузов это будет означать отход от традиционной к более разнообразным моделям по организации, управлению и миссии. В документах отмечается, что многообразие моделей должно привести к повышению конкурентоспособности европейского образования на мировом рынке. Поэтому часть вузов будет выбирать модель преобразования в транснациональные как один из возможных путей развития в будущем [1].

Болонский процесс как любой интеграционный процесс ведет к гармонизации национальных систем высшего образования, т.е. к расширению соответствия, совместимости и прозрачности основных характеризующих его параметров (учебные планы, степени, качество образования, кредиты и т.п.). Однако во всех документах Болонского процесса подчеркивается, что гармонизация должна обязательно сочетаться с сохранением и уважением

культурных и академических традиций различных стран. В Сорбоннской декларации 1998 г. прямо говорится, что «национальные идентичности и общие интересы могут взаимодействовать и подпитывать друг друга». Автономность университетов должна стать основным фактором противодействия механической гомогенизации высшего образования в этой интеграции. Сохранение тотального административного и финансового контроля вузов и избыточное регулирование со стороны государственных органов приведет к тому, что задачи Болонского процесса останутся нереализованными.

### **Инженерное образование в свете болонских реформ**

В рамках Болонского процесса инженерное образование имеет свои особенности.

Европейская академическая и научная общественность, используя различные ассоциации и сети (например, Европейское общество инженерного образования, SEFI, объединяющее более 250 технических университетов в 38 странах) постоянно организует дискуссии и проводит конференции и семинары для того, чтобы выработать согласованную позицию по внедрению болонских принципов в инженерное образование и ознакомить с этими результатами общественность и политические круги стран ЕС. Эта позиция в отношении основных положений Болонской декларации выглядит следующим образом (см., напр., [11]).

#### *Система бакалавр/магистр в инженерном образовании*

Стандартной моделью признается модель 3 + 2. Однако, она не должна исключать другие возможные траектории обучения: 4 + 2, 4 + 1 или объединенный пятилетний учебный план. По окончании двухциклового обучения должны быть устранены все препятствия для свободной мобильности студентов внутри стран Европейского Союза.

#### *Степень доктора философии в технических науках*

В технических областях науки подготовка докторских диссертаций должна стать основным источником инноваций и нового знания. Каждый университет свободен в разработке содержания и формата докторских программ, но во всех программах основной упор должен делаться на научные исследования. Диссертация должны укреплять связь академических учреждений с промышленностью.

Выпускники докторантуры должны быть способны создавать технологические инновации, разрабатывать новые курсы и устанавливать связи между академической наукой и инновациями в бизнесе, промышленности и управлении.

#### *Программа двойных и объединенных дипломов и степеней*

Главной целью технического образования в контексте Болонского процесса является международное академическое и профессиональное признание инженерных степеней и дипломов. Ускорить этот процесс должны программы двойных и объединенных дипломов и степеней. В этой связи необходимым является введение механизма европейского Приложения к диплому (Diploma Supplement), который позволит сделать академические степени более прозрачными и понятными для сравнения.

#### *Дальнейшее развитие системы академических кредитов (ECTS)*

Кредиты (зачетные единицы) ECTS являются в основном мерой нагрузки и средством планирования. В инженерном образовании набор компетенций (навыков), полученный в результате освоения учебной программы, не является простой суммой кредитов изученных частей курса. Дисциплины учебных программ инженерного образования должны определяться в терминах результата учебной деятельности, т.е. компетенций, а не учебной нагрузки, т.е. часов. Поэтому система кредитов нуждается в дальнейшем совершенствовании.

Для подготовки докторов наук применение системы ECTS не обязательно, т.к. это в основном индивидуальная подготовка с различным начальным уровнем навыков и знаний.

#### *Контроль качества, вопросы аккредитации и автономии*

Процедуры оценки качества и аккредитации инженерных образовательных программ должны основываться на результатах обучения, т.е. на квалификации, навыках и полученных знаниях. Рекомендуется, чтобы системы управления качеством и оценки качества были как можно более децентрализованными. И в первую очередь они не должны ложиться дополнительным бременем на преподавателей и администраторов. Академическое признание инженерных образовательных программ в Европе должно иметь некоторые общие характеристические черты. Одной из возможностей могла бы быть, например, процедура самооценки, в которой индикаторы качества определялись бы внешними экспертными организациями, в том числе из инженерных профессиональных сообществ.

Рекомендовано создать общеевропейскую организацию для академического признания и профессиональной аккредитации, которая бы разработала рамочное европейское руководство в сотрудничестве с аналогичными национальными организациями.

### **Российское высшее образование и болонские реалии**

Россия, вступившая в Болонский процесс в 2003 г. на Берлинской встрече министров образования стран ЕС, должна принимать активное участие в этом общеевропейском процессе и развивать российское законодательство в направлении как сохранения фундаментального характера образовательных программ российской высшей школы, так и создания новой системы контроля качества и аттестации в сфере высшего образования. Вхождение России в единое образовательное пространство не только является очередным шагом в процессе общеевропейской интеграции, но также отвечает внутренней потребности российского рынка образовательных услуг. В этом процессе ожидается повышение автономии вузов как самостоятельных субъектов образовательного пространства, мобильности студентов и преподавателей, развитие студенческого самоуправления, вовлечение и широкое участие студентов во всех аспектах жизни высшей школы.

Различные точки зрения по вопросу российского участия в Болонском процессе проанализированы в работе В.И. Байденко [12]. Автор выделяет четыре группы мнений. Сторонники первой точки зрения склонны связывать с этим весьма быстрый положительный эффект для отечественной высшей школы. Вторая точка зрения изобилует мрачными эмоциональными высказываниями типа «болонизация» и «болонкизация» российской высшей школы, предупреждает о «роковых» последствиях для России, снижении традиционно высоких качественных параметров высшего образования, утрате его главного достоинства – фундаментальности, ослаблении конкурентоспособности наших вузов на европейском и мировом образовательном рынках. Третья точка зрения, наряду с признанием очевидных достоинств российского высшего образования, признает потребность более тесной интеграции с европейской системой высшей школы в процессе построения общего экономического, социального и в том числе образовательного пространства. Четвертая точка зрения склоняется к тому, что Болонский процесс никак нельзя назвать реформой, поскольку структурные и содержательные преобразования высшей школы в странах Запада были начаты в 70-80-е годы и практически завершены в 90-е годы XX века. Однако речь идет о синхронизации преобразований и сведении их к единому направлению. На наш взгляд, мотивами вуза для участия в Болонском процессе могли бы быть следующие перспективы:

1. Модернизация учебных планов в сравнении с передовыми западными аналогами.
2. Повышение квалификации профессорско-преподавательского состава через академическую мобильность.
3. Преодоление комплекса провинциального вуза через вхождение в мировое, и прежде всего, европейское образовательное пространство .

4. Повышение мотивации для изучения иностранных языков из-за возможности мобильности.

Вышеприведенные документы Болонского процесса, очевидно, не содержат ничего, что противоречило бы интересам развития российской системы высшего образования.

Существенную роль в современных условиях играет и экономический фактор: международная образовательная деятельность становится существенным элементом финансового благополучия вуза, а в ряде случаев даже и элементом выживания. В то время, как по данным [10] численность студентов в странах Европейского Союза за последние двадцать пять лет удвоилась, а в некоторых странах (Греция, Испания, Ирландия, Финляндия, Португалия) даже утроилась, начиная с 1995 г. для большинства стран ЕС наблюдается устойчивая тенденция к снижению правительственных расходов на образование, например, в Великобритании – на 15%. Для ряда крупных западных университетов субсидии государства в развитие образовательных программ сократились до 50% и менее их совокупного годового дохода [13]. Поэтому получение доходов из внебюджетных источников, не связанных с государственной системой образования, для ряда университетов, которые не желают снижения своего рейтинга на рынке образовательных услуг, становится «главным бизнесом». Привлечение большего количества иностранных студентов, экспорт образовательных услуг вуза в другие регионы и страны путем открытия филиалов и развития систем дистанционного обучения могут послужить источником таких доходов. Перспективу развития данного вида образовательных услуг можно подтвердить следующими демографическими данными [13]: в Азиатско-Тихоокеанском регионе, например, к 2025 году число молодежи студенческого возраста возрастет с 17 до 87 млн. человек. Очевидно, что местные университеты и системы образования не смогут справиться с таким ростом. В Малайзии местные вузы удовлетворяют потребность в образовании только 6% населения. Аналогичная ситуация наблюдается в Китае (4%), Таиланде (4%) и других странах АТР. Следуя примеру Австралии и Новой Зеландии, Индия из страны-поставщика студентов за рубеж сама становится провайдером образовательных услуг для азиатских стран. Например, индийская корпорация Artech Worldwide, предоставляющая образовательные услуги в области информационных технологий, стремительно расширяет свое присутствие не только в странах АТР, но и в Европе. Открыты более 2500 учебных центров этой компании в 52 странах, число студентов превысило 3,5 млн. человек. Корпорация открыла собственный университет, в котором выпускники учебных центров Artech смогут получить высшее образование.

Появление в последние годы подобных транснациональных университетов (типичный пример – университет Monash в Австралии) можно рассматривать как следующую стадию в развитии вузов, которые пошли по пути интернационализации и получают значительный доход от иностранных студентов. Однако желание достичь максимальной прибыли не должно противоречить повышению качества образовательных услуг и научных исследований и стремлению к повышению своего академического рейтинга как вуза. Именно это должно отличать учреждения высшего образования от структур типичного доходного бизнеса. Кроме того, несмотря на значительную разницу в оплате за обучение между иностранными и «местными» студентами, реальные доходы не столь существенны, если учитывать дополнительные расходы вузов на маркетинг, рекламные материалы, связь, инвестиции в подготовку новых курсов, оборудование общежитий и т.п. Необходимо учитывать еще и тот факт, что работа на рынке образовательных услуг подвержена тем же рискам, что и международный бизнес: изменение иммиграционной политики, межгосударственные конфликты, отмена государственных субсидий для обучения за рубежом и т.п.

Несомненно, однако, что интернациональное обучение важно как для отечественных, так и для иностранных студентов, поскольку им предстоит жить и работать во все более глобализующемся мире. Создание интернациональной научно-образовательной среды в вузе – это не только дополнительные средства, но и в значительной степени свидетельство международного престижа образовательного учреждения.

С финансовой стороны интернационализация важна для вузов с точки зрения расширения и увеличения оборота денежных средств. Возрастание оборота и превращение в крупное образовательное учреждение за счет поступления внебюджетных средств позволит вузу осуществлять инвестиции в развитие ключевых областей, привлекать к преподаванию и научным исследованиям действительно крупных специалистов и ученых. Транснациональные университеты смогут легче отбирать наиболее талантливых и перспективных студентов из разных стран и готовить их к академической или научной работе в своих подразделениях.

### Заключение

Болонский процесс начался и его нельзя игнорировать, поскольку он уже является рабочей средой для европейского образовательного пространства и непосредственно влияет на экономическое, социальное и культурное развитие общества. Вне зависимости от мнений индивидуумов или организаций Россия должна приспособливаться к болонским реалиям и альтернатива может быть только одна: занимать активную позицию в разработке программных мероприятий с учетом национальных традиций и особенностей российской высшей школы, либо позиционировать свое участие лишь формально и фактически опять изолировать себя от мирового образовательного пространства. Пора перестать впадать в ностальгию по якобы превосходству отечественной высшей школы или, наоборот, опускать руки, сетуя на негативные тенденции перехода к рынку (непрозрачная коммерциализация, снижение качества, сокращения финансирования, технологическая и организационно-методическая застенчивость вузовской системы и т.д.).

Отказ от участия в Болонском процессе может привести к дальнейшей бюрократизации управления высшим образованием и в конечном счете к стагнации всех социальных реформ. С другой стороны, совершенно очевидно, что реформы должны проводиться с учетом национальных традиций российского образования и особенностей нашей экономики. Два факта хорошо иллюстрируют этот тезис. В настоящее время российская научная общественность высказалась за сохранение ученых степеней и кандидата, и доктора наук. Это, как считают большинство российских ученых, важно для сохранения научных школ. Все же требования, которые предъявляются у нас к доктору наук, значительно выше, чем к западному доктору философии. Наша система оправдала себя, и во многом, благодаря ей, отечественная фундаментальная наука сохранила свои позиции даже в трудные для науки времена.

Кадровые службы многих предприятий и фирм до сих пор не могут разобраться, что такое бакалавр или магистр, какие рабочие места могут занимать выпускники с такими дипломами. Подготовка по направлениям на двух уровнях в вузах существует уже много лет, но только 20 февраля 2002 года появился документ за подписью министра труда и социального развития, где впервые даны разъяснения о статусе и квалификации бакалавра и магистра. В результате, выпуская бакалавра (или магистра), мы ставим его перед серьезной проблемой трудоустройства. Риск оказаться без работы, имея непонятный для кадровиков диплом, весьма велик. Поэтому, ограничено вводя на факультете обучение по направлениям, мы вынуждены оставлять и обучение по специальности с выдачей «понятного» диплома специалиста. Отсюда и осторожное отношение абитуриентов (и их родителей) к программам бакалавриата. Молодые люди не очень охотно двигаются в сторону новых, незнакомых для них образовательных форм. Несинхронное развитие системы трудовых отношений и системы образования, к сожалению, не идет на пользу дела.

Участие России в Болонском процессе является не только образовательной проблемой, но и проблемой участия в европейском рынке труда. Поэтому в критерии качества должна быть заложена реальная конкурентоспособность выпускников российских вузов, то есть качество должно быть гарантированным. Положительные результаты участия российской высшей школы в Болонском процессе будут определяться конструктивной политикой федеральных органов управления образованием. Но важное значение имеет также и включение российских вузов в

этот процесс на институциональном уровне, а именно разработка совместных учебных программ с ведущими западными университетами с выдачей двойных дипломов, организация стажировок студентов, аспирантов и преподавателей, проведение совместных научных и методических конференций и семинаров, включение в процессы оценки качества учебных программ через международные стандарты и профессиональные ассоциации.

Международная академическая мобильность уже стала свершившимся фактом и ее нельзя игнорировать. Цели и задачи Болонского процесса являются индикаторами тенденций глобализации, оказывающих влияние на Россию вне зависимости от субъективных желаний. Знания становятся высокодоходным и быстроразвивающимся сектором экономики. Российское высшее образование в этом вопросе сильно отстает от остального мира. Участие в болонских реформах могло бы стать одним из механизмов преодоления этого разрыва, что в конечном счете способствовало бы повышению международного статуса нашего государства на мировой арене. Хотелось бы надеяться, что через участие в Болонском процессе произойдет реальная реформа образования в нашей стране.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Слепухин А.Ю. Высшее образование в условиях глобализации: проблемы, противоречия, тенденции / А.Ю. Слепухин. М.: Форум, 2004. 408 с.
2. The Magna Charta Universitatum. Bologna, Italy, 18 September, 1988.
3. Convention on the Recognition of Qualifications concerning Higher Education in the European Region. Lisbon, Portugal, 11 April, 1997.
4. Sorbonne Joint Declaration on harmonization of the architecture of the European higher education system. Paris, France, 25 May 1998.
5. The European Higher Education Area. The Bologna Joint Declaration of the European Ministers of Education. Bologna, Italy, 19 June 1999.
6. Towards the European Higher Education Area: Communique of the meeting of European Ministers in charge of Higher Education. Prague, Czech Rep., 19 May 2001.
7. Realizing the European Higher Education Area. Communiqué of the Conference of Ministers responsible for Higher Education. Berlin, Germany, 18 September 2003.
8. The European Higher Education Area – Achieving the Goals. Communique of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education. Bergen, Norway, 19-20 May 2005.
9. The future of higher education. London: Dept. for Education and Skills, the Stationary office, 2003.
10. The role of the universities in the Europe of Knowledge. Brussels: European Commission, 2003.
11. Engineering Education and Research and the Bologna Process «On the Road to Bergen 2005». Second Joint communication of CESAER and SEFI on the Bologna Process. Belgium, March 2005.
12. Байденко В.И. Болонские реформы: некоторые уроки Европы / В.И. Байденко // Высшее образование сегодня. 2004. № 2. С. 14-15.
13. Лукичев Г.А. Проблема присоединения к Болонской декларации / Г.А. Лукичев // Вестник РОСРО. М.: ГУ ВШЭ, 2003. Вып. 8. С. 56-62.

**Слепухин Александр Юрьевич –**

доктор социологических наук,  
профессор кафедры «Социальная антропология и социальная работа»  
Саратовского государственного технического университета

**Костюченко Людмила Степановна –**

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

УДК 316.3:378

**А.Н. Тесленко**

### **ЦЕННОСТНЫЕ ОРИЕНТИРЫ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ФАКТОР СОЦИАЛИЗАЦИИ МОЛОДОГО СПЕЦИАЛИСТА**

*Образование рассматривается как одна из подсистем общественных отношений, являющихся естественным отражением многообразных социальных процессов транзитного общества. Проведенный анализ профессиональной подготовки показывает отсутствие целостной модели молодого специалиста, что сказывается на результате его социализации. Показано, что ценностные ориентиры образовательных программ высшей школы являются ведущим фактором профессиональной социализации специалиста.*

**A.N. Teslenko**

### **VALUE ORIENTATION OF EDUCATION AS A FACTOR OF YOUNG PROFESSIONAL SOCIALIZATION**

*Education is looked upon as one of the social connections brunches in this article and as a natural reflection of different social processes of a transiting society. Analysis of a professional training problem shows that in absence of integral specialist model of graduates, adversely affects young people socialization. Author shows the value orientations of high school's curriculum as one of the powerful factor of future specialist socialization.*

Образование как одна из подсистем общественных отношений является естественным отражением разнообразных социальных процессов транзитного состояния общества. Поэтому в условиях разрушения многих психосоциальных механизмов, обеспечивающих эмоциональную устойчивость общественной жизни, с одной стороны, и реформирования и усложнения задач, решаемых в период трансформирования общества – с другой, встает со всей остротой проблема социализации личности, ее ценностного ориентирования в духе демократического общежития, рыночной экономики.

Анализ проблемы подготовки молодых специалистов разного уровня свидетельствует, что отсутствие целостной модели специалиста сказывается на процессе его социализации. Ибо, без соответствующей интериоризации гуманистических ценностей как на рациональном, так и эмоциональном уровне не может быть полноценного в профессиональном отношении работника. Цель данной статьи: раскрыть ценностные ориентиры образовательного процесса вузов, готовящих специалистов для различных отраслей экономики, как одного из мощнейших факторов социализации будущего работника.

В XXI веке процессы глобализации, мультикультурное общество, стремительный экономический, научно-технический прогресс предъявляют новые требования к образова-

нию (в первую очередь проявлять заботу о расширении возможностей для повышения образовательного уровня в профессиональной сфере). Традиционно дидактико-методическая композиция сферы образования определяется такими элементами как:

- обучение (базовое, профессиональное);
- поддержание и повышение квалификации специалистов.

*Обучение* – это последовательный процесс формирования знаний, умений и навыков, который опирается на соответствующие учебные курсы по дисциплинам, разбитые на лекции, семинары, практические и лабораторные занятия и т.п., а также:

- использует, в основном, планирование обучения для группы студентов;
- применяет промежуточный и завершающий контроль (экзамены);
- имеет достаточно большой срок обучения.

*Поддержание и повышение квалификации специалистов* предполагает:

- определение пробелов в подготовке каждого специалиста;
- проведение восстанавливающего обучения с индивидуальным планированием обучения;
- первоначальную подготовку специалиста;
- обучение новым технологиям;
- проведение тренировок по отработке действий в редко возникающих или кризисных ситуациях;
- осуществление обучения в сжатые сроки или без отрыва от служебной деятельности.

К сожалению, система знаний и социальных отношений достигла такого уровня сложности, что образовательная система стала жертвой трех бед: чрезмерное накопление знаний, анахронизм и неприспособленность к жизни. Погоня за количеством знаний во всех областях приводит к тому, что выпускник вуза не умеет отобрать нужного. Анахронизм в системе образования происходит из-за того, что высшая школа не успевает за постоянным обновлением, модернизацией знания. Неприспособленность системы образования к жизни ощущается всеми, как только молодые специалисты сталкиваются лицом к лицу с реальными проблемами. Если традиционно образование считалось делом обучения, то сегодня, а еще более в будущем, образование обозначает постоянный *процесс самообучения*.

Современная система образования должна совместить многообразие функций в реализации следующих целей:

- получение знаний;
- обучение преодолению нежелательных импульсов и деструктивного поведения;
- постоянное пробуждение личного творчества и способности воображения;
- обучение исполнению ответственных ролей жизни общества;
- обучение общению;
- развитие глобального взгляда на мир;
- тренировка операционности и способности к принятию решения [2, с.21].

Последние четыре пункта ранее совершенно игнорировались классическим образованием и наиболее ценны с точки зрения подготовки молодых специалистов, их социализации в условиях постоянно меняющегося рынка труда.

Правильно построенное содержание образования определяет важнейшие моменты в социализации демократического человека, который способен воспринимать разные точки зрения, может ставить проблемы, поднимать нерешенные вопросы и точно так же обладает профессиональной и мировоззренческой терпимостью. Существует и другая кардинальная проблема – предъявление обществу той стоимости, которую создает образование. Этот вопрос до настоящего времени не ставился, поскольку предполагает, с одной стороны, определенное общественное отношение к образованию, а, с другой стороны, отношение образования ко всем существующим системам практики. Именно образование сегодня является важнейшей технологией социализации и воспитания молодежи, ее подготовки к освоению но-



вых, отсутствующих сегодня в Казахстане профессий постиндустриальной эпохи. С этой точки зрения, следует рассматривать образование как интегральную составляющую социальной политики.

В основу профессиональной подготовки и социализации личности будущего специалиста должен быть положен системный личностно-деятельностный и индивидуально-творческий подход. С позиции *системного подхода* все звенья учебно-воспитательного процесса вуза должны максимально стимулировать активное состояние всех основных структурных компонентов личности студента в их единстве. Реализация *личностно-деятельностного подхода* предполагает моделирование в процессе профессионального обучения и воспитания студента характерных особенностей профессиональной деятельности. Индивидуально-творческий подход, преодолевая массово-репродуктивный характер современного образования, выводит его на личностный уровень, обеспечивает выявление и формирование у студентов творческой индивидуальности.

Процесс формирования личности в условиях вуза, на наш взгляд, может быть интегрирован как некая *стратегия (концепция)*, которая реализуется на следующих принципах:

- единство социально-нравственного, общекультурного и профессионального развития личности в рамках национальной программы гуманизации и гуманитаризации образования;
- учет важнейших тенденций развития и функционирования социума;
- фундаментализация образования во взаимосвязи с его практической направленностью;
- психолого-педагогическая модернизация профессиональной подготовки студентов;
- вариативность, динамичность изменений в содержании, формах и методах подготовки специалиста в соответствии с требованиями настоящего и прогнозами на будущее;
- гуманизация и демократизация учебно-воспитательного процесса, предполагающая развитие активности, инициативы и творчества участников педагогического процесса, внедрение различных форм самоуправления [3].

В соответствии с этими принципами необходимо пересмотреть содержание и технологию образования в вузе.

*Содержание образования* составляет массив учебной информации и алгоритмов формирования умений и навыков специалиста, получающих отражение в учебных программах. Оно должно обеспечивать органическое единство прикладных, фундаментальных и методологических знаний, составляющих основу профессионализма и общей культуры, широкой ориентации в подходах к постановке и решению новых проблем и задач.

Сегодня необходимо позаботиться о том, чтобы по своему содержанию профессиональная подготовка стала практическим человекознанием, только так можно привить гуманистические ценности и нормы культуры. Все достижения духовной сферы жизни должны создавать атмосферу обращенности к человеческой личности, проникать во все структуры учебно-воспитательного процесса, обеспечивать его ориентацию на гуманитарно-личностное развитие будущих специалистов [4].

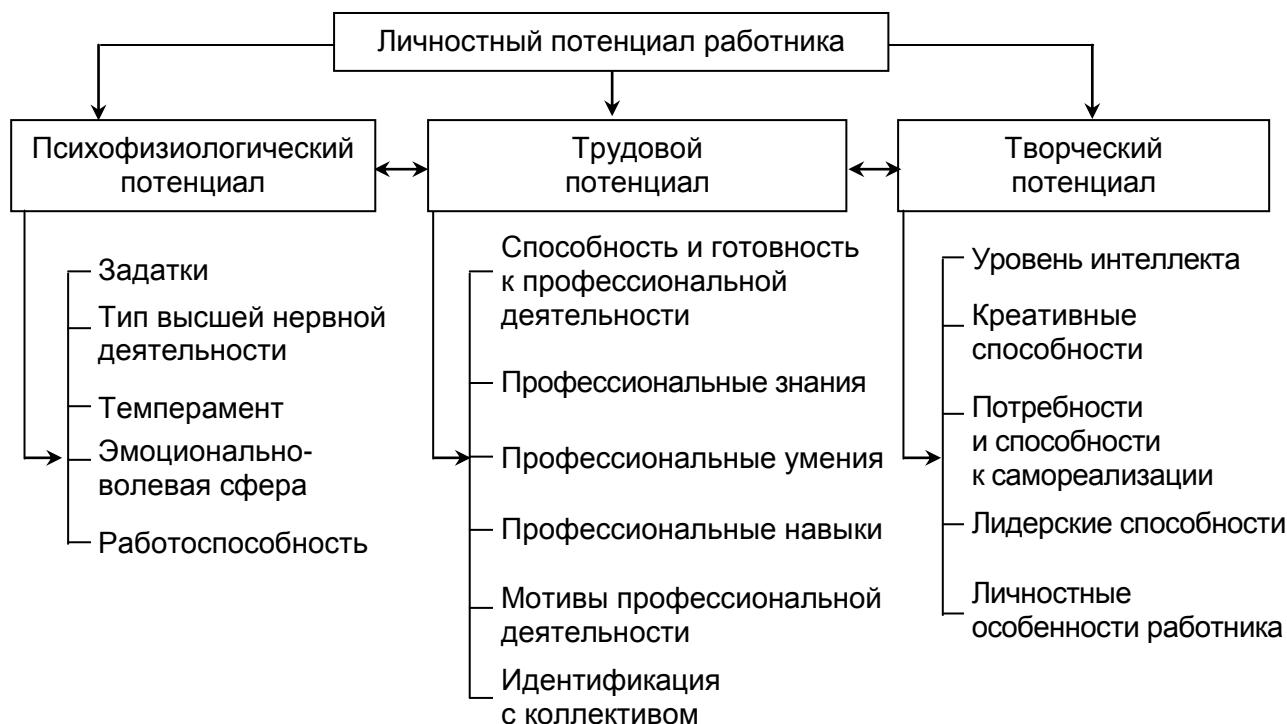
Непременным условием социализации личности является опыт деятельности в демократически организованном процессе обучения и воспитания, отказ от традиционной структуры взаимодействия преподавателей и студентов. *Инновационные образовательные технологии* предусматривают установление педагогически целесообразных взаимодействий субъектов образовательного процесса, отбор и применение стимулирующих самостоятельность студентов активных форм и методов профессиональной подготовки, регулирование процесса взаимодействия средствами познания и самопознания, организации и самоорганизации, контроля и самоконтроля. Такого рода взаимоотношения складываются на основе самостоятельности студентов и добровольности признания ими стимулирующей роли преподавателя, которое проявляется в стремлении учиться у него, общаться с ним, подражать ему.

Большими возможностями располагает *диалогизация педагогического процесса*, которая требует преобразования суперпозиции преподавателя к подчиняющей позиции студента в равноправные позиции сотрудничающих людей. Такое преобразование связано с тем, что преподаватель не только учит и воспитывает, но и стимулирует, актуализирует стремление студента к общему и профессиональному развитию, создает условия для его самостоятельного движения в этом направлении.

Требует принципиального решения и *культурологическая составляющая* подготовки студентов как фактор социализации личности. В частности, необходима большая работа по формированию читательских интересов молодежи, пропаганда лучших образцов классической и современной музыки, киноискусства и т.п. Многого предстоит в этой связи сделать для создания в вузе соответствующей социокультурной среды.

Необходимо отметить, что возможность реализации вышеуказанных целей, главным образом, зависит от *модели специалиста*, динамически отслеживающей изменяющиеся требования общества к содержанию и уровню подготовки. Одним из главных результатов социально-психологического анализа системы профессиональной подготовки должно явиться создание профессиограммы будущего работника, отражающей собой комплексное видение основных сторон этой деятельности, а также личностных качеств, которые в ней реализуются [1, с.23]. В основе любой профессиограммы лежит целостная система энергетических свойств личности, формирующих его деятельностьную позицию, и самореализации, то, что психологи называют *личностным потенциалом* [5]. На наш взгляд, структура личностного потенциала молодого специалиста состоит из трех основных элементов: психофизиологического, трудового (профессионального) и творческого (творческого) потенциалов (см. рисунок).

*Психофизиологический потенциал* работника определяется психологическими и физическими возможностями, в основе которых лежат врожденные (генетические) задатки, которые при благоприятных условиях могут развиваться в способности личности (общие, специальные, практические). Работоспособность в этом плане является важнейшей из практических способностей, ее психофизиологический механизм определяется типом высшей нервной деятельности личности, темпераментом, эмоционально-волевой сферой и детерминирован действием таких социальных механизмов, как социализация и воспитание.



## Личностный потенциал молодого специалиста

*Трудовой потенциал* работника представляет собой совокупность профессиональных знаний, умений и навыков, необходимых для эффективной работы в выбранной профессии. Профессиональная деятельность включает в себя следующие стороны: социальную, поисковую, реконструктивную, коммуникативную, организационную и удостоверительную. Поэтому главным критерием данного потенциала является профессиональная компетенция специалиста, складывающаяся из его профессиональных знаний, умений и навыков. Уровень использования служебного потенциала конкретного работника определяется также структурой мотивов его трудовой деятельности: без удовлетворения первичных потребностей, выраженных в достаточной заработной плате, комфортных условиях труда и т.д. реализация вторичных (самореализация и др.) не возможна. Наконец, степень актуализации трудового потенциала специалиста во многом определяется уровнем его идентификации с коллективом, с системой власти в целом.

Основу *творческого потенциала* составляют креативные способности. Они понимаются как способность генерировать, отклоняться от традиционных схем мышления, быстро решать проблемные ситуации, т.е. непосредственно связаны с такими психологическими явлениями, как воображение, интуиция, неосознанные компоненты умственной деятельности. Существенным моментом является увлеченность своей работой, состояние вдохновения (подъема и напряжения духовных сил человека).

Таким образом, уровень развития личностного потенциала работника, так же как и степень соответствующей ему эффективности служебной деятельности, зависит не столько от какого-либо одного элемента, сколько от способа их интеграции, внутренней сбалансированности всех элементов, ставящих его на качественно новую ступень социализации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.Л. Юридическая психология / В.Л. Васильев. СПб.: Питер, 1999. 320 с.
2. Кинг А. Первая глобальная революция: Доклад Римского клуба / А. Кинг, Б. Шнайдер // Радикал. 1991. № 51-52. С. 42-48.
3. Концепция гуманитарного образования в Республике Казахстан. Алматы, 1994. 18 с.
4. Тесленко А.Н. Социализация молодежи: смена парадигм / А.Н. Тесленко. Астана: ЕНУ, НИЦ «Евразийство», 2002. 132 с.
5. Шуванов В.И. Социальная психология менеджмента / В.И. Шуванов. М.: Интел-синтез, 1997. 280 с.

**Тесленко Александр Николаевич –**

кандидат педагогических наук,  
заведующий кафедрой «Социально-гуманитарные дисциплины»  
Института управления (г. Астана, Республика Казахстан)

**А.Я. Щукина**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЫНОЧНОГО МЕХАНИЗМА ОХРАНЫ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Представлены результаты теоретического обоснования рыночного механизма охраны окружающей природной среды, исходящего из придания ассимиляционным возможностям природы имущественной ценности. Право на нее можно получить путем приобретения ценных бумаг-акций, как разрешений (лицензий) на загрязнение водных объектов в определенных пределах и как объекта купли-продажи.*

**A.J. Shchukina**

## **THEORETICAL PRINCIPLES OF NATURE OBJECTS PROTECTION THROUGH MARKET MEANS**

*The results of theoretical reasons to protect the environment by ways of market are given in the present article proceeded from the property value attached to assimilation potential of the nature. The right for such a protection may be achieved by acquiring securities and shares both as a permit (license) to pollute water objects in a certain range and as an object for sale and purchase.*

Экономический механизм управления качеством окружающей природной среды, основанный на утвержденных лимитных массах и нормативах платы, является статическим и не позволяет использовать рыночные стимулы в достижении экологических целей. Плата за пользование природными ресурсами и загрязнение окружающей среды установлена на очень низком уровне, не позволяющем стимулировать рациональное природопользование, обеспечивать финансирование воспроизводства природных ресурсов.

Переход России на принципы рыночной экономики требует внедрения новых подходов во всех сферах действия эколого-экономических отношений, включая вопросы защиты, охраны и восстановления нарушенных экосистем [1-5].

По В.И. Вернадскому, биосфера, то есть жизнь на земле, стала катализатором процесса общепланетарного развития, включая появление человека – носителя Разума и ставшего еще более могучим катализатором мирового процесса развития. Быстрое влияние человека на окружающую природу, говорил Вернадский, свидетельствует о том, что не за горами время, когда он превратится в основную геологообразующую силу и должен будет принять на себя ответственность за будущее развитие природы. Развитие окружающей среды и общества станет неразрывным, и биосфера перейдет в *ноосферу*. В настоящее время можно констатировать, что это время наступило и в условиях рыночной экономики ответственность за развитие и состояние природных объектов, включая водные объекты, атмосферный воздух, растительный и животный мир, должна быть возложена на коллективный разум человечества.

Например, важным шагом в развитии экономического механизма охраны водных объектов было принятие в 1995 г. Водного кодекса Российской Федерации, который, будучи законодательным актом прямого действия, регулирует весь комплекс водных отношений [6]. Это – отношения собственности на водные объекты, отношения водопользования и охраны вод, ответственность за нарушения водного законодательства и другие. Водным кодексом

впервые предусмотрено лицензирование водопользования, при котором регламентируются основные права пользования водными объектами и обязанности по его охране предприятием – водопользователем, а также необходимость учета наличия водных ресурсов, потребность в них водопотребителей и состояние водных объектов. Лицензия на водопользование может выдаваться одновременно для осуществления нескольких целей использования водных объектов, однако, без права передачи другим пользователям.

Экономические принципы охраны водных объектов, заложенные в главе 12 кодекса, опираются на традиционные подходы, основанные на объемах водопотребления или загрязнения и нормативах платы с последующим созданием фондов по детерминированному распределению средств. Эти принципы не отражают реалии сегодняшнего дня и могут привести к определенным трудностям в управлении водопользованием. Рыночные механизмы регулирования водных отношений практически не представлены.

Промышленное производство обязательно загрязняет окружающую природную среду. С экономической точки зрения загрязнение природной среды относится к «внешним эффектам», как к потенциальным источникам разрушения рынка, мешающим эффективному действию ценовой системы, не учитывающей воздействие на природу. Механизм нейтрализации этого воздействия можно представить в виде издержек производства, проявляющихся в двух видах:

а) издержки предотвращения загрязнения – затраты на реализацию природоохранных мероприятий;

б) экономический ущерб, вызванный сбросами и выбросами вредных веществ.

Эти виды тесно связаны между собой обратной связью, взаимозаменяют и дополняют друг друга, и важную роль при этом приобретает вопрос их рационального соотношения.

Издержки предотвращения загрязнения включают в себя расходы на монтаж очистных сооружений, установку адсорберов, фильтров, скрубберов и другого очистного оборудования. Эти издержки являются внутренними, то есть появляются непосредственно на предприятии. Осуществляя какое-либо действие, предприятие не влияет на работу других предпринимателей, не ограничивает возможные сферы их деятельности.

Экономический ущерб от загрязнения окружающей природной среды – это денежная оценка негативных изменений основных ее свойств под воздействием загрязнений – от ухудшения здоровья человека до снижения продуктивности с/х угодий, гибели рыбы, коррозии металлов, сооружений. Эти издержки, вызываемые загрязнением среды, являются для предприятия-загрязнителя внешними (или экстернальными) и приводят к экономическому ущербу. Внешние они потому, что для самого предприятия ущерб, вызванный его деятельностью, никак не влияет на его издержки производства. Иногда этот вид издержек называют социальными издержками, влияющими на социум и других производителей, и расчёты их весьма сложны, так как необходимо оценить: ухудшение качества жизни; сокращение сроков службы имущества; рост концентраций вредных веществ в природной среде, используемой производством; сокращение урожайности и прироста биомассы.

Если рассмотреть затраты на реализацию природоохранных мероприятий и экономический (социальный) ущерб в виде предельных величин, получим зависимость, представленную на рис. 1.

Предельные издержки от загрязнения убывают по мере увеличения доли неочищенных сбросов (снижаются расходы на очистные сооружения). Социальный ущерб в этих же координатах, наоборот, возрастает.

Пересечение кривых 1 и 2 даёт точку А, координата которой по оси абсцисс соответствует оптимальному объёму сбросов, экономическому оптимуму, или ассимиляционному потенциалу, как возможному пределу загрязнения окружающей природной среды. В данной точке наблюдается равенство предельных природоохранных затрат и предельного ущерба от загрязнения.

Движение от точки А влево нецелесообразно, так как разность между полезным результатом  $S'_2$  и затратами для достижения этого результата ( $S'_1 + S'_2$ ) отрицательна, то есть:

$$S'_2 - (S'_1 + S'_2) < 0.$$

Аналогичный результат получается при движении от точки А вправо, то есть при снижении затрат на природоохранные мероприятия. Возможный экономический ущерб может намного превышать затраты на природоохранные мероприятия.

Ассимиляционный потенциал, соответствующий точке пересечения кривых спроса на выбросы и предельного социального ущерба, с которым, по возможности, должны совпадать предложения, является ориентиром при решении многих экономических вопросов охраны окружающей природной среды.

Очищать более тонко, по сравнению с возможностями природы невыгодно из-за экономической расточительности в отношении к обществу. Очищать хуже, чем уровень ассимиляционного потенциала – это обречь общество на повышенный социальный ущерб и деградацию окружающей природной среды.

Методы количественной оценки ассимиляционного потенциала несовершенны, тем не менее, его введение в эколого-экономический анализ весьма полезно.

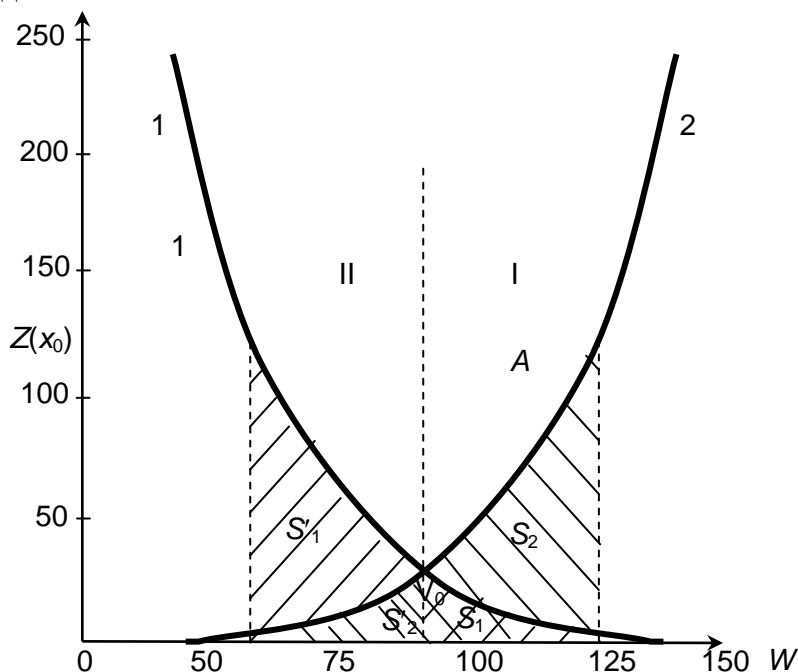


Рис.1. Изменение предельных издержек и социального ущерба от массы выбросов токсичных компонентов:

1 – предельные издержки от загрязнения; 2 – предельный экономический ущерб;  
 $V_0$  – оптимальный объём выбросов; (ассимиляционный потенциал)

Так, для оценки ассимиляционного потенциала может быть использован большой фактический материал о величинах сбросов токсичных компонентов в виде норм водопользования и водоотведения с характеристикой допустимого изменения состава вод в водоемах и водотоках после выпуска в них сточных вод. Следовательно, основная проблема успешной реализации экономического механизма охраны природной среды заключается в методах рационального использования ассимиляционного потенциала природы, которые можно реализовать через внедрение рыночных отношений в вопросы природопотребления.

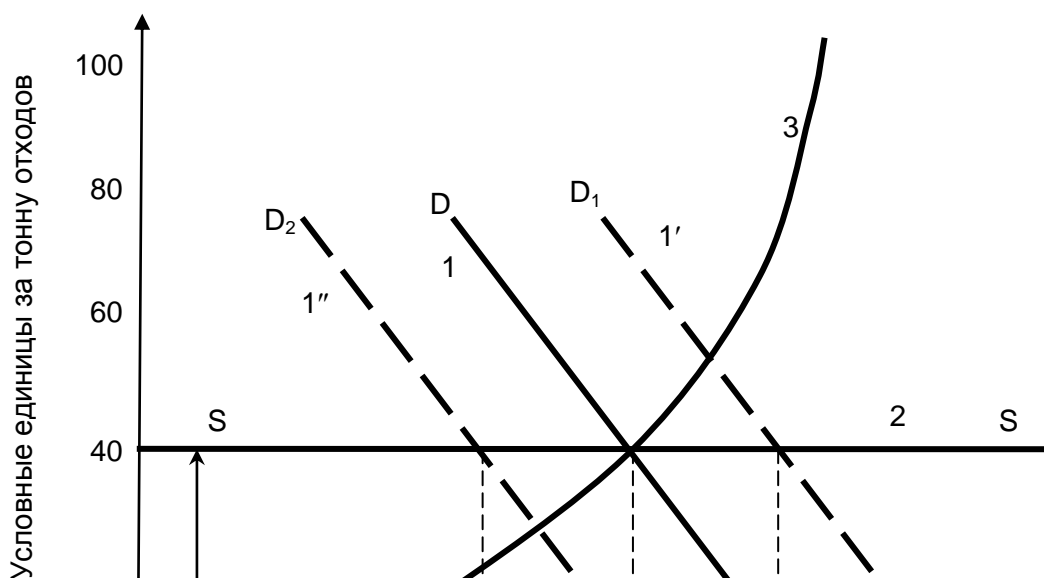
Под рыночными отношениями понимается внедрение механизма саморегулирования взаимоотношений природопользователей с «владельцами» объектов. Исходя из природного ресурса в роли природопользователей будут выступать предприятия, организации, фирмы, а

в роли владельцев – государственные уполномоченные органы, региональные администрации или иные собственники. Для создания рынка покупателя и устранения монополизма на природные ресурсы, который может отрицательно сказаться на работе фирм-потребителей, предложения должны превышать спрос, но по объему не превосходить ассимиляционный потенциал природы и выполнять двойную функцию: во-первых, как разрешение на загрязнение одного из природных объектов, и во-вторых, как ценная бумага, обладающая рыночными свойствами купли-продажи.

Реализация предлагаемых подходов потребует создания рынка покупателей и продавцов ассимиляционного потенциала природного объекта, взаимодействующих между собой на принципах модели спроса и предложения. Такой рынок будет функционировать в рамках взаимодействия двух законодательных актов. С одной стороны, рынок ограничивает антимонопольное законодательство, не позволяющее продавцам монополизировать в одних руках или по сговору право на распределение всего ресурса. Это приведет к нормальной конкуренции между продавцами с установлением равновесной цены, не так разрушительно действующей на экономические показатели предприятий и фирм, как это было с монополизацией права на газ, электроэнергию, топливо. С другой стороны, рынок ограничен механизмом банкротства и это ограничение можно трактовать как наиболее благодатное. Банкротство продавцов будет означать, что спрос на загрязнение природных объектов существенно снизился. Это означает, что объекты оставлены в покое и смогут восстановить природный механизм саморегенерации. Между этими двумя ограничениями действует нормальная рыночная среда со здоровой конкуренцией с автоматическим (исходя из соотношения спроса и предложения) установлением равновесной цены на право загрязнения природного объекта. Регулирующее воздействие правительства на рыночную ситуацию может периодически проявляться через законодательные акты по нормативам платы за компоненты. При этом многие существующие в настоящее время управленческие законодательные акты, постановления, руководящие учреждения и организации оказываются не нужными, так как их функции берет на себя рынок. Система переходит как бы на автоматический самоуправляемый равновесный режим.

Реализация этого вывода возможна, если придать ассимиляционным свойствам природы качество товара, подчиняющегося экономическим принципам реализации. Выпуск ценных бумаг на право загрязнения природы в пределах ассимиляционного потенциала позволяет загрязнителям приобрести имущественное право на данный вид товара через их покупку на фондовом рынке ценных бумаг.

Если представить существующий экономический механизм охраны природных объектов в виде предлагаемой модели спроса и предложения и точки пересечения кривых отнести к оптимальному экономическому объему, то есть ассимиляционному потенциалу, то результаты можно представить в виде рис. 2. Пусть спрос на утилизацию, например, отходов изменяется по кривой (D–D), а предложения – по кривой (S–S), горизонтальной и параллельной оси абсцисс и отражающей стабильную, утвержденную плату за компонент.



А

Рис. 2. Взаимодействие спроса и предложения на загрязнение природных объектов (существующий экономический механизм): 1, 1', 1'' – спрос на загрязнение; 2 – предложения; 3 – предельный социальный ущерб

Допустим, что точка пересечения соответствует оптимуму – 100 т. Данный оптимум определяется объемом выбросов, согласованных инспекционными органами охраны природы. Они могут быть как меньше (кривая  $D_2-D_2$ ), так и больше оптимума (кривая  $D_1-D_1$ ) и этот подход не может быть использован в качестве рыночного, так как будет сбрасываться произвольно согласованный с инспекционными органами объем загрязнений. Стабильный норматив платы, отраженный кривой предложения  $S-S$ , и его низкое значение не будут стимулировать предпринимателя на снижение уровня загрязнения природы.

Совершенно другая картина наблюдается, если представить также графически суть предлагаемых принципов охраны водных объектов (рис. 3). В этом случае кривая спроса может быть такая же, а предложения (100 т) будут представлены вертикальной прямой, отражающей оптимальный объем сбросов, на который могут быть выпущены ценные бумаги. Рыночная цена акции определяется координатой точки А.

Ценная бумага приобретается на рыночных принципах и дает право на использование доли ассимиляционного потенциала природы. В этом случае возрастание спроса на сброс или водопотребление (утилизация отходов) приводит к увеличению стоимости ценных бумаг (точка  $A_1$ , кривая  $D_1-D_1$ ), а снижение спроса – к понижению курса акций (точка  $A_2$ , кривая  $D_2-D_2$ ).

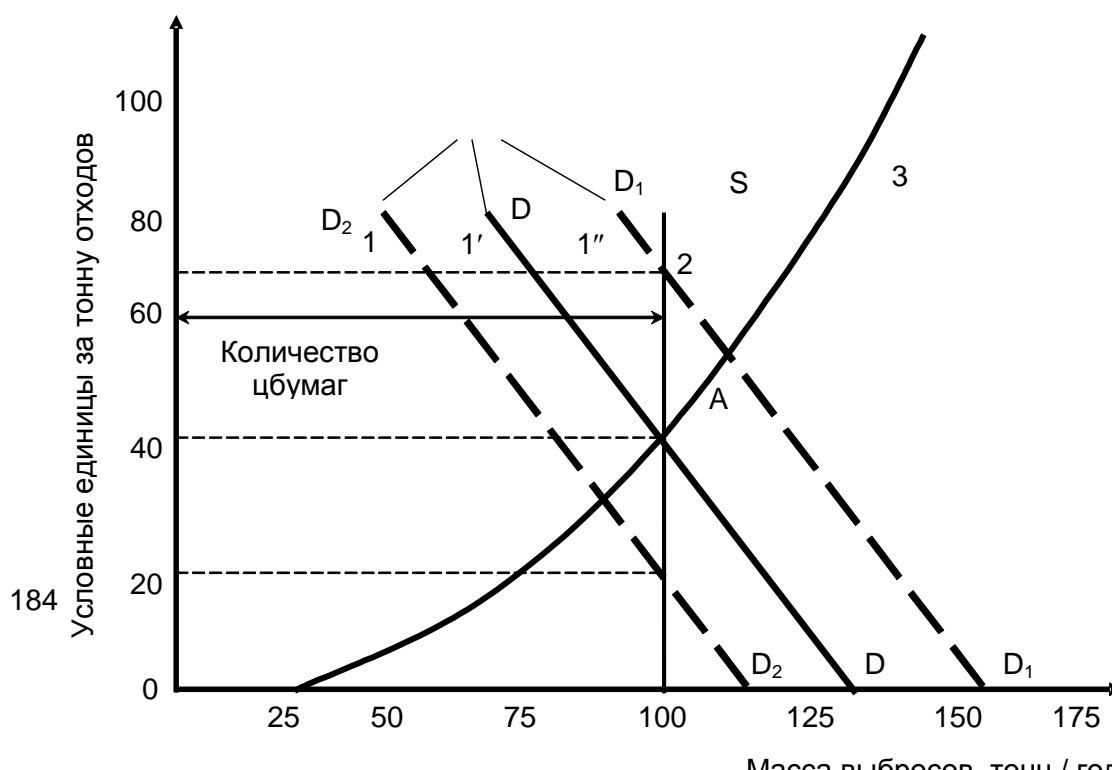




Рис. 3. Взаимодействие спроса и предложения при рыночных принципах охраны природы (рыночный механизм): 1, 1', 1'' – спрос на потребление; 2 – предложения (объемы, на которые выпущены ценные бумаги); 3 – предельный социальный ущерб

Равновесие наступает в точке пересечения, где предельные затраты на снижение уровня загрязнения будут одинаковы для всех загрязнителей. Таким образом, предприниматель будет поставлен в ситуацию, когда ему нужно будет осознанно сделать экономически обоснованный выбор: либо покупать по рыночной цене акции, либо установить на эти средства очистное оборудование, что в любом случае приведет к снижению общего загрязнения водных объектов.

Введение имущественных прав предпринимателя на ассимиляционный потенциал превращает экстерналинные издержки во внутренние, что приводит к снижению общего загрязнения природных объектов.

Право владения и распределения ассимиляционного потенциала применительно к водным объектам, согласно Водному кодексу, должно принадлежать, видимо, административным органам и государственным комитетам и инспекциям соответствующих регионов, а также владельцам конкретного природного ресурса. При этом будут соблюдаться интересы государства, регионов и собственников водных объектов. Некоторые осложнения могут возникнуть при взаимодействии двух равноправных лиц: собственника и пользователя ассимиляционного потенциала. Владелец ассимиляционного потенциала сопоставляет затраты и результаты, связанные с использованием ассимиляционного потенциала. Он может передать предпринимателю права пользования данным ресурсом, то есть разрешить загрязнение и получить при этом устраивающую его компенсацию. Владелец же ассимиляционного потенциала понесёт определённые убытки от ухудшения качества природной среды, однако для него это не будет ущербом. Он их будет воспринимать как затраты, позволяющие получить доход – плату за использование ассимиляционного потенциала.

Наиболее трудной задачей во внедрении рыночного механизма водопользования является определение ассимиляционного потенциала природы по каждому токсичному компоненту и выявление «владельца» данного природного ресурса, наделенного правом на его распределение. Данные параметры могут быть в первом приближении определены статистически по отчетным формам 2-ТП Водхоз, или научно обоснованы в течение определенного периода времени наблюдения за состоянием водных объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голуб А.А. Экономика природопользования / А.А. Голуб, Е.Б. Струкова. М.: Аспект Пресс, 1995. 319 с.
2. Пряжинская В.Г. Развитие эколого-экономических отношений водопользования в России / В.Г. Пряжинская, Д.М. Ярошевский // Инженерная экология. 1998. № 1. С. 39-48.
3. Кречетов Л.И. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов / Л.И. Кречетов. М.: Наука, 1990. С. 1-7.
4. Шевченко М.А. Экологическая политика и управление водохозяйственной деятельностью в зарубежных странах / М.А. Шевченко // Инженерная экология. 1997. № 2. С. 2-18.

5. Водный кодекс Российской Федерации // Экос-Информ. 1996. № 1-2. С. 36-128.

**Щукина Алла Яковлевна –**

кандидат экономических наук, доцент,

заместитель заведующего кафедрой «Теоретическая и прикладная экономика»

Волжского университета им. В.Н. Татищева, г. Тольятти