

ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2004

№ 1 (2)

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 г.
Выходит один раз в квартал
Март 2004 г.

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. Игнатьев

Редакционный совет: д.э.н. В.Р. Атоян (заместитель председателя), д.т.н. А.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес, д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатьев, д.т.н. В.В. Калашников, д.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. Э.де Соузе Феррейра (Португалия), д.т.н. Т. Чермак (Чехия), д.э.н. Ю.В. Шленов.

Редакционная коллегия: д.т.н. К.П. Андрейченко, д.т.н. 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.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. В.М. Седелкин, к.ф.-м.н. А.Ю. Слепухин, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор О.А. Панина
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой
Перевод на английский 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 22.03.04
Формат 60×84 1/8 Бум. тип.
Усл. печ. л. 19,25 Уч.-изд. л. 20,5
Тираж 500 экз. Заказ 237
Копипринтер СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

ISBN 5-7433-1379-2

© Саратовский государственный
технический университет, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Гестрин С.Г., Сальников А.Н., Щукина Е.В. Аналитическая модель локализованных экситонов Френкеля	5
Геюшов З.М. О собственных колебаниях трехслойных упругопластических пластинок	10
Запис К.В., Морозов Д.А., Кособудский И.Д. Механизм образования и роста железосодержащих наночастиц в матрице полиэтилена высокого давления.....	14
Захаров А.А. Количественные и структурные характеристики комплексных тестовых композиций, сформированных на основе бинорма Ньютона	19
Крысько В.А., Кравцова И.В. Хаотические колебания сферических оболочек под действием неоднородного нагружения.....	24
Михайлова А.М., Никитина Л.В., Колоколова Е.В., Егорова С.А., Есин А.А. Разработка композиционных объемно-распределенных электродов на основе твердых электролитов	36

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Бржозовский Б.М., Бровкова М.Б., Захаров О.В. Гармонический анализ в исследовании процессов формообразования и измерения прецизионных деталей	45
Быкадорова О.Г., Шумячер В.М. О механизме стружкообразования при шлифовании.....	52
Виноградов А.Н. Научные основы повышения некоторых эксплуатационных характеристик трибосопряжений автомобильной техники	58
Данилов И.К. Концепция проектирования эксплуатационно-ремонтных циклов ДВС на основе теории систем	63
Денисов А.С., Малаховецкий А.Ф., Кулаков А.Г., Светличный Н.И., Гаффаров Г.Г., Тазеев Р.Т. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров ТКР-7Н.....	67

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Финаенов А.И., Трифонов А.И., Журавлев А.М., Яковлев А.В. Области применения и получение терморасширенного графита.....	75
--	----

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Архангельский Ю.С., Калганова С.Г. Рабочая камера СВЧ электротехнологической установки для модификации полимерных волокон	86
Аршакян И.И., Артюхов И.И., Степанов С.Ф. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения аппаратов воздушного охлаждения газа	90

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Игнатъев А.А., Добряков В.А., Игнатъев С.А. Автоматизированный контроль динамических характеристик станков как один из элементов системы мониторинга технологического процесса	99
Таран В.М., Лисовский С.М., Протасова Н.В., Гусев Н.А. Гибкая система управления распределением ресурсов для решения научно-технических задач	108

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Гороховский В.А., Саксонова Ю.Г., Повитков Г.Ф. О микротвёрдости листового стекла	114
--	-----

ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Долинина О.Н. Социальные аспекты использования информационных технологий в управлении.....	118
Олейникова Е.В. Управление инновационным развитием предприятия при использовании системы фирменного ремонта	128
Слепухин А.Ю. Роль программы ЕС Темпус-Тасис в интернационализации образования в СГТУ	137
Ярская В.Н. Ресурс свободы: образование как институт реформирования	144

ЮБИЛЕИ

Владимир Григорьевич Каширский. Путь ученого.....	155
--	-----

CONTENTS

PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

- Gestrin S.G., Salnikov A.N., Shukina E.V.** The analytical model of localized Frenkel's excitons.....5
Geushov Z.M. Natural self oscillations of the three-layer elasticoplastic plates.....10
Zapsis K.V., Morozov D.A., Kosokbudsky I.D. The mechanism of originating and size increasing of iron nanoscale particles in a matrix of high-pressure polyethylene14
Zacharov A.A. Quantitative and structured features of the complex test compositions, formed on base of Newton's binomial theorem19
Krysko V.A., Kravtsova I.V. Chaotic vibrations of spherical shells under the influence of inhomogeneous loads.....24
Mikhailova A.M., Nikitina L.V., Kolokolova E.V., Yegorova C.A., Yesin A.A. The development of compositional volume distribution electrodes on the base of solid electrolytes37

MACHINE RELIABILITY

- Brzhozovskiy B.M., Brovkova M.B., Zakharov O.V.** Harmonic analysis in research of processes of formshaping and measurements of precision parts45
Bikadorova O.G., Shumyatcher V.M. About a mechanism of shaving forming during grinding.....52
Vinogradov A.N. The scientific basis of rise of some operational characteristics tribological gangs of motor transport.....59
Danilov I.K. Scheming conception of ICE (internal-combustion engine) service cycles based on system theory.....64
Denisov A.S., Malakhovetsky A.F., Kulakov A.T., Svetlichny N.I., Gaffarov G.G., Tazeev R.T. The improvement of the exploitation reliability of the TCR-7N turbo-compressors.....67

NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

- Finaenov A.I., Trifonov A.I., Zhuravlev A.M., Yakovlev A.V.** Thermally expanded graphite obtaining and application75

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

- Arkhangelskiy Yu.S., Kalganova S.G.** The working chamber of the microwave electrotechnological installation for updating polymeric fibres86
Arshakyan I.I., Artyukhov I.I., Stepanov S.F. Compensation of reactive power in the systems of power supply devices of air cooling of gas90

AUTOMATION AND MANAGEMENT

- Ignatiev A.A., Dobrjakov V.A., Ignatiev S.A.** Automated monitoring of dynamic performances of machines as one of the devices of the systems of monitoring of the technological process99
Taran V.M., Lisovsky S.M., Protasova N.V., Gusev N.A. Flexible control system of distribution of resources for the scientific and technical problems solutions108

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

- Gorokhovskiy V.A., Saksonova Y.G., Povitkov G.F.** Microhardness of sheet glass114

HUMANITARIAN AND ECONOMICAL PROBLEMS OF MODERN SOCIETY

- Dolinina O.N.** Social aspects of using information technologies in management.....118
Oleynikova E.V. Enterprise innovations development management by firm's repair system application.....129
Slepukhin A.Yu. Impact of eu TEMPUS-TACIS programme on the internationalization of education at SSTU138
Yarskaya V.N. Freedom resource: education as an institution of reformation144

JUBILEES

- Vladimir Grigorjevich Kashirsky.** The way to science155

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 538.911

С.Г. Гестрин, А.Н. Сальников, Е.В. Щукина

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ЭКСИТОНОВ ФРЕНКЕЛЯ

Показано, что наличие в кристалле дислокаций приводит к локализации на них экситонов Френкеля. Получено и исследовано дисперсионное уравнение для локализованных экситонов. Определена зависимость амплитуды локализованных волн от расстояния до дислокации. Найден частотный интервал, отделяющий локализованные колебания от объемных.

S.G. Gestrin, A.N. Salnikov, E.V. Shukina

THE ANALITICAL MODEL OF LOCALIZED FRENKEL'S EXITONS

It is shown here, that the presence the dislocation in crystal brings to localization of the Frenkel's exitons on it. The dispersion relation for localized exitons is obtained and researched. The correlation of localized waves amplitude from the distance till the dislocation is determined in this paper. The frequency interval separating the localized waves from the volumetrical ones was presented here.

Известно, что наличие точечных, линейных и двумерных дефектов кристаллической структуры приводит к локализации на них различных видов колебаний. Амплитуда локализованных колебаний быстро убывает с удалением от дефекта, а частота отделена некоторым конечным интервалом от спектра объемных колебаний. Как было показано в [1], существуют звуковые колебания, локализованные на дислокациях и дефектах упаковки. В работах [2] и [3] построены математические модели, описывающие локализацию поляритонов в ионных кристаллах и плазменных колебаний в полупроводниках, содержащих заряженные краевые дислокации. Характер убывания амплитуды с удалением от дефекта определяется его размерностью. Для дислокаций, представляющих одномерные дефекты, амплитуда убывает с удалением от дислокации $\sim K_0(kr)$, ($K_0(kr)$ – модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка, k – поперечное волновое число). При большом значении аргумента $kr \gg 1$ имеет место соотношение $K_0(kr) \propto (kr)^{-1/2} \exp(-kr)$. Наличие в кристалле дополнительных ветвей колебаний может в некоторых случаях существенно влиять на его свойства [1,2].

Известно, что в щелочно-галогидных кристаллах NaBr, KBr экситоны с наименьшими энергиями локализованы на отрицательных ионах. В ультрафиолетовой области их спектры поглощения содержат дублеты, обусловленные дублетной структурой самого низшего экс-

тонного состояния иона Вг^- . Экситонные линии поглощения наблюдаются также в молекулярных кристаллах, например в кристаллах антрацена. В ряде теоретических и экспериментальных работ были исследованы экситонные волны, локализованные на поверхности кристалла [4]. Такие экситоны аналогичны поверхностным релеевским волнам в теории упругости. Подробный анализ свойств поверхностных экситонов применительно к металлам приведен в [4].

В настоящей работе построена аналитическая модель локализованных на дислокации экситонов Френкеля, представляющих возбужденное состояние отдельного атома, передающееся от одного атома к другому вследствие связи между соседними атомами. Основным ограничением модели является предположение о том, что дипольные моменты p отдельных атомов, возникающие при распространении в кристалле экситонной волны, ориентированы вдоль одного направления. Данная модель позволяет получить дисперсионное уравнение для локализованных экситонов и определить зависимость амплитуды локализованных волн от расстояния до дислокации.

Предположим, что дислокация в кристалле ориентирована вдоль оси Z , а сам кристалл обладает осью симметрии четвертого порядка.

Уравнение движения для электрона в атоме в локальном электрическом поле можно записать в виде:

$$\ddot{u}(\mathbf{r}, t) + \sum_{\mathbf{r}'} \alpha(\mathbf{r} - \mathbf{r}') u(\mathbf{r}', t) = -a^2 \delta(\zeta) \sum_z \beta(z - z') u(0, z', t) - \frac{e}{m} E_{loc}(\mathbf{r}) \exp(-i\omega t), \quad (1)$$

где $u(\mathbf{r}, t)$ – смещение электрона; $\alpha(\mathbf{r} - \mathbf{r}')$ – матрица, характеризующая взаимодействие электронов в различных атомах кристалла и определяющая скорость передачи взаимодействия от одного атома к другому; a – постоянная решетки; $\mathbf{r} \equiv (\zeta, z)$, $\zeta \equiv (x, y)$; $\delta(\zeta)$ – дельта-функция; e , m – заряд и масса электрона.

Первое слагаемое в правой части (1) описывает возмущение, созданное в кристалле дислокацией. При анализе длинноволновых колебаний ($\lambda \gg a$) это возмущение можно считать сосредоточенным на оси дислокации. Суммирование по узлам кристаллической решетки в (1) может быть заменено интегрированием:

$$\sum_z \dots = \frac{1}{a} \int \dots dz, \quad \sum_{\mathbf{r}'} \dots = \frac{1}{a^3} \int \dots dV. \quad (2)$$

Предполагая, что $u(\mathbf{r}, t)$ зависит от времени в виде $\exp(-i\omega t)$, из (1) находим:

$$-\omega^2 u(\zeta, z) + \sum_{\mathbf{r}'} \alpha(\mathbf{r} - \mathbf{r}') u(\zeta, z') = -a^2 \delta(\zeta) \sum_{z'} \beta(z - z') u(0, z') - \frac{e}{m} E_{loc}(\zeta, z). \quad (3)$$

Функция $\beta(z)$ описывает возмущение, созданное в кристалле дислокацией, и является четной функцией z . При помещении кристалла в однородное электрическое поле $u(0, z') = \text{const}$ и данную величину можно вынести за знак суммы в (3), при этом передача возмущения от атома к атому отсутствует, и первое слагаемое в правой части (3) должно обратиться в ноль.

Таким образом:

$$\sum_{z'} \beta(z - z') = \sum_z \beta(z) = 0. \quad (4)$$

Используем однородность кристалла вдоль оси Z и применим одномерное преобразование Фурье относительно координаты z :

$$u(\zeta, z) = \frac{a}{2\pi} \int u_k(\zeta) \exp(ikz) dk, \quad u_k(\zeta) = \sum_z u(\zeta, z) \exp(-ikz), \quad (5)$$

$$E_{loc}(\zeta, z) = \frac{a}{2\pi} \int E_{loc,k}(\zeta) \exp(ikz) dk, \quad E_{loc,k}(\zeta) = \sum_z E_{loc}(\zeta, z) \exp(-ikz).$$

Из (3) находим:

$$-\omega^2 u_k(\zeta) + \sum_{\zeta'} \Psi_k(\zeta - \zeta') u_k(\zeta') = -a^2 \delta(\zeta) \beta_k u_k(0) - \frac{e}{m} E_{loc,k}(\zeta), \quad (6)$$

где

$$\Psi_k(\zeta) = \sum_z \alpha(r) \exp(-ikz), \quad \beta_k = \sum_z \beta(z) \exp(-ikz). \quad (7)$$

Уравнение (6) описывает колебание электронов в двумерном кристалле с точечным дефектом в начале координат.

При выполнении условия $ak \ll 1$ из (7) с использованием (4) находим:

$$\beta_k = -k^2 \beta_0, \quad \beta_0 = \frac{1}{2} \sum_z \beta(z) z^2. \quad (8)$$

Функцию $u_k(\zeta)$ представим в виде двумерного разложения Фурье:

$$u_k(\zeta) = \frac{a^2}{(2\pi)^2} \int u(\kappa, k) \exp(i\kappa\zeta) d^2\kappa, \quad (9)$$

$$E_{loc,k}(\zeta) = \frac{a^2}{(2\pi)^2} \int E_{loc}(\kappa, k) \exp(i\kappa\zeta) d^2\kappa,$$

$$\delta(\zeta) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int \exp(i\kappa\zeta) d^2\kappa,$$

где $\kappa = (k_x, k_y)$ – двумерный волновой вектор.

Из (6) получим

$$-(\omega^2 - \omega_0^2(\kappa, k)) u(\kappa, k) + \frac{e}{m} E_{loc}(\kappa, k) = k^2 \beta_0 u_k(0). \quad (10)$$

Здесь

$$\omega_0^2(\kappa, k) = \sum_{\zeta} \Psi_k(\zeta) \exp(-i\kappa\zeta). \quad (11)$$

Дипольный момент атома связан с локальным электрическим полем соотношением:

$$p = -eu = \alpha_{el} E_{loc}, \quad (12)$$

где α_{el} – электронная поляризуемость.

Используя (12), из (10) находим:

$$\left(\omega^2 - \omega_0^2(\kappa, k) + \frac{e^2}{m\alpha_{el}} \right) u(\kappa, k) = -k^2 \beta_0 u_k(0). \quad (13)$$

Отсюда:

$$u_k(\zeta) = -(ak)^2 \frac{\beta_0}{(2\pi)^2} u_k(0) \int \frac{\cos(\kappa\zeta) d^2\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\kappa, k) + \frac{e^2}{m\alpha_{el}}}. \quad (14)$$

Полагая в (14) $\zeta=0$, имеем:

$$1 + (ak)^2 \frac{\beta_0}{2\pi} \int_0^{\kappa_0} \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\kappa, k) + \frac{e^2}{m\alpha_{el}}} = 0. \quad (15)$$

Здесь верхний бесконечный предел интегрирования заменен на конечную величину, $\kappa_0 \sim a^{-1}$ [1]. Соотношение (15) может быть использовано для определения величины α_{el} .

Вблизи от линии поглощения учет пространственной дисперсии приводит при малых волновых числах к разложению вида [5]:

$$\omega_0(\kappa, k) \approx \omega_0 + v(\kappa^2 + k^2). \quad (16)$$

Представляя в (15) стоящую в знаменателе подынтегрального выражения разность квадратов в виде произведения двух сомножителей и сохраняя величину $\sim v$ только в разности $\omega - \omega_0$, получим:

$$1 - (ak)^2 \frac{\beta_0}{4\pi\omega_0} \int_0^{\kappa_0} \frac{\kappa d\kappa}{v\kappa^2 + vk^2 + \omega_0 - \omega - \frac{e^2}{2\omega_0 m \alpha_{el}}} = 0. \quad (17)$$

Выполняя интегрирование в (17), приходим к уравнению:

$$1 - (ak)^2 \frac{\beta_0}{8\pi\omega_0 v} \ln \frac{v\kappa_0^2}{vk^2 + \omega_0 - \omega - \frac{e^2}{2\omega_0 m \alpha_{el}}} = 0, \quad (18)$$

в котором учтено ограничение:

$$v\kappa_0^2 \gg vk^2 + \omega_0 - \omega - \frac{e^2}{2\omega_0 m \alpha_{el}}, \quad (19)$$

а соответствующие слагаемые опущены в выражении под логарифмом.

Из (18) получим электронную поляризуемость α_{el} в кристалле, содержащем дислокацию:

$$\alpha_{el} = \frac{e^2}{2\omega_0 m \left(vk^2 + \omega_0 - \omega - v\kappa_0^2 \exp\left(-\frac{8\pi\omega_0 v}{(ak)^2 \beta_0}\right) \right)}. \quad (20)$$

В области оптических частот диэлектрическая проницаемость почти полностью обусловлена электронной поляризуемостью. Для кристалла с кубической симметрией справедлива формула Клаузиуса – Мосотти:

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} \sum_j N_j \alpha_{el,j}, \quad (21)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость; N_j – число атомов в единице объема, имеющих поляризуемость $\alpha_{el,j}$.

Из (21) и (20) вблизи одной из линий поглощения выражение для ε может быть представлено в виде

$$\varepsilon(\omega, k) = b + \frac{B}{vk^2 + \omega_0 - \omega - v\kappa_0^2 \exp\left(-\frac{8\pi\omega_0 v}{(ak)^2 \beta_0}\right)}, \quad (22)$$

где b и B – некоторые константы.

Закон дисперсии электромагнитных волн в кристалле дается уравнением:

$$n^2 = \varepsilon(\omega, k). \quad (23)$$

Используя (22), находим из (23):

$$(n^2 - b) \left(\nu k^2 + \omega_0 - \omega - \nu \kappa_0^2 \exp \left(-\frac{8\pi\omega_0\nu}{(ak)^2\beta_0} \right) \right) = B. \quad (24)$$

Введем далее обозначение $\gamma = \nu\omega^2/c^2 \approx \nu\omega_0^2/c^2$ и из (24) получим:

$$(n^2 - b) \left(\gamma n^2 + \omega_0 - \omega - \nu \kappa_0^2 \exp \left(-\frac{8\pi\omega_0\nu}{(ak)^2\beta_0} \right) \right) = B. \quad (25)$$

Уравнение (25) описывает взаимодействие двух волн – световой волны с $n^2=b$ и волны c

$$n^2 = \frac{\omega - \omega_0 + \nu \kappa_0^2 \exp \left(-\frac{8\pi\omega_0\nu}{(ak)^2\beta_0} \right)}{\gamma}, \quad (26)$$

представляющей собой экситоны, локализованные на дислокации. Сила взаимодействия определяется величиной B .

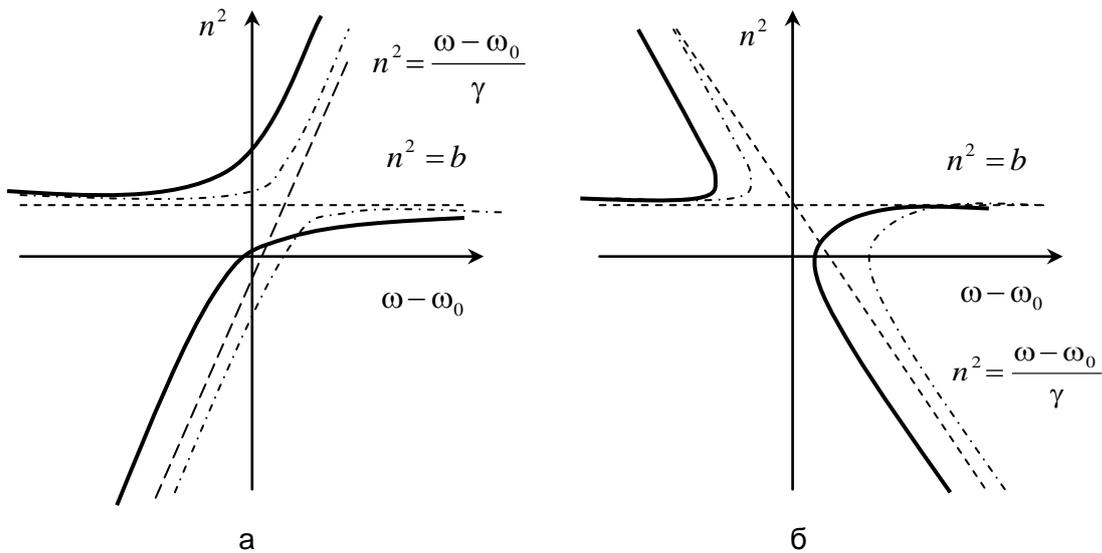
Из (14) определим закон, по которому убывает амплитуда волны с удалением от дислокации:

$$u_k(\zeta) = (ak)^2 \frac{\beta_0}{(2\pi)^2} u_k(0) \frac{1}{2\omega_0} \int_0^\infty \frac{\kappa d\kappa}{\nu\kappa^2 + \nu k^2 + \omega_0 - \omega - \frac{e^2}{2\omega_0 m\alpha_{el}}} \int_0^{2\pi} \cos(\kappa\rho\cos\varphi) d\varphi. \quad (27)$$

Из (27) находим:

$$u_k(\rho) = \frac{\beta_0}{4\pi\omega_0\nu} (ak)^2 u_k(0) K_0 \left(\exp \left(-\frac{4\pi\omega_0\nu}{(ak)^2\beta_0} \right) \kappa_0 \rho \right). \quad (28)$$

Как видно из (28), на больших расстояниях от дислокации амплитуда волны убывает экспоненциальным образом. На рисунке представлена зависимость $n^2(\omega)$.



Дисперсионные кривые объемных и локализованных колебаний: а) $\gamma > 0$, б) $\gamma < 0$.

Штрихпунктирные линии изображают объемные колебания, а сплошные линии – колебания, локализованные на дислокациях

Локализованные экситоны отделены от объемных частотным интервалом:

$$\delta\omega = v\kappa_0^2 \exp\left(-\frac{8\pi\omega_0 v}{(ak)^2\beta_0}\right). \quad (29)$$

Таким образом, в работе построена аналитическая модель экситонов Френкеля, локализованных на дислокациях, в рамках которой получено дисперсионное уравнение и найдена зависимость амплитуды локализованной волны от расстояния до дислокации. Показано, что спектр объемных колебаний отделен от локализованных волн конечным интервалом частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косевич А.М. Основы механики кристаллической решетки. М.: Наука, 1972. 280 с.
2. Гестрин С.Г. Локализация поляритонов вблизи дислокаций в ионных кристаллах // Изв. вузов. Физика. 1996. № 10. С.45-50.
3. Гестрин С.Г. Локализация плазменных колебаний вблизи заряженных дислокаций и дислокационных стенок в полупроводниках // Изв. вузов. Физика. 1998. № 2. С.92-95.
4. Агранович В.М. Теория экситонов. М.: Наука, 1968. 382 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 621 с.

Гестрин Сергей Геннадьевич –

доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Прикладная физика» Саратовского государственного технического университета

Сальников Александр Николаевич –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная физика» Саратовского государственного технического университета

Щукина Елена Вячеславовна –

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

УДК 539.3

З.М. Геюшов

О СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ТРЕХСЛОЙНЫХ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ПЛАСТИНОК

Решается задача о собственных колебаниях трехслойных упругопластических пластинок.

Z.M. Geushov

NATURAL SELF OSCILLATIONS OF THE THREE-LAYER ELASTICOPLASTIC PLATES

The article is focused on the problem of natural self oscillations of the three-layer elasticoplastic plates and its solution.

Рассмотрим трехслойную прямоугольную пластинку, изготовленную из различных ортотропных материалов.

Предполагается, что средний слой работает за пределом упругости, а внешние слои в пределах упругости. Координатная система выбрана следующим образом: оси ox и oy расположены в срединной плоскости среднего слоя пластинки, ось oz направлена перпендикулярно им.

Тогда связь между компонентами напряжений и деформаций в каждом слое будет определяться следующими соотношениями:

в нижнем слое:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(1)} &= \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (\alpha_1 E_X + \beta_1 E_Y), & \sigma_Y^{(1)} &= \frac{E_1}{\alpha_1 - \beta_1^2} (E_Y + \beta_1 E_X), \\ \tau_{XY}^{(1)} &= \frac{2E_1}{\gamma_1} E_{XY}, & & \left(-h_2 - \frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{h}{2} \right),\end{aligned}\quad (1)$$

в среднем слое:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E_C}{\alpha - \beta^2} (\alpha E_X + \beta E_Y), & \tau_{xy} &= \frac{2E_C}{\gamma_1} E_{XY}, \\ \sigma_y &= \frac{E_C}{\alpha - \beta^2} (E_Y + \beta E_X), & & \left(-\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} \right),\end{aligned}\quad (2)$$

в верхнем слое:

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(2)} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} (\alpha_2 E_X + \beta_2 E_Y), & \sigma_Y^{(2)} &= \frac{E_2}{\alpha_2 - \beta_2^2} (E_Y + \beta_2 E_X), \\ \tau_{XY}^{(2)} &= \frac{2E_2}{\gamma} E_{XY}, & & \left(\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} + h_2 \right).\end{aligned}\quad (3)$$

Здесь $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – характеристики анизотропии материала слоев; $E_c^i = \frac{\sigma_u^i}{E_u}$ – секущие модули диаграммы; $\sigma_u^i = \phi(Eu^i)$ – интенсивности напряжений и деформаций.

Из (1)-(3) определяется связь между вариациями напряжений и деформаций в каждом слое отдельно.

Предположим, что гипотеза Кирхгофа-Лява справедлива по всей толщине элемента пластинки, т.е.

$$\delta E_x = l_x + ZX_x, \quad \delta E_Y = l_Y + ZX_Y, \quad \delta E_{XY} = l_{XY} + ZX_{XY}, \quad (4)$$

где $l_x, l_Y, l_{XY}, X_x, X_Y, X_{XY}$ – соответственно бесконечно малые изменения деформации, кривизны и кручения срединной поверхности пластинки. Компоненты усилий и моментов вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}\delta T_i &= \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \tau_i^{(1)} dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i dz + \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}+h_2} \delta \tau_i^{(2)} dz, \\ \delta M_i &= \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \tau_i^{(1)} z dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \delta \sigma_i z_i dz + \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}+h_2} \delta \tau_i^{(2)} z dz, \quad (i \rightarrow x, y, xy),\end{aligned}\quad (5)$$

где h_1, h, h_2 – толщины соответствующих слоев.

С учетом (1)-(4) из (5) получим:

$$\delta T_x^* = r_{11}l_x + r_{12}l_y + r_{13}l_{xy} + d_{11}\bar{X}_x + d_{12}\bar{X}_y + d_{13}\bar{X}_{xy}, \dots \quad (6)$$

$$\delta M_x^* = R_{11}l_x + R_{12}l_y + R_{13}l_{xy} + D_{11}\bar{X}_x + D_{12}\bar{X}_y + D_{13}\bar{X}_{xy}, \dots \quad (7)$$

где коэффициенты r_{ij} , d_{ij} , R_{ij} , D_{ij} – известные функции параметров докритического состояния рассматриваемой пластинки.

Уравнения движения пластинки состоят из следующих:

$$\frac{\partial \delta T_x^*}{\partial \xi_1} + \frac{\partial \delta T_{xy}^*}{\partial \xi_2} - \frac{(\alpha - \beta^2)}{Eh^2} \cdot \left(\frac{\eta_1 h_1 + \eta h + \eta_2 h_2}{g} \right) \cdot \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial t^2} = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \delta T_{xy}^*}{\partial \xi_1} + \frac{\partial \delta T_y^*}{\partial \xi_2} - \frac{(\alpha - \beta^2)}{Eh^2} \cdot \left(\frac{\eta_1 h_1 + \eta h + \eta_2 h_2}{g} \right) \cdot \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial t^2} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \delta M_x^*}{\partial \xi_1^2} + 2 \frac{\partial^2 \delta M_{xy}^*}{\partial \xi_1 \partial \xi_2} + \frac{\partial^2 \delta M_y^*}{\partial \xi_2^2} - \frac{(\alpha - \beta^2)}{Eh^2} \cdot \left(\frac{\eta_1 h_1 + \eta h + \eta_2 h_2}{g} \right) \cdot \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial t^2} = 0. \quad (9)$$

Здесь h_1 , h , h_2 – удельные веса материалов слоев пластинки; g – ускорение силы тяжести; k – коэффициент постели упругого основания; U , V , W – перемещения точек срединной плоскости пластинки по направлениям x , y , z . Отметим, что деформации срединной плоскости пластинки должны удовлетворять уравнению совместности деформации:

$$\frac{\partial^2 l_x}{\partial \xi_2^2} + \frac{\partial^2 l_y}{\partial \xi_1^2} - 2 \frac{\partial^2 l_{xy}}{\partial \xi_1 \partial \xi_2} = 0. \quad (10)$$

Для исследования собственных колебаний рассматриваемой пластинки предполагается, что в системах (8) можно отбросить инерционные силы. Тогда эти уравнения будут удовлетворены, если ввести функцию напряжений следующими соотношениями:

$$\partial T_x^* = \frac{\partial^2 F}{\partial \xi_2^2}, \quad \partial T_y^* = \frac{\partial F}{\partial \xi_1^2}, \quad \partial T_{xy}^* = \frac{\partial^2 F}{\partial \xi_1 \partial \xi_2}. \quad (11)$$

С учетом (6), (7) и (11) из (9) и (10) получим следующую систему уравнений движения пластинки:

$$\alpha_{11} \frac{\partial^4 F}{\partial \xi_1^4} + \alpha_{13} \frac{\partial^4 F}{\partial \xi_1^2 \partial \xi_2^2} + \alpha_{12} \frac{\partial^4 F}{\partial \xi_2^4} + \alpha_{21} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial \xi_1^4} + \alpha_{23} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial \xi_1^2 \partial \xi_2^2} + \alpha_{22} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial \xi_2^4} = 0, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} A_{11} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial \xi_1^4} + A_{13} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial \xi_1^2 \partial \xi_2^2} + A_{12} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial \xi_2^4} + A_{21} \frac{\partial^4 F}{\partial \xi_1^4} + A_{23} \frac{\partial^4 F}{\partial \xi_1^2 \partial \xi_2^2} + A_{22} \frac{\partial^4 F}{\partial \xi_2^4} = \\ = \frac{(\alpha - \beta^2)}{Eh^2} \cdot \left(\frac{\eta_1 h_1 + \eta h + \eta_2 h_2}{g} \right) \cdot \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь a_{ij} и A_{ij} – известные функции параметров докритического состояния. Для шарнирного закрепления краев пластинки примем:

$$\bar{W} = W_0 \cdot \sin \left(\frac{m\pi}{a/h} \xi_1 \right) \cdot \sin \left(\frac{n\pi}{b/h} \xi_2 \right) \cos \varpi_{mn} t, \quad (14)$$

$$F = F_0 \cdot \sin \left(\frac{m\pi}{a/h} \xi_1 \right) \cdot \sin \left(\frac{n\pi}{b/h} \xi_2 \right) \cos \varpi_{mn} t, \quad (15)$$

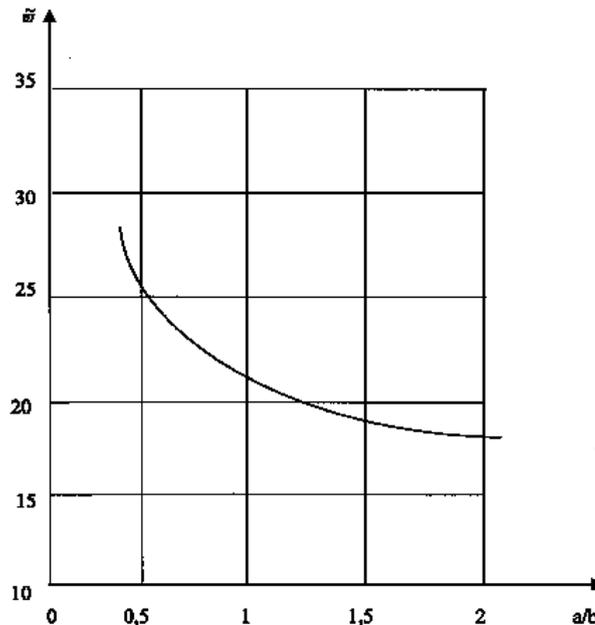
где m, n – число полуволн вдоль соответствующих сторон; ω_{mn} – частота собственных колебаний пластинки. С учетом (14) из (12) находим:

$$F_0 = -D_0 W_0; \quad D_0 = \frac{\alpha_{21} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^4 + \alpha_{23} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^2 \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 + d_{22} \left(\frac{\pi n}{b}\right)^4}{\alpha_{11} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^4 + \alpha_{13} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^2 \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 + \alpha_{12} \left(\frac{\pi n}{b}\right)^4}. \quad (16)$$

Подставляя (14) в (13), с учетом (15), после некоторых преобразований для частоты собственных колебаний рассматриваемой пластинки получим следующую формулу:

$$\omega_{mn} = \sqrt{\frac{g}{\gamma_1 h_1 + \gamma h + \gamma_2 h_2}} \cdot \left\{ \begin{array}{l} -D_0 \left[A_{21} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^4 + A_{23} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^2 \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 + A_{22} \left(\frac{\pi n}{b}\right)^4 \right] + \\ + A_{11} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^4 + A_{13} \left(\frac{mn}{\alpha}\right)^2 \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 + A_{12} \left(\frac{\pi n}{b}\right)^4 \end{array} \right\}^{1/2}. \quad (17)$$

При конкретных значениях параметров анизотропии материала слоев пластинки произведены численные расчеты и определены частоты собственных колебаний пластинки (см. рисунок).



$\lambda=0,90$
 $\alpha_1=1,4; \beta_1=0,55; \gamma=3$
 $\alpha=1,2; \beta=0,50; \gamma=3$
 $\alpha_2=1,6; \beta_2=0,60; \gamma=3$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильюшин А.А., Зубчанинов В.Г. Пластичность и устойчивость. Механика твердого тела. Тула, 1993. 168 с.
2. Королев В.И. Упругопластические деформации оболочек. М.: Машиностроение, 1971. 300 с.

3. Геюшов З.М. Колебания двухслойных анизотропных упругоэластических пластинок // Сб. науч. трудов по механике. Баку: АЗИСУ, № 821. 1993. С.21-30.

4. Геюшов З.М. О колебании двухслойных упругоэластических пластинок // Проблемы машиностроения XXI века: Материалы докл. II Междунар. конф. Баку, 2001. С.19-34.

Геюшев Закир Магамедович –

кандидат технических наук,

доцент Азербайджанского архитектурно-строительного университета

УДК 541.123:546.21`831`832

К.В. Записис, Д.А. Морозов, И.Д. Кособудский

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ В МАТРИЦЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Рассмотрен механизм образования и стабилизации наночастиц железа в полиэтиленовой матрице. Выяснено, что зародышеобразование происходит на дефектах химического строения полимера, с образованием промежуточного соединения $[Fe(CO)_4^-]$. Стабилизация частиц железа происходит посредством нековалентного взаимодействия (образование устойчивого металлополимерного комплекса) с макромолекулой полиэтилена. Рассчитана свободная энергия взаимодействия полимер-поверхность металла. Представлены модели металлополимерных комплексов.

K.V. Zapsis, D.A. Morozov, I.D. Kosokbudsky

THE MECHANISM OF ORIGINATING AND SIZE INCREASING OF IRON NANOSCALE PARTICLES IN A MATRIX OF HIGH-PRESSURE POLYETHYLENE

The mechanism of formation and stabilization of iron nanoscale particles in a polyethylene matrix surveyed. It was clarified, that the nucleation descends on flaws of chemical constitution of polymer, with formation of intermediate compound $[Fe(CO)_4^-]$. The stabilization of iron nanoscale particles descends by non-covalency interaction (formation of stable polymer-metallic complex) with macromolecule of polyethylene. The free energy of interaction a polymer-surface of metal was counted. The models of polymer-metallic complexes were submitted.

В последнее время наиболее актуальными являются исследования в области разработки композиционных материалов. Стало возможным получение металлополимерных композиций, состоящих практически из любого вида матриц (органических, неорганических), любых наполнителей, в том числе и металлических порошков с частицами, соответствующими размерам наномасштаба. Так, в работах [1,2,3] были получены композиционные материалы на основе органических матриц (полиэтилена высокого давления, политетрафторэтилена, полипропилена), содержащие частицы металлов (Fe, Ni, Cr), в различных концентрациях (1-30 масс. %).

Актуальной проблемой в настоящее время является выяснение закономерностей процесса получения металлополимерных композитов, включающего в себя механизм образования частиц металлов и их стабилизацию в матрице органического полимера. Последний процесс является необходимым в связи с возможной агрегацией наночастиц металлов.

Синтез композиционных материалов осуществляли по методике [1-3]. В расплав полиэтилена высокого давления (ПЭВД) в минеральном масле при $t=220^{\circ}\text{C}$ по каплям добавляли пентакарбонил железа ($\text{Fe}(\text{CO})_5$). Были получены композиционные материалы на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и наночастиц железа. Содержание железа составило: образец № 1 – 1,22 масс.%; образец № 2 – 3,64 масс.%. Величину частиц и их распределение по размерам определяли с помощью рентгеновского малоуглового рассеяния (РМУР). Камера КРМ–1, излучение $\text{Cu K}\alpha$, фильтр Mo , интервал 2θ съемки от $7'$ до 7° через $0,1^{\circ}$, трубка БСВ–11, напряжение 30 кВ, ток 20 А, расчеты проводились на ПЭВМ.

Исследования размера частиц и их распределения по размеру методом РМУР показали, что в матрице ПЭВД атомы железа образуют наночастицы, средние размеры которых зависят от концентрации металлов. Для образца № 1 наблюдается интенсивный максимум в области 2,2 нм, образец № 2 имеет также максимум при 2,2 нм и дополнительный максимум при 7 нм.

Как известно, важнейшим фактором, определяющим структуру композитов, является природа полимера [3]. Установлено, что полиэтилен высокого давления (ПЭВД), состоящий из аморфной и кристаллической областей, имеет также дефекты химического строения: винилиденные $\text{RR}'\text{C}=\text{CH}_2$, винильные $\text{RHC}=\text{CH}_2$ и *транс*-виниленовые $\text{RHC}=\text{CHR}'$ ненасыщенные связи (табл. 1).

Таблица 1

Содержание различных типов ненасыщенных связей в полиэтилене (в %) [4]

Связь	Полиэтилен высокого давления
$\text{RR}'\text{C}=\text{CH}_2$	~ 70
$\text{RHC}=\text{CH}_2$	~ 16
$\text{RHC}=\text{CHR}'$	~ 14

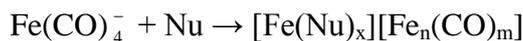
Каждая макромолекула, содержащая ~7000 атомов углерода, может иметь 3-4 двойные связи. Надмолекулярная структура ПЭВД характеризуется наличием ламелей, а дефекты находятся как в местах перегиба, так и на концах макромолекулярных цепей [4].

Образование наночастиц осуществляется по двум направлениям:

1. Образование зародышей металлической фазы осуществляется на дефектах химического строения макромолекулы ПЭВД.
2. Разложение пентакарбонила и рост частиц осуществляется собственно в областях полимера, имеющих регулярное (бездефектное) строение.

1. Образование частиц на дефектах макромолекулы

Активными центрами для образования зародышей в данном случае являются дефекты химического строения макромолекулы полиэтилена, которые представляются в виде: винилиденных $\text{RR}'\text{C}=\text{CH}_2$, винильных $\text{RHC}=\text{CH}_2$ и *транс*-виниленовых $\text{RHC}=\text{CHR}'$ ненасыщенных связей. Разложение $\text{Fe}(\text{CO})_5$ происходит с отщеплением одного лиганда CO с образованием промежуточного соединения $[\text{Fe}(\text{CO})_4]^-$ [5]. Присоединение $[\text{Fe}(\text{CO})_4]^-$ к ненасыщенным связям по донорно-акцепторному механизму осуществляется в соответствии со схемой:



Nu = нуклеофил

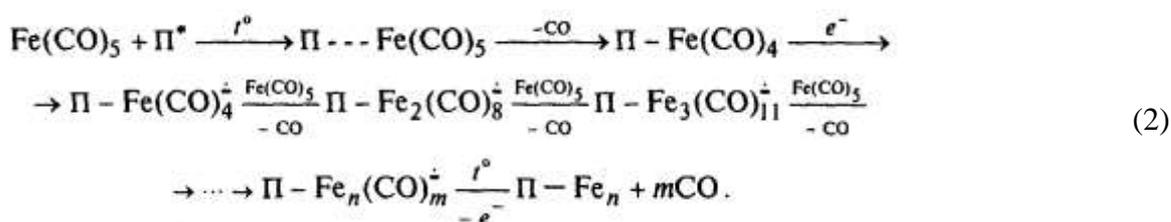
$$x = 2 - 4$$

$$n = 1, \quad m = 4 \tag{1}$$

$$n = 2, \quad m = 8$$

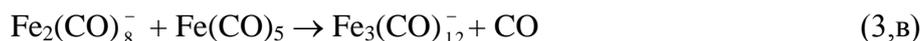
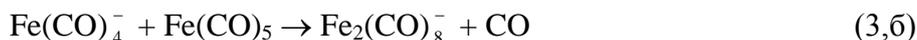
$$n = 3, \quad m = 11$$

В качестве нуклеофила выступают sp^2 -гибридизированные атомы углерода, образующие π -связь, которые присутствуют в ПЭВД в виде дефектов химического строения (см. табл. 1). Такие атомы взаимодействуют с металлом ион-радикала $[\text{Fe}(\text{CO})_4]^-$, образуя непрочное, промежуточное соединение по типу π -комплекса $[\text{H}_3\text{C}(-\text{H}_2\text{C}-)_n-\text{H}_2\text{C}_2\text{Fe}(\text{CO})_4]$, и дальнейший рост частиц осуществляется по схеме (2).

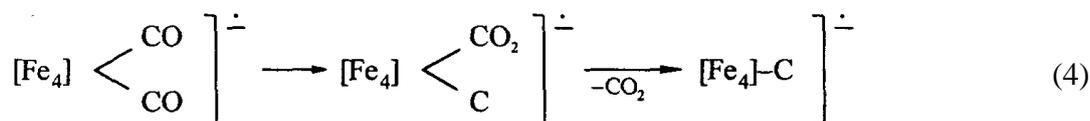


2. Образование частиц в областях, не содержащих дефекты

Механизм термического разложения пентакарбонила железа заключается в последовательном элиминировании лиганда – монооксида углерода [6], о чем свидетельствуют низкие значения энергий активации [7]. Активными центрами, в данном случае, являются мономеры, димеры и тримеры, образующиеся в результате реакций:



По достижении четырех атомов железа в кластере в координационной сфере анион-радикала может происходить диспропорционирование CO с образованием карбидного кластера (4).



Последний в избытке карбонила железа превращается в более крупные полиядерные кластеры [8].

Стабилизация наночастиц макромолекулой матрицы

При достижении частицами определенного размера рост их может прекратиться, в результате нековалентного взаимодействия (электростатического притяжения, Ван-дер-Ваальсовых сил, водородных связей) с макромолекулой матрицы [9-10]. Установлена зависимость между размером частиц и средней свободной энергией взаимодействия полимер-поверхность металла ΔG . Среднюю свободную энергию ΔG (в расчёте на единицу поверхности) рассчитывали в предположении о сферической форме частиц с помощью уравнения:

$$D^2 = k T \ln c_0 / \pi \Delta G,$$

где ΔG – средняя энергия образования $(i+1)$ -й межмолекулярной связи полимер – поверхность металла после i -й; D – средний диаметр образующихся частиц; c_0 – концентрация псевдоматрицы (в мольных долях мономерных звеньев). Значения средних свободных энергий взаимодействия полимер – поверхность металла приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения средних свободных энергий взаимодействия полимер – поверхность металла

Образец	Размер частиц, нм	ΔG , Дж/м ²
№ 1, № 2	2,2	$-6,7 \times 10^{-4}$
№ 2	7	$-1,8 \times 10^{-5}$

Из табл. 2 видно, что значения ΔG с увеличением размера частиц от 2,2 до 7 нм уменьшаются более чем на порядок. Малые частицы (2,2 нм) обладают большей поверхностной энергией, чем крупные (7-10 нм), следовательно, лучше стабилизируются в матрице полимера, не агломерируют и не подвергаются окислению при хранении на воздухе. Частицы больших размеров плохо стабилизируются в полиэтилене и подвергаются окислению при хранении композита на воздухе, поскольку полиэтилен имеет свойство пропускать через свой объем различные газы.

Модели металлополимерных комплексов

Рассмотренный процесс стабилизации в соответствии с процессом зарождения частиц на дефектах макромолекул предполагает следующие модели металлополимерных комплексов (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что железосодержащие частицы локализуются и стабилизируются на дефектах строения макромолекулярной цепи (рис. 1,а – на винильных, 1,б – на винилиденовых, 1,в – на *транс*-виниленовых связях). На рис. 2 показана структура металлополимерного композита. Такая структура подтверждает возможность существования предложенных моделей металлополимерных комплексов.

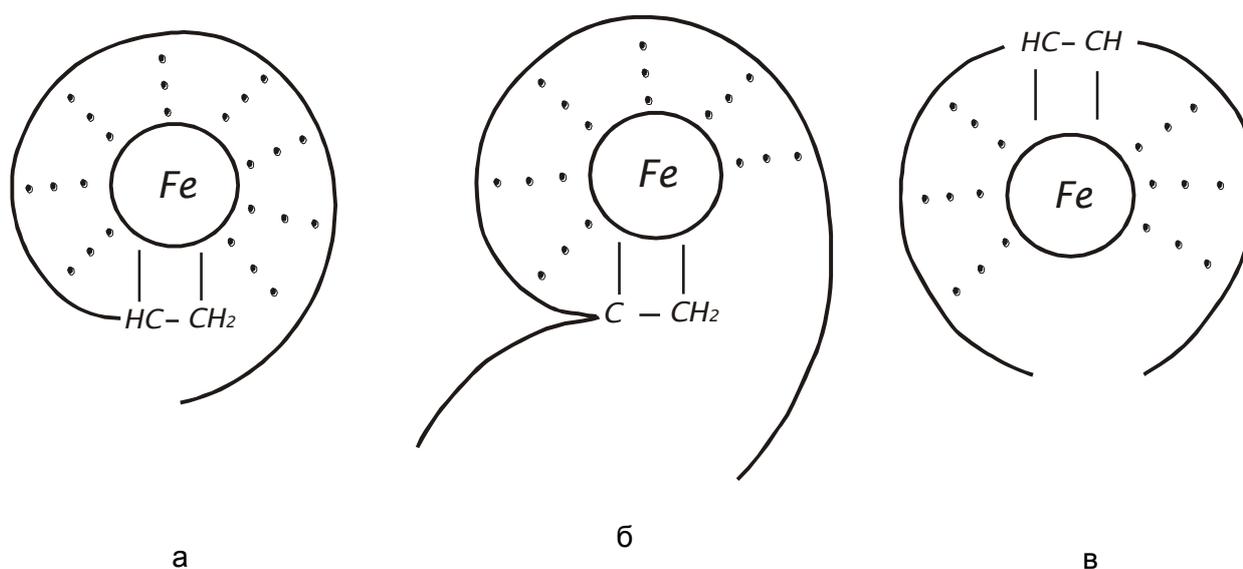


Рис. 1. Модели металлополимерных комплексов

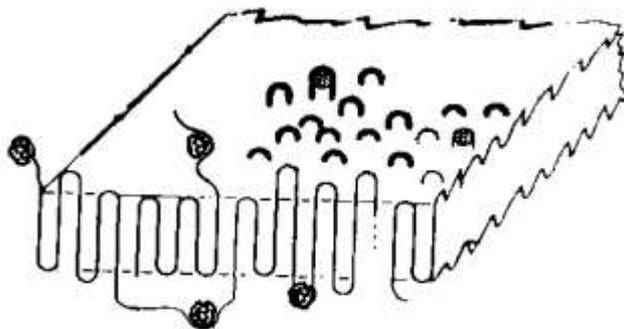


Рис. 2. Надмолекулярная структура металлополимерного композита

Таким образом, в работе рассмотрен механизм образования и стабилизации железосодержащих наночастиц в матрице полиэтилена. Показано, что образование и рост зародышей металлической фазы может происходить как на дефектах химического строения (ненасыщенные связи) макромолекул полимера, так и в областях полимера, не содержащих дефектов. Определены свободные энергии взаимодействия полимер – поверхность металла, значения которых составляют $\sim -10^{-4}$ Дж/м².

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ грант № 04-03-32597-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. «Безлигандные» металлические кластеры в инертных полимерных матрицах / С.П. Губин, И.Д. Кособудский, С.П. Пискорский и др. // ДАН СССР. 1981. Т.260. № 3. С.655-658.
2. Губин С.П., Кособудский И.Д. Однофазные металлополимеры // ДАН СССР. 1983. Т.273. № 3. С.1155-1158.
3. Новые металлополимеры – металлические кластеры в полимерной матрице / С.П. Губин, И.Д. Кособудский, С.П. Пискорский и др. // Высокомолекулярные соединения. 1985. № 4. С.689-695.
4. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. М.–Л.: Химия, 1964. 208 с.
5. Tomas W., Smith and Darlene Wychick. Colloidal Iron Dispersions Prepared via the Polymer-Catalyzed Decomposition of Iron Pentacarbonyl // J. Phys. Chem. 1980. Vol.84. P.1621-1629.
6. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000. 152 с.
7. Паписов И. М., Литманович А. А. Получение нанокомпозитов в процессах, контролируемых макромолекулярными псевдоматрицами. Теоретическое рассмотрение // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 1997. Т.39. № 2. С.323-326.
8. Кабанов В.А., Паписов И. М. Комплексообразование между комплементарными синтетическими полимерами и олигомерами в разбавленных растворах // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1979. Т.21. № 2. С.243-256.
9. Паписов И. М., Литманович А.А. Специфичность кооперативных взаимодействий между простыми синтетическими макромолекулами и ее связь с длиной цепи // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1977. Т.19. №4. С.716-732.
10. Узнавание и замещение во взаимодействиях макромолекул и наночастиц / О.Е. Литманович, А.Г. Богданов, А.А. Литманович, И.М. Паписов // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1998. Т.40. № 1. С.100-101.

Запис Константин Васильевич –

аспирант кафедры «Химия» Саратовского государственного технического университета

Морозов Даниил Анатольевич –

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

Кособудский Игорь Донатович –

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

УДК 371.263(07)

А.А. Захаров

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОМПЛЕКСНЫХ ТЕСТОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ,
СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ БИНОМА НЬЮТОНА**

Для определения количественных и структурных характеристик тестовых заданий предлагается использовать бином Ньютона $(a+b)^n$, в котором a и b рассматриваются в качестве признаков, а величина n определяет число событий, причем события и признаки могут представлять собой элементы двух множеств в тестовом задании на соответствие.

A.A. Zacharov

**QUANTITATIVE AND STRUCTURED FEATURES
OF THE COMPLEX TEST COMPOSITIONS,
FORMED ON BASE OF NEWTON'S BINOMIAL THEOREM**

For the determination of the quantitative and structural features of the test tasks is offered to use the Binomial theorem $(a+b)^n$, in which a and b are considered as signs, and value n defines as the number of events and moreover the events and signs can present by themselves the elements of two sets in a test task on a correspondence.

В одной из первых работ российских авторов по тестированию, где были изложены научные принципы и методические правила разработки заданий в тестовой форме, особо отмечалась привлекательность формирования заданий по принципу «удвоенной альтернативы», когда в каждом ответе присутствуют два элемента (понятия, события, устройства), последовательно противопоставляющиеся друг другу [1-4].

Такие композиции тестовых заданий формируются по принципу определенного соотношения событий в системе «истинность – ложность» по наличию или отсутствию выбранного признака через оценку «да – нет, 1 – 0».

Кроме того, автор [1-4] отмечал, что противопоставления, оформленные композиционно в тестовые задания, представляют определенные трудности в процессе поиска правильного варианта ответа даже для хорошо подготовленных студентов, а у слабых может происходить «разрушение» непрочных знаний.

Принцип «удвоенной альтернативы» или принцип рассечения хорошо согласуется с принципом двужначности, который, фактически, имеет тесную связь с законом исключенного третьего [5], когда для выбранного утверждения А имеется лишь две возможности:

А истинно или А ложно.

При использовании принципа рассечения, для которого в отношении двух утверждений А и В вероятны оба состояния (признаки) как ложно, так и истинно, получаются четыре возможности или исхода:

1. А и В оба истинны;
2. А истинно, В ложно;
3. А ложно, В истинно;
4. А и В оба ложны.

При произвольном числе событий n и признаков k , каждый из которых характеризует конкретные события, общее число возможных исходов S_i определяется в соответствии с соотношениями комбинаторики. Кроме того, наличие произвольного числа признаков и событий позволяет рассматривать систему исходов как элементы экспертных систем или систем распознавания образов при использовании соответствующего количества множеств – признаков.

Для определения количественных и структурных характеристик тестовых заданий в виде экспертных композиций целесообразно использовать биномиальные коэффициенты, которые вычисляются для всех целых неотрицательных чисел n, k через функцию C_n^k (или $\binom{n}{k}$):

$$C_n^k = \begin{cases} \frac{n!}{k!(n-k)!} & \text{для } 0 \leq k \leq n, \\ 0 & \text{для } 0 \leq n \leq k. \end{cases}$$

Значения биномиальных коэффициентов C_n^k могут быть последовательно найдены из известного треугольника Паскаля:

n	C_n^k	Σ
0	1	1
1	1 1	2
2	1 2 1	4
3	1 3 3 1	8
4	1 4 6 4 1	16
5	1 5 10 10 5 1	32
6	1 6 15 20 15 6 1	64
7	1 7 21 35 35 21 7 1	128
8	1 8 28 56 70 56 28 8 1	256
9	1 9 36 84 126 126 84 36 9 1	512
10	1 10 45 120 210 252 210 120 45 10 1	1024

В графе Σ приведены данные об общем количестве исходов в предположении, что величина биномиального коэффициента отражает возможные вариации в системе события – признаки, как будет показано в дальнейшем.

Каждая ячейка треугольника Паскаля представляет собой сумму двух стоящих над ним (справа и слева) биномиальных коэффициентов, то есть в каждой строке слева направо стоят значения $C_n^0, C_n^1, C_n^2, \dots, C_n^n$, а остальные равны нулю.

Ограничения, которые изложены выше для коэффициентов n и k , снимаются, если использовать формулу бинома Ньютона, когда для всех действительных чисел a и v , отличных от нуля, и для всех натуральных чисел n применяется соотношение

$$(a + v)^n = \sum_{k=0}^n C_n^k a^{n-k} v^k = C_n^0 a^n v^0 + C_n^1 a^{n-1} v^1 + \dots + C_n^n a^0 v^n ,$$

где $C_n^0 = C_n^n = 1$, $a^0 = v^0 = 1$, что и отражено в треугольнике Паскаля, т.е.

$$(a + v)^n = a^n + C_n^1 a^{n-1} v + C_n^2 a^{n-2} v^2 + \dots + v^n .$$

Это уравнение при $n=2$ сводится к

$$a^2 + 2 av + v^2 ,$$

с биномиальными коэффициентами, которые находятся во второй строке (1,2,1) треугольника Паскаля.

При $v=0$ и произвольном a получаем соотношение a^n , которое можно использовать для вычисления числа исходов, то есть вариаций тестовых заданий, когда под a подразумевается число признаков, а n – число событий (то есть в случае многомерной альтернативы).

Пусть a и v характеризуют наличие признаков типа a и типа v , а величина a и величина v указывают на количество признаков, которые характеризуют все события n . В этом случае величина степенного показателя в a^{n-1} определяет число событий, характеризуемых признаком a , то есть при $n=10$ это будет соответствовать $n-1$ повторений признака a (9 событий), следовательно, признак v будет соответствовать только одному событию и с учетом перестановок признака v по событиям получаем 10 исходов.

Допустим, что в качестве признаков используются числовые значения 1,0, то есть сумма $a+v=2$, следовательно, общее число исходов составляет 1024, при этом в треугольнике Паскаля крайние единицы означают, что все десять событий характеризуются признаками «0» или признаками «1».

Вернемся к анализу соотношения $(a+v)^n$.

Пусть $a \geq 1, v \geq 1$. Как уже отмечалось, a и v определяют количество существующих признаков, следовательно, если $a=2$, то это означает, что могут быть признаки типа «да – нет», «да – да», «нет – нет» и в общем случае x, y .

По аналогии при $v=1$ существует только один признак типа z . Поэтому

$$(a + v)^n = [(x + y) + z]^n = x^2 + 2xy + y^2 + 2xz + 2yz + z^2 .$$

В полученном выражении 6 слагаемых, сумма коэффициентов при которых равна 9. Это означает, что у нас 9 исходов для двух событий А и В типа

А	x	x	y	y	x	z	y	z	z
В	x	y	x	y	z	x	z	y	z

Или, когда $x=0, y=1, z=2$:

А	0	0	1	1	0	2	1	2	2
В	0	1	0	1	2	0	2	1	2

При $n=3$ и $a+v=3$ в общем случае получаем $3^3=27$ исходов, аналогичного вида

$$(a + v)^3 = x^3 + 3x^2y + 3xy^2 + y^3 + 3x^2z + 6xyz + 3y^2z + 3xz^2 + 3yz^2 + z^3 .$$

Последнее уравнение содержит 10 слагаемых, которые будем считать структурами, причем сумма коэффициентов перед слагаемыми равна 27, что соответствует числу возможных исходов.

Степенные коэффициенты признаков x, y, z определяет их количество в конкретных структурах, а биномиальные коэффициенты – общее число таких исходов. Конкретные слагаемые соответствуют определенным исходам (табл. 1).

Таблица 1

Исходы при $k=3, n=3$

S_i События	$S_1 S_2 S_3$	$S_4 S_5$ S_6	$S_7 S_8$ S_9	$S_{10} S_{11}$ S_{12}	$S_{13} S_{14}$ S_{15}	$S_{16} S_{17}$ S_{18}	$S_{19} S_{20}$ S_{21}	$S_{22} S_{23} S_{24} S_{25}$ $S_{26} S_{27}$
A	0 1 2	0 0 1	0 1 1	0 0 2	1 1 2	0 2 2	1 2 2	0 2 1 0 2 1
B	0 1 2	0 1 0	1 0 1	0 2 0	1 2 1	2 0 2	2 1 2	1 0 2 2 1 0
C	0 1 2	1 0 0	1 1 0	2 0 0	2 1 1	2 2 0	2 2 1	2 1 0 1 0 2
	x^3, y^3, z^3	$3x^2y$	$3xy^2$	$3x^2z$	$3y^2z$	$3xz^2$	$3yz^2$	$6xyz$

Суммарное количество исходов для любого случая, как уже отмечалось, определяется соотношением

$$(a + b)^n = k^n,$$

где k – число признаков, а n – число событий.

С учетом приведенного анализа случай для двух признаков и 10 событий может быть расписан в виде:

$$(x + y)^{10} = x^{10} + 10x^9y + 45x^8y^2 + 120x^7y^3 + 210x^6y^4 + 252x^5y^5 + 210x^4y^6 + 120x^3y^7 + 45x^2y^8 + 10xy^9 + y^{10}.$$

Поскольку $x=1$ и $y=1$ в рассматриваемой системе означают «1», «0», следовательно первое и последнее слагаемые соответствуют тому, что события являются ложными «0» или истинными «1».

Пусть события характеризуются таким образом, что девять из них соответствуют признаку «0», а одно событие – признаку «1», тогда, используя формулу

$$C_n^m = \binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!},$$

получим только 10 возможных исходов, то есть 10 видов тестовых заданий, в которых признак «1» перемещается от первого, например, события до десятого или наоборот, то есть фактически структура тестового задания остается неизменной, а число вариаций поиска правильного соответствия конкретного (одного из десяти) события признаку «1» остается равным 10 (табл. 2).

Аналогичная картина наблюдается и при использовании противоположного количества признаков, соответствующих «0» и «1».

Совершенно другая ситуация возникает в случае, когда 10 событий неявно определяются признаками «0» и «1», то есть мы не знаем, какое количество событий характеризуется признаком «0» и какое – признаком «1». В соответствии с треугольником Паскаля число комбинаций возрастает до 1024, что характеризует высокие тестовые возможности такого рода форм заданий, которые можно назвать несимметричными (в множестве событий – 10

элементов, в множестве признаков – 2 элемента). Такое положение, например, возникает, когда множество событий включает в себя в качестве элементов характеристики различных устройств сверхвысоких частот (события), связанных с понятием линейного и нелинейного режима работы (признаки).

Таблица 2

Исходы при $x(0)=9$, и $y(1)=1$

События \ Исходы S_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
А	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Б	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
С	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Д	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Е	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ж	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
З	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
И	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
К	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Л	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Если принять в этом варианте, что только 3 события характеризуют линейный режим, 7 – нелинейный, то число возможных вариантов правильных и неправильных соотношений достигает 120, и, учитывая симметрию соотношений на основе формулы для числа сочетаний

$$C_{10}^3 = C_{10}^7,$$

получаем еще 120 вариантов, из которых только одно может быть абсолютно правильным.

Следовательно, число вариантов, равное 120, в практическом плане приемлемо, так как вероятность угадывания здесь будет менее 1%.

Однако выдать тестируемому 120 вариантов одновременно невозможно, а сопровождение правильного ответа только тремя дистракторами (при четырех вариантах ответа, как рекомендуется в традиционной практике) приведет к тому, что вероятность угадывания существенно возрастет и достигнет 25%.

Нормальный выход из сложившейся ситуации заключается в формировании параллельных тестовых заданий (не тестов, а именно параллельных тестовых заданий), в том числе частично корректных и ложных. Достаточно представить 10 параллельных тестовых заданий, чтобы снизить вероятность угадывания до 2,5%, что уже вполне допустимо, поскольку такие значения находятся на уровне точности измерений.

При интенсивном использовании параллельных тестовых заданий нет смысла переходить к трехпараметрической модели, как это рекомендуется в теории современных тестов [6].

Преобразование тестового задания на соответствие в экспертную композицию происходит при наличии в структуре тестового задания, как правило, более двух множеств.

В этом случае получается аналогичная рассматриваемым совокупность исходов, которые характеризуют выбранные события относительно системы соответствующих признаков.

Правильно выбранные признаки в различных множествах позволяют идентифицировать событие, то есть распознать его образ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Адепт, 1998. 217 с.
2. Аванесов В.С. Научные основы тестового контроля знаний. М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 1995. 115 с.
3. Аванесов В.С. Теоретические основы разработки заданий в тестовой форме: Пособие для проф.-преп. состава высш. школы. М.: Наука, 1995. 95 с.
4. Аванесов В.С. Тесты в социологическом исследовании. М.: Наука, 1982. 180 с.
5. Философия. Логика. Язык / Пер. с англ. и нем.; Сост. и предисл. В.В. Петрова; Общ. ред. Д.П. Горского и В.В. Петрова. М.: Прогресс, 1987. 336 с.
6. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: Учеб. пособие. М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 2002. 406 с.

Захаров Александр Александрович –

кандидат технических наук, профессор кафедры «Электронные приборы и устройства» Саратовского государственного технического университета

УДК 539.3; 534.1

В.А. Крысько, И.В. Кравцова

ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕОДНОРОДНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Исследуются хаотические колебания детерминированных механических систем в виде гибких сферических осесимметричных оболочек. Проблема исследования хаоса в детерминированных системах является чрезвычайно сложным и перспективным направлением научных исследований, поскольку хаотические колебания встречаются довольно часто в технике и могут возникать в системах различной природы.

Для управления колебаниями гибких осесимметричных оболочек построены карты параметров внешнего неоднородного знакопеременного воздействия. Исследования проведены для одного типа граничных условий – шарнирно-подвижного опорного контура. Исследованы сценарии перехода колебаний оболочечной системы в состояние хаоса на основе качественной теории дифференциальных уравнений и теории нелинейной динамики.

V.A. Krysko, I.V. Kravtsova

CHAOTIC VIBRATIONS OF THE SPERICAL SHELLS UNDER THE INFLUECE OF INHOMOGENEOUS LOADS

The chaotic fluctuations of the determinated mechanical systems as flexible spherical axisymmetric shells are statid in this article. The problem of research of the chaos in the determinated systems is an extremely complexed and perspective direction of scientific researches because the chaotic fluctuations can be found quite often in technics and in systems of different nature as well.

For the control of fluctuations flexible axisymmetric shells maps of parameters of external in homogeneous sign-variable influence were constructed. The studies were done for one type of boundary conditions – a hinged movable support contour. Scripts of the transition of fluctuations membraned systems in a chaotic condition were researched on the basis of the qualitative theory of the differential equations and the theory of nonlinear dynamics.

Введение

Исследованию хаотических колебаний гибких пологих оболочек в настоящее время уделяется ограниченное внимание. В основном исследованы задачи статики и задачи динамической потери устойчивости при действии импульсных нагрузок, постоянных во времени, при действии же знакопеременной поперечной нагрузки уделено меньше внимания и совсем не изучались колебания при действии неоднородного нагружения. Это связано с тем, что теория нелинейных диссипативных механических систем только начинает развиваться. Данная работа ставит своей целью заполнить указанный выше пробел. Здесь следует отметить, что исследованию параметрических колебаний прямоугольных в плане пластин посвящены работы [1-8]. Вопросам существования решений посвящена работа [9]. Настоящая работа является продолжением исследований [10], выполненных в данном направлении.

Метод и алгоритм расчета

Рассмотрим пологую сферическую осесимметричную оболочку, представляющую собой замкнутую двумерную область пространства R^2 в полярной системе координат, введенной следующим образом: $\Omega = \{ (r, z) \mid r \in [0, b], -\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} \}$. Система уравнений динамики пологих осесимметричных оболочек запишется в виде [11]:

$$w'' + \varepsilon w' = -\frac{\partial^4 w}{\partial r^4} - \frac{2}{r} \frac{\partial^3 w}{\partial r^3} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - \frac{1}{r^3} \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{\Phi}{r} \left(1 - \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \right) - \frac{\partial \Phi}{\partial r} \left(1 - \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) + 4q, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \Phi}{\partial r} = \frac{\partial w}{\partial r} \left(1 - \frac{1}{2r} \frac{\partial w}{\partial r} \right),$$

где $\Phi = \frac{\partial F}{\partial r}$. Здесь введены безразмерные величины: $\bar{t} = \omega_0 t$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma R^2}}$; $\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{g}{\gamma E}} \frac{R}{h} \varepsilon$,

$\bar{F} = \eta \frac{F}{Eh^3}$; $\bar{w} = \sqrt{\eta} \frac{w}{h}$; $\bar{r} = b \frac{r}{c}$; $\bar{q} = \bar{q}_3 = \frac{\sqrt{\eta}}{4} \frac{q_3}{E} \left(\frac{R}{h} \right)^2$; $\eta = 12(1-\nu^2)$; $b = \sqrt[4]{\eta} \frac{c}{\sqrt{Rh}}$, где t –

время; ε – коэффициент сопротивления среды, в которой происходит движение оболочки; F – функция усилий; w – функция перемещений; R, c – главный радиус кривизны у опорного контура и радиус опорного контура в окружном направлении соответственно; h – толщина оболочки; b – параметр пологости; ν – коэффициент Пуассона; r – расстояние от оси вращения до точки на срединной поверхности; q – параметр внешней нагрузки; ω_0 – частота собственных линейных колебаний; ω_p – частота возбуждения. Для краткости черточка над безразмерными величинами в уравнении (1) опущена. Производные по t и далее будем обозначать штрихом. К системе (1) следует присоединить граничные и начальные условия и условия в вершине. Для шарнирно-подвижного контура в меридиональном направлении граничные условия запишутся в виде:

$$1) \Phi = w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \nu \frac{\partial w}{\partial r} = 0, \quad \text{при } r = b; \quad (2)$$

2) для случая действия опорного знакопеременного момента неоднородные граничные условия запишем в виде:

$$\Phi = w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \nu \frac{\partial w}{\partial r} = M_0 \sin(\omega_p t), \quad \text{при } r = b; \quad (3)$$

$$\text{начальные условия: } w = f_1(r, 0), \quad w' = f_2(r, 0), \quad 0 \leq t < \infty. \quad (4)$$

В малой окрестности вершины оболочки справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \Phi &\approx Ar; \quad \Phi' \approx A; \quad w \approx B + Cr^2; \\ w' &\approx 2Cr; \quad w'' \approx 2C; \quad w''' \approx 0. \end{aligned} \quad (5)$$

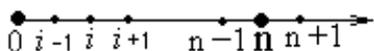


Рис. 1

Для сведения распределенной системы (1)-(5) к системе с сосредоточенными параметрами воспользуемся методом конечных разностей с аппроксимацией $O(\Delta^2)$ по пространственной переменной r (рис. 1):

$$\begin{aligned} y - \Lambda(\Lambda w) + \Lambda_{rr}(\Lambda F - \Lambda_{rr} F) + \Lambda_{rr} F(\Lambda w - \Lambda_{rr} w) + \Lambda F + 4q_i &= (w_{tt} + \varepsilon w_t)_i; \\ \Lambda(\Lambda F) &= -\Lambda_{rr} w(\Lambda w - \Lambda_{rr} w) - \Lambda w, \end{aligned}$$

где

$$\Lambda(\cdot) = \Lambda_{rr}(\cdot) + \Lambda_r(\cdot), \quad \Lambda_r(\cdot) = \frac{1}{r_i^2}(\cdot)_r, \quad \Lambda_{rr}(\cdot) = (\cdot)_{rr}, \quad (6)$$

$$\Lambda_{rr}(\cdot) = \frac{1}{\Delta^2}[(\cdot)_{i+1} - 2(\cdot)_i + (\cdot)_{i-1}], \quad \Lambda_r(\cdot) = \frac{1}{2 \cdot \Delta \cdot r_i^2}[(\cdot)_{i+1} - (\cdot)_{i-1}].$$

Граничные условия:

1) для шарнирно-подвижного опорного контура в меридиональном направлении:

$$\Phi_n = 0, \quad w_{n+1} = -w_{n-1} \left(\frac{1}{\Delta^2} - \frac{\nu}{r_n} \right) / \left(\frac{1}{\Delta^2} + \frac{\nu}{r_n} \right); \quad (7)$$

2) для оболочки с шарнирно-подвижным опорным контуром при действии опорного знакопеременного момента:

$$\Phi_n = 0, \quad w_{n+1} = \left(M_0 \sin(\omega_p t) - w_{n-1} \left(\frac{1}{\Delta^2} - \frac{\nu}{r_n} \right) \right) / \left(\frac{1}{\Delta^2} + \frac{\nu}{r_n} \right), \quad (8)$$

где $\Delta = b/n$, $n \in N$; n – число участков деления радиуса оболочки. Начальные условия:

$$w_n = f_1(r_k, 0), \quad w'_n = f_2(r_k, 0), \quad (0 \leq k \leq n), \quad 0 \leq t < \infty. \quad (9)$$

Если пренебречь малыми слагаемыми и заменить дифференциальные операторы центральными конечно-разностными при $r = \Delta$, получим условия в вершине:

$$\Phi_0 = \Phi_2 - 2\Phi_1; \quad w_0 = \frac{4}{3}w_1 - \frac{1}{3}w_2; \quad w_{-1} = \frac{8}{3}w_1 - \frac{8}{3}w_2 + w_3. \quad (10)$$

В настоящей работе рассматривается решение задачи при $n=20$. Предварительно исследовался вопрос о сходимости решения в зависимости от числа n разбиения радиуса оболочки [10] и было установлено, что $n=20$ является оптимальным по времени и точкам разбиения.

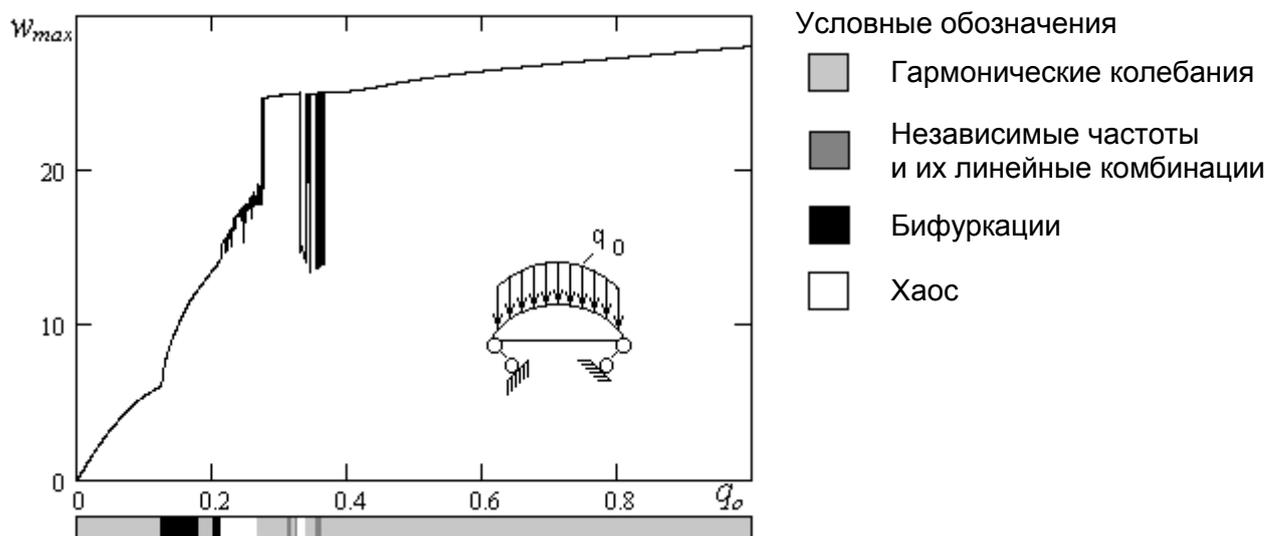
После сведения задачи (6)-(9) к нормальному виду задачу Коши будем решать методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. Шаг по времени выбирается из условия устойчивости решения ($\Delta t = 3.90625 \cdot 10^{-3}$). Достоверность получаемых результатов для гармонических и хаотических колебаний была показана в работе [10].

Динамика оболочек при действии однородного и неоднородного знакопеременного нагружения

Анализ проводился на основе качественной теории дифференциальных уравнений и нелинейной динамики. Исследовались сигналы $w(t)$, фазовые и модальные портреты $w(w')$, $w\left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}\right)$ соответственно, отображение Пуанкаре $w_i(w_{i+T})$, спектры мощности, построенные на базе быстрого преобразования Фурье $S(\omega_p)$, зависимости $w_{\max}(q_0)$, $w_{\max}(M_0)$, карты управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$, $\{M_0, \omega_p\}$, где q_0 и M_0 – амплитуды вынуждающей нагрузки, построенные на базе анализа спектра мощности и старшего ляпуновского показателя при разбиении областей $\{q_0, \omega_p\}$, $\{M_0, \omega_p\}$ на $N \times N$. Причем проводилась сходимость полученных результатов для карт управляющих параметров в зависимости от N . Характер колебания на картах и шкалах отмечен соответствующей цветовой гаммой. В зависимости от характера нагружения был сформулирован ряд задач, анализ которых проводится ниже. Причем, для выяснения именно характера колебания в зависимости от типа нагрузки на оболочку были рассмотрены оболочки с одним параметром пологости – $b=4$ и одним типом краевых условий – шарнирно-подвижным опорным контуром (7) или (8), начальные условия $w_i = 0$ и $w'_i = 0$, $0 \leq i \leq n$, $i \in Z$.

Задача 1. Оболочка при действии равномерно распределенной знакопеременной нагрузки $q=q_0 \sin(\omega_p t)$, краевые условия (7)

Согласно программе исследования, приведенной выше, была построена характеристика $w_{\max}(q_0)$ для собственной линейной частоты $\omega_0=\omega_p=0,644$ (рис. 2), там же приведена шкала характера колебаний в зависимости от q_0 . Далее в работе используются условные обозначения, приведенные на рис. 2.



В данной динамической задаче переход колебаний механической системы из гармонических в хаотические происходит по сценарию Фейгенбаума [12] (последовательность бифуркаций). Следует отметить, что сценарий Фейгенбаума при действии равномерно распределенной знакопеременной нагрузки развивается на частоте $\omega_p/2$. Модель Фейгенбаума хорошо подтверждается численными экспериментами на простых математических моделях.

В результате исследования мы обнаружили шесть бифуркаций Хопфа и была вычислена константа Фейгенбаума – 4.6689... Теоретическое же ее значение равно 4.66916224... Различие теоретических расчетов с данным численным экспериментом составляет 0,004%. В обоих случаях наблюдается сценарий, который описан в работе [13] (переход от гармонических колебаний в хаотические через две

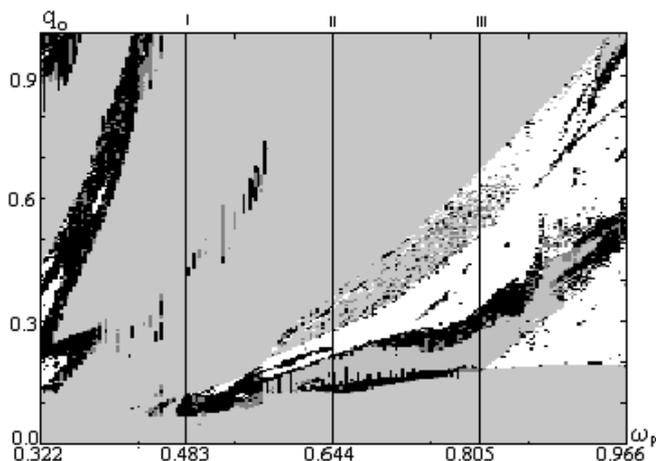


Рис. 3. Карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$

линейно независимые частоты и их линейные комбинации – модифицированный сценарий Рюэля-Такенса). Переход от хаотических колебаний к гармоническим сопровождается жесткой потерей устойчивости. Шкала типов сигнала подтверждает этот факт. Карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$ для оболочки с шарнирно-подвижным опорным контуром при действии равномерно распределенной знакопеременной нагрузки приведена на рис. 3. Все условные обозначения указаны на рис. 2. Три вертикальные прямые на рисунке проведены для частот: средняя линия для $\omega_p = \omega_0$ – частоты собственных линейных колеба-

ний, правая и левая линии от нее соответственно для $\omega_p - \frac{\omega_p}{4}$ и $\omega_p + \frac{\omega_p}{4}$. Анализ этой карты показывает все многообразие сложных колебаний сферических оболочек при действии указанной в заголовке нагрузки.

Анализируя карту, можно отметить обширные зоны хаотических колебаний на высоких частотах, на низких частотах наблюдаются зоны бифуркаций. Переход от гармонических колебаний к хаотическим осуществляется по Фейгенбаумскому сценарию, о чем свидетельствуют небольшие зоны, закрашенные черным цветом. Также можно отметить вкрапления зон колебания оболочек по сценарию работы [13], т.е. по модифицированному сценарию Рюэля-Такенса.

Задача 2. Действие только гармонических $M = M_0 \sin(\omega_p t)$ воздействий на опорном контуре оболочки

Рассмотрим характер колебаний оболочки при действии гармонических $M = M_0 \sin(\omega_p t)$ воздействий на опорном контуре для оболочки с краевыми условиями (8). На рис. 4 представлен график зависимости максимального прогиба от амплитуды вынуждающей нагрузки $M = M_0 \sin(\omega_p t)$, где $\omega_0 = \omega_p = 0,644$. График зависимости $w_{\max}(M_0)$ для данной задачи очень схож с графиком для оболочки при действии равномерно распределенной знакопеременной нагрузки (рис. 2). При данном нагружении оболочки переход из гармонических колебаний в хаотические происходит также по сценарию Фейгенбаума.

Удвоение периода происходит на частоте $\omega_p/3$. Для данной задачи были обнаружены четыре бифуркации Хопфа и также вычислена константа Фейгенбаума, которая равна

4.60863204... Различие с теоретическим значением составляет 1,289%. Аналогично предыдущей задаче здесь наблюдаются вкрапления зон колебаний – переход от одного типа колебаний к другому происходит по сценарию, описанному в [13] – модифицированному сценарию Рюэля-Такенса.

Переход от хаотических колебаний к гармоническим сопровождается жесткой потерей устойчивости. Также была построена карта управляющих параметров для оболочки с неоднородными граничными условиями $\{M_0, \omega_p\}$ (рис. 5). Данная карта управляющих параметров имеет большое сходство с картой, построенной для оболочки при действии равномерно распределенной знакопеременной нагрузки. Здесь можно отметить обширную зону хаотических колебаний на высоких частотах, небольшие зоны бифуркаций Хопфа на низких частотах, присутствуют зоны колебания оболочек, происходящих по сценарию работы [13], т.е. модифицированный сценарий Рюэля-Такенса.

Задача 3. Действие локальной знакопеременной нагрузки
 $q=q_0 \sin(\omega_p t)$

Рассмотрим поведение оболочки с шарнирно-опорным контуром при действии локальной нагрузки. Нагрузка $q=q_0 \sin(\omega_p t)$ была приложена к пяти точкам $8 \leq i \leq 12$, где $0 \leq i \leq n$; $i, n \in Z$ в окрестности четвертой, в остальных точках $q=0$. График зависимости $w_{max}(q_0)$ приведен на рис. 6. При данном нагружении оболочки также присутствует фейгенбаумовский сценарий. По результатам численного эксперимента мы обнаружили пять бифуркаций Хопфа и рассчитали значение константы Фейгенбаума, равное $4/67784\dots$, разница с теоретическим значением составила 0,168%. Зона хаотических колебаний меньше, чем в первых двух задачах.

Присутствуют две жесткие бифуркации. Первая жесткая бифуркация, соответствующая жесткой потере устойчивости, происходит при переходе от гармонических колебаний к

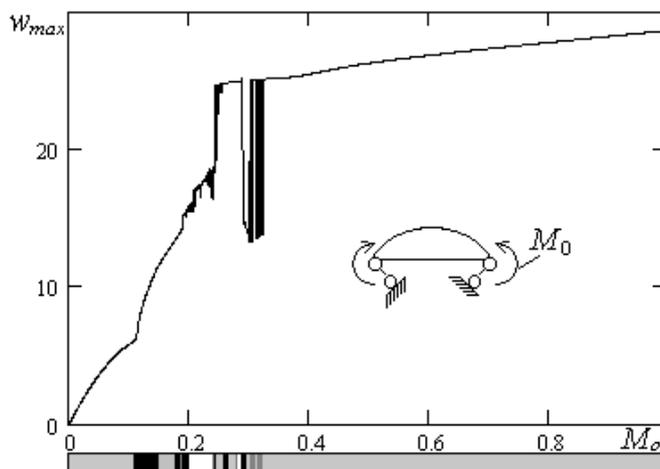


Рис. 4. График зависимости $w_{max}(M_0)$

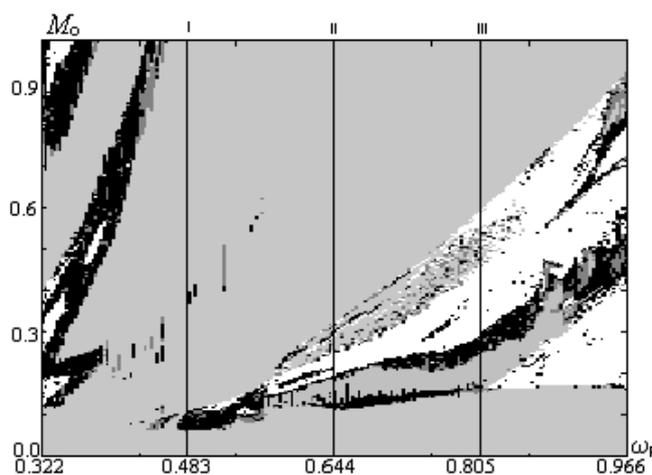


Рис. 5. Карта управляющих параметров $\{M_0, \omega_p\}$

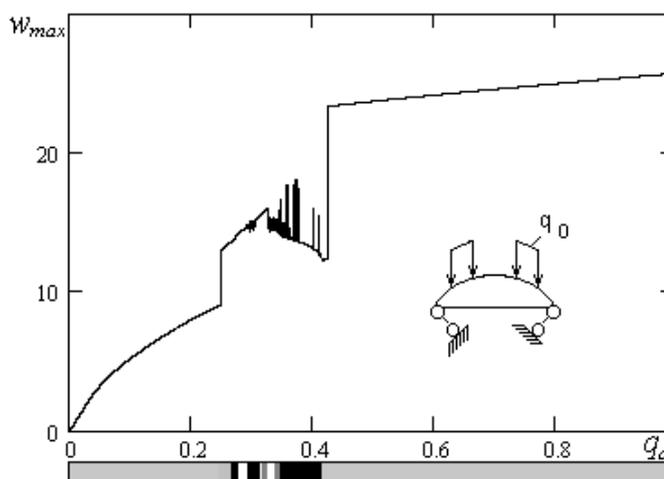


Рис. 6. График зависимости $w_{max}(q_0)$

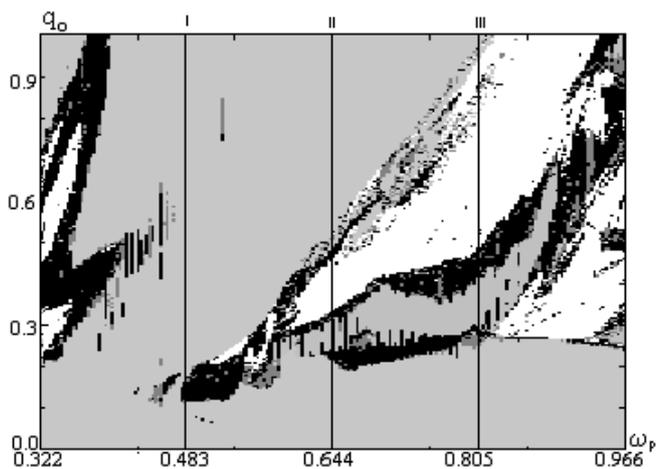


Рис. 7. Карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$

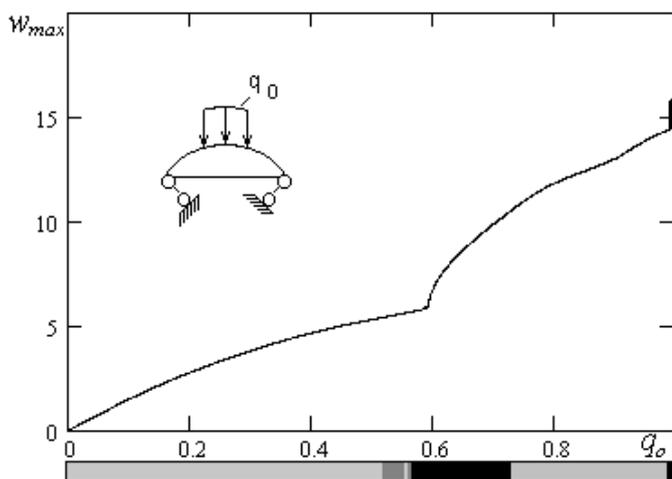


Рис. 8. График зависимости $w_{\max}(q_0)$

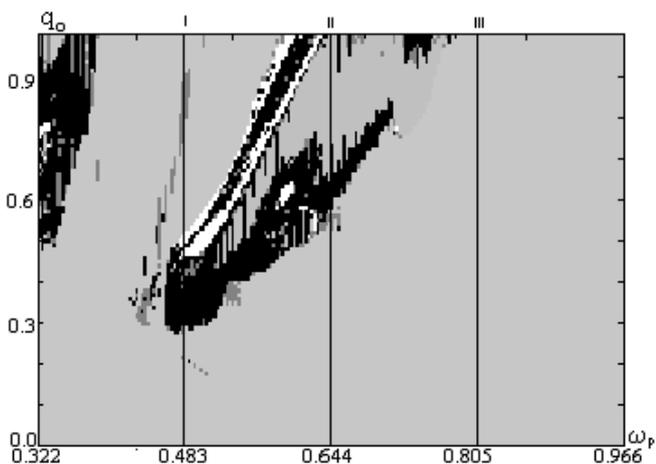


Рис. 9. Карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$

первой бифуркации Хопфа, а вторая – при переходе от хаотических колебаний к гармоническим, о чем свидетельствует шкала типов сигнала. Также была построена карта управляющих параметров для оболочки с указанной нагрузкой $\{q_0, \omega_p\}$ (рис. 7). Карта управляющих параметров для данного типа нагружения напоминает по внешнему виду карты предыдущих двух задач. Здесь можно отметить обширную зону хаотических колебаний на высоких частотах, небольшие зоны бифуркаций Хопфа на низких частотах, присутствуют вкрапления независимых частот и их линейных комбинаций.

Задача 4. Действие локальной знакопеременной нагрузки $q=q_0 \sin(\omega_p t)$, приложенной к оболочке в окрестности центра

Рассмотрим поведение оболочки с шарнирно-опорным контуром при действии локальной нагрузки. Нагрузка $q=q_0 \sin(\omega_p t)$ была приложена к пяти точкам $0 \leq i \leq 4$, где $0 \leq i \leq n$, $i, n \in \mathbb{Z}$ в окрестности центра, в остальных точках $q=0$. График зависимости $w_{\max}(q_0)$ приведен на рис. 8. График зависимости $w_{\max}(q_0)$ более гладкий, отсутствует разрыв первого рода, как в предыдущих случаях. На шкале типов сигнала имеется небольшая зона мягких бифуркаций, зона хаотических колебаний отсутствует.

В результате колебательного процесса осесимметричной полой оболочки при действии всех рассмотренных типов нагружения $b=4$ появляются хаотические аттракторы – аттракторы Смейла. Такие аттракторы называют аттракторами Фейгенбаумского типа или странными аттракторами. При исследовании хаотических колебаний в данной работе не строились диаграммы, как это обычно делается при исследовании функций в случае широкого класса двузначных отображений интервала в себя, а решалась обширная система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и на ее основе строилась шкала бифуркаций, которая зависит от $\{q_0, \omega_p\}, \{M_0, \omega_p\}$.

Карта управляющих параметров, полученная при воздействии на оболочку локальной знакопеременной нагрузки, приложенной к окрестности центра оболочки, представлена на рис. 9. Характер колебаний изменился по сравнению с предыдущими задачами. На карте управляющих параметров мы видим обширные зоны регулярных колебаний. Небольшая зона хаотических колебаний смещается в область низких частот. Не наблюдается вкраплений независимых частот и их линейных комбинаций.

Динамика оболочек при совместном воздействии распределенной нагрузки и знакопеременного нагружения

Рассмотрим две задачи о хаотическом колебании сферических оболочек под действием равномерно распределённой знакопеременной нагрузки $q=q_0 \sin(\omega_p t)$ с учётом двух типов периодических возмущений:

- 1) Локальная поперечная знакопеременная нагрузка $q=0,6 \sin(0,886 t)$ была приложена к пяти точкам $8 \leq i \leq 12$, где $0 \leq i \leq n$, $i, n \in \mathbb{Z}$.
- 2) Опорный знакопеременный момент $M=3,4 \sin(0,859 t)$.

Задача 1. Хаотические колебания пологих оболочек при совместном воздействии равномерно распределенной знакопеременной нагрузки и локальной нагрузки

Проанализируем поведение системы при воздействии на неё первого типа вынуждающей нагрузки. Как при рассмотрении предыдущих задач настоящей работы, построим карту управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$ (рис. 10), графики зависимости $w_{\max}(q_0)$, которые приведены на рис. 11-12. На карте мы видим обширные зоны хаотических колебаний. В случае двухчастотных колебаний система переходит к гармоническим колебаниям только в том случае, когда частоты вынуждающих сил близки. В этом случае на карте прослеживается область гармонических колебаний, расположенная вблизи частоты, на которой действует локальная нагрузка. Области на частоте собственных колебаний и на частоте $\omega_p=0,886$, где две вынуждающие силы совпадают, были исследованы более подробно. Для этих двух случаев были построены графики зависимости максимального прогиба от амплитуды вынуждающей нагрузки. Анализируя график зависимости $w_{\max}(q_0)$ на рис. 11, можно отметить полное отсутствие гармонических колебаний. Хаотические колебания составляют две трети всей площади шка-

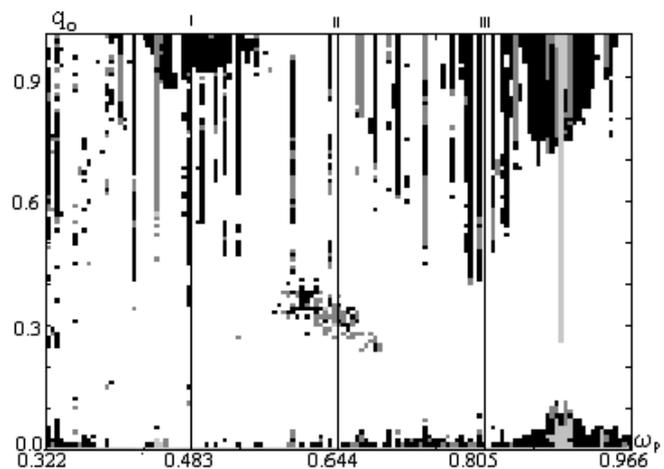


Рис. 10. Карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$

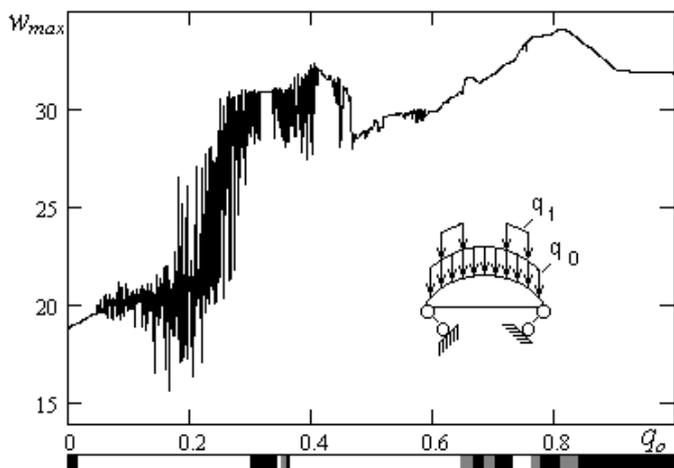


Рис. 11. График зависимости $w_{\max}(q_0)$

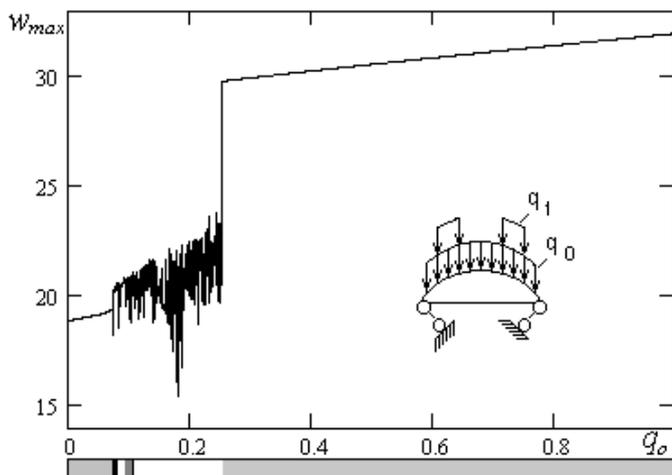


Рис. 12. График зависимости $w_{\max}(q_0)$

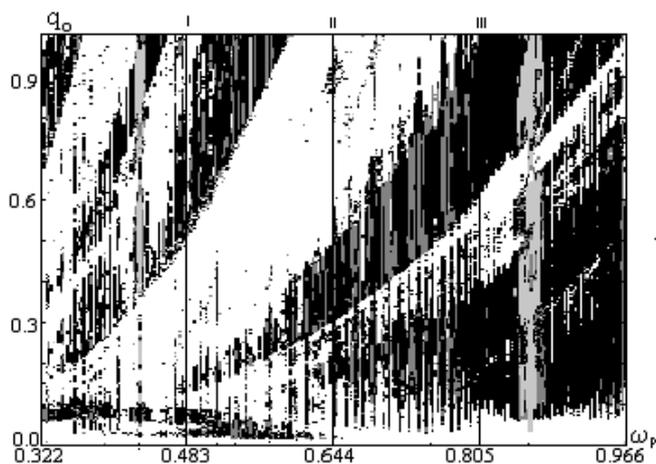


Рис. 13. Карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$

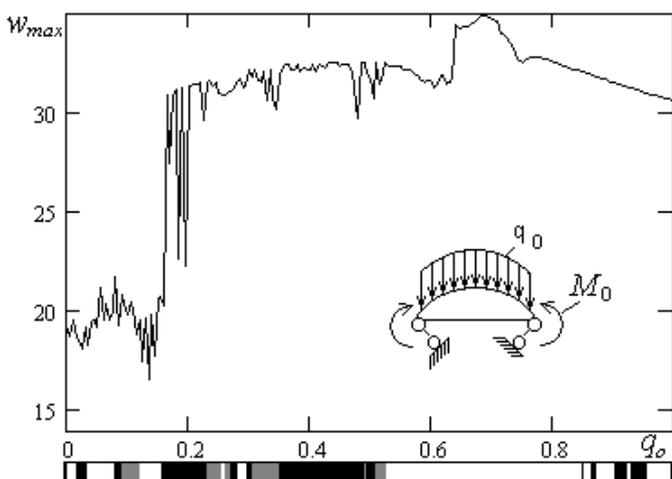


Рис. 14. График зависимости $w_{\max}(q_0)$

лы типов сигнала. Следует отметить многочисленные разрывы первого рода, которые совпадают с зоной хаотических колебаний на шкале типов сигнала. В зонах бифуркаций график зависимости $w_{\max}(q_0)$ гладкий.

Анализируя график зависимости $w_{\max}(q_0)$ на рис. 12, можно отметить большую зону гармонических колебаний. Хаотические колебания в данном случае составляют примерно одну пятую всей площади шкалы типов сигнала. Многочисленные разрывы первого рода совпадают с зоной хаотических колебаний на шкале типов сигнала. Следует отметить две жесткие бифуркации, которые сопровождаются сменой типов сигнала: переход от гармонических колебаний к хаосу происходит вместе с жесткой потерей устойчивости; переход от хаотических колебаний к гармоническим также сопровождается жесткой потерей устойчивости.

Задача 2. Действие равномерно распределенной знакопеременной нагрузки и знакопеременного опорного момента

Рассмотрим поведение оболочки при совместном воздействии на него двух типов вынуждающей нагрузки: равномерно распределённой знакопеременной и знакопеременного опорного момента. Была построена карта управляющих параметров (рис. 13) для оболочки при действии опорного знакопеременного момента $M=3,4 \sin(0,859 t)$ и распределённой нагрузки. Область гармонических колебаний была изучена более подробно, для анализа были построены графики зависимости $w_{\max}(q_0)$. Анализируя карту, следует отметить, что область гармонических колебаний образуется на карте, как в предыдущей задаче, только в том случае, когда частоты двух вынуждающих сил близки. Если частоты отличаются в целое число раз, на карте образуется область бифуркаций, иначе можно выделить область независимых частот и их линейных комбинаций.

Были построены для двух случаев графики зависимости максимального прогиба от амплитуды вынуждающей нагрузки.

График зависимости $w_{\max}(q_0)$ для оболочки, на которую воздействуют знакопеременный опорный момент $M=3,4 \sin(0,859 t)$ и распределенная нагрузка $q=q_0 \sin(0,644 t)$, представлен на рис. 14.

Анализируя график зависимости $w_{\max}(q_0)$ на рис. 14, можно отметить полное отсутствие гармонических колебаний, как и в первой задаче при воздействии вынуждающих сил на различных частотах. Хаотические колебания продолжают занимать значительную часть шкалы типов сигнала.

График, иллюстрирующий поведение системы при действии локальной нагрузки $q=0,6 \sin(0,886 t)$ и распределенной нагрузки $q=q_0 \sin(0,644 t)$, представлен на рис. 15.

Как и в предыдущей задаче при совпадении частот вынуждающих сил, происходит существенное изменение характера колебаний, значительную часть карты занимают области гармонических колебаний, смена характера колебаний по-прежнему сопровождается жёсткой потерей устойчивости.

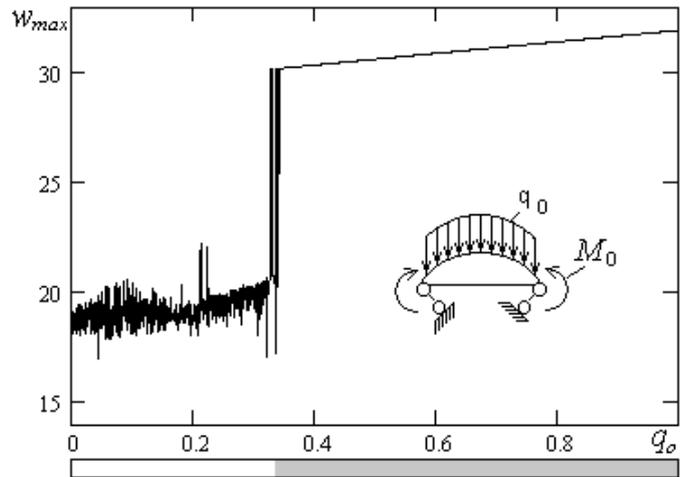


Рис. 15. График зависимости $w_{\max}(q_0)$

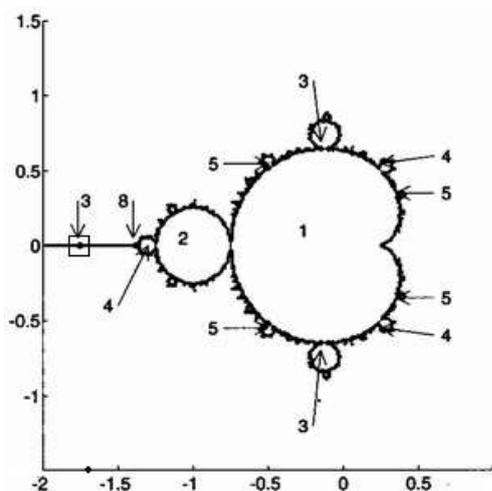
Окна периодичности Шарковского

Один из типичных механизмов, реализующих переход от системы Морса-Смейла к системе с хаотическим поведением, состоит в бесконечно сходящейся последовательности бифуркаций удвоения периода предельных циклов. Этот тип перехода наблюдается в системах со сжатием трехмерного элемента фазового объема и начальной стадии перехода к хаосу и приводит, как правило, к образованию подковы Смейла [14]. Вблизи критической точки при условии, что степень сжатия по всем направлениям существенно превышает растяжение, локально имеющее место только по одному из собственных направлений, переход можно описать с помощью одномерных отображений. При исследовании гладких однозначных, но необратимых одномерных отображений была установлена возможность реализации серии бифуркаций удвоения периода. Наличие каскада бифуркаций удвоения периода отображения и закономерности в последовательности их реализации непосредственно следует из замечательной теоремы А.Н. Шарковского (1963 г.) для гладких необратимых отображений отрезка [15].

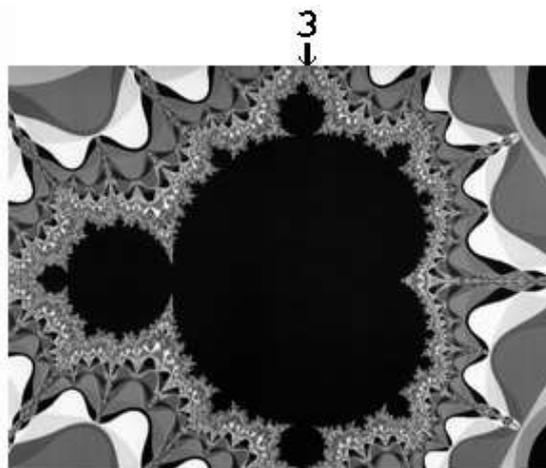
В 1978 г. М. Фейгенбаум [12] установил универсальные количественные закономерности перехода к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода, присущие определенному классу одномерных отображений $x_{n+1} = f(x_n, c)$. Класс функций $f(x, c)$ определяется требованием гладкости и невырожденности, а также возможностью квадратичной аппроксимации $f(x)$ вблизи максимума.

На рис. 16 приведены некоторые участки (иногда называемые обрамлением) множества Мандельброта $f_c(z) = z^2 + C > 0$ (рис. 16, а) [16], соответствующие существованию притягивающих периодических точек различных периодов. Орбитная диаграмма $f_c(x) = x^2 + C$ (рис. 16, в) говорит о том, что происходит на вещественной оси множества Мандельброта. Каждая бифуркация соответствует новому обрамлению, которое пересекает ось x , и период в

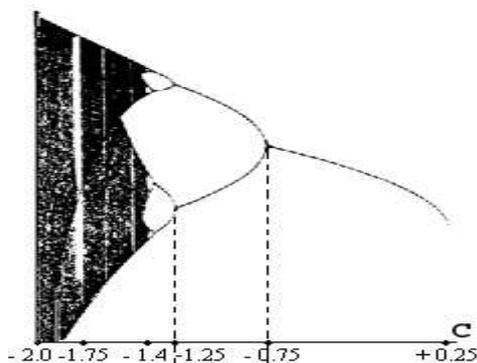
этом случае соответствует числу ветвей орбит диаграммы. Часто точку C_∞ называют точкой Фейгенбаума. В диаграмме между $C=1/4$ и C_∞ удвоение периода происходит по мере того, как $C \rightarrow C_\infty$. На другом участке, где $C > C_\infty$ называют областью хаоса, окно периодичности 3 находится в окрестности $C = -1/7548777\dots$. Это белая полоса на рис. 16, в. Наличие орбиты периода 3 означает наличие орбит с периодом $n=1,2,3,\dots$



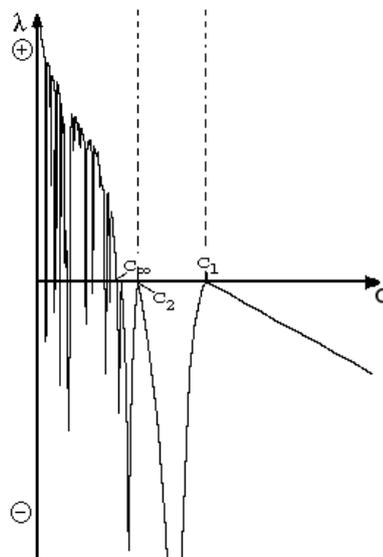
а) периоды обрамлений отображений $f_c(z) = z^2 + C$



б) окно 3 из рис. а) – область трех периодичности множества Мандельброта



в) бифуркационное дерево для отображения $f_c(z) = x^2 + C$



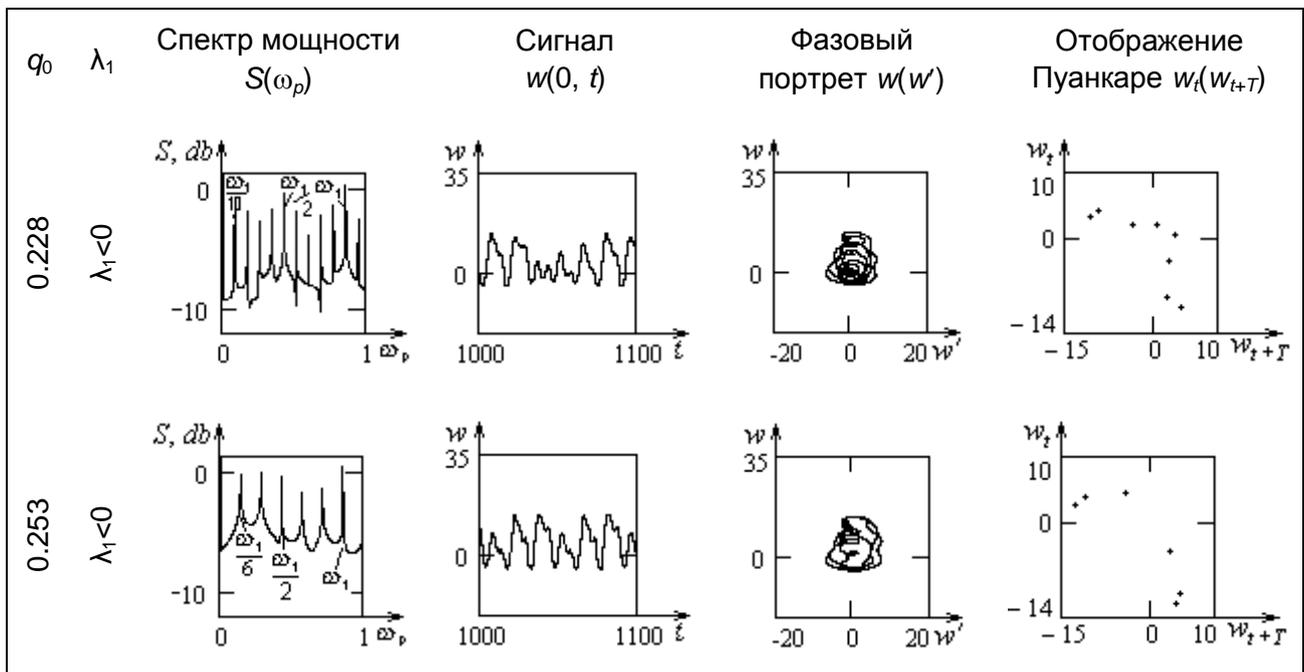
г) показатель Ляпунова для отображения $f_c(z) = x^2 + C$

Рис. 16

На рис. 16, г приведена зависимость показателя Ляпунова λ_1 для логистического отображения $f_c(x) = x^2 + C$. Анализ рисунков а), в), г) показывает, что хаотический режим прерывается, где последовательность $|f_c^n(x)|$ вновь оказывается в пределе периодичности, что соответствует неравенству $\lambda_1 < 0$.

Вышеприведенный анализ показывает, что построение для простых динамических систем одномерных отображений дает возможность иметь качественно подобные бифуркационные механизмы перехода механических систем в состояние хаоса. Для таких сложных распределенных динамических систем, как оболочки, подобную картину можно иметь, когда рассматривается система с одной степенью свободы. Для распределенной системы динамика гораздо сложнее, но тем не менее в картах управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$ мы можем наблюдать подобласти с периодами 3; 5; 7; 9; 11... и также 2·3; 2·5; 2·7; 2·9; 2·11.

На наш взгляд, теорему Шарковского можно расширить на более сложный класс функций, описывающих нелинейную динамику распределенных систем для оболочек. Например, при исследовании оболочки с шарнирно-подвижным опорным контуром при действии знакопеременной распределенной нагрузки среди области хаоса наблюдались окна периодических колебаний из упорядочивания Шарковского. Зависимости: сигнал $w(0, t)$ фазовый портрет $w(w')$, спектр мощности $S(\omega_p)$, отображение Пуанкаре $w_t(w_{t+T})$ представлены в таблице. В области хаоса были найдены следующие окна: 2·5 – в этом случае отображение Пуанкаре состоит из десяти точек, фазовый портрет представляет собой аттрактор; 2·3 – отображение Пуанкаре разделяется на два подмножества, содержащих по три точки каждое.



ЛИТЕРАТУРА

1. Awrejcewicz J., Krysko V.A. Nonclassical Thermoelastic Problems in Nonlinear Dynamics of shells. Application of the Bubnov – Galerkin and Finite Difference Numerical Methods. «Springer», Berlin, New-York, London, Paris, Tokyo, 2003. 430 p.
2. Awrejcewicz J., Krysko V.A., Vakakis A. F. Nonlinear Dynamics of Continuous Elastic Systems. «Springer-Verlag», Berlin, 2004. 356 p.
3. Awrejcewicz J., Krysko V.A. Feigenbaum Scenario Exhibited by Thin Plate Dynamics // Nonlinear Dynamics. 2001. № 24. P.373-398.
4. Awrejcewicz J., Krysko V.A., Krysko A.V. Shatial-temporal chaos an solutions exhibited by von Karmana model // J. Bifurcation Chaos. 2002. Vol. 12. № 7. P.1445-1513.
5. Awrejcewicz J., Krysko V.A. Nonlinear coupled problems in dynamics of shells // Journal of Engineering Science. 2003. № 41. P.583-607.

6. Awrejcewicz J., Krysko A.V. Analysis of complex parametric vibrations of plates and Shells using Bubnov-Galerkin approach // Archive of Applied Mechanics. 2003. № 73. P.495-503.
7. Krysko V.A., Awrejcewicz J., Narkaitis G.G. Bifurkations of Thin Plate-Strip Excited Transversally and Axially // Nonlinear Dynamics. 2003. № 32. P.87-209.
8. Крысько В.А., Щекатурова Т.В. Хаотические колебания конических оболочек // Изв. РАН. 2004. № 2. С.16-22.
9. Krysko V.A., Awrejcewicz J., Bruk V.M. On the solution of a coupled thermomechanical problem for non-homogeneous Timoshenko-type shells // J. Math. Appl. 2003. № 273. P.409-416.
10. Крысько В.А., Кравцова И.В. Стохастические колебания гибких осесимметричных шарнирно-подвижных по контуру сферических оболочек // Изв. вузов. Машиностроение. 2004. № 1. С.3-13.
11. Валишвили Н.В. Методы расчета оболочек вращения на ЭЦВМ. М.: Машиностроение, 1976. 279 с.
12. Feigenbaum M.J. Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformation // J. Stat. Phys. 1978. Vol.19. № 1. P.25-52.
13. Krysko V.A., Kravtsova I.V. Stochastic vibrations of flexible flat axisymmetric shells exposed inhomogeneous loading // International Conference «Dynamics of system – theory and applications», Lodz, Poland, 2003. P.165-176.
14. Shilnikov L.P. Bifurcation Theory and Turbulence. Nonlinear and Turbulent Processes. New York: Gordon and Breach, Harvard Academic Publishers, 1984. Vol.2. P.1627-1635.
15. Шарковский А.Н. Сосуществование циклов непрерывного отображения в себя // УМЖ. 1964. Т.16. № 1. С.61-71.
16. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco, Freeman, 1982. 286 с.

Крысько Вадим Анатольевич –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика» Саратовского государственного технического университета

Кравцова Ирина Владиславовна –

аспирант кафедры «Высшая математика» Саратовского государственного технического университета

УДК 678:661.183.123

**А.М. Михайлова, Л.В. Никитина, Е.В. Колоколова,
С.А. Егорова, А.А. Есин**

**РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ ОБЪЕМНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

Дан обзорный анализ различных типов конденсаторов, показаны их преимущества и недостатки. Предложена модель электролитического конденсатора на основе твердых электролитов с объемно-распределенными электродами, которые представляют собой композиты на основе полимерных материалов. Представлены электрические характеристики таких образцов.

A.M. Mikhailova, L.V. Nikitina, E.V. Kolokolova,
S.A. Yegorova, A.A. Yesin

THE DEVELOPMENT OF COMPOSITIONAL VOLUME DISTRIBUTION ELECTRODES ON THE BASE OF SOLID ELECTROLYTES

The analysis of different types of capacitors has given in this paper, their merits and demerits are shown. A model of electrolytic capacitor on the basis of a solid electrolyte with volume-distribution electrodes which represent composites on the basis of polymer materials is offered. Electric characteristics of the samples are presented.

Еще не так давно единственным типом электрохимических конденсаторов был электролитический конденсатор, в котором электрический заряд накапливается на границах тонкой (до нескольких мкм) изолирующей оксидной пленки на шероховатой поверхности алюминия или пористой поверхности тантала. Значения удельной энергии электролитических конденсаторов намного выше, чем для обычных пленочных (бумажных) конденсаторов. Максимальные значения напряжения в таких конденсаторах достигают сотен вольт. С уменьшением размера пор в алюминиевых шероховатых электродах увеличивается емкость, но уменьшается максимальное напряжение. Однако удельная энергия электролитических конденсаторов относительно мала вследствие малых значений диэлектрической проницаемости диэлектрической пленки при относительно больших её толщинах. В последние годы в качестве диэлектрической пленки стали использовать такие полимеры, как полианилин и полипиррол. Значения удельной емкости и удельной энергии электролитических конденсаторов на порядки ниже, чем для электрохимических суперконденсаторов или накопителей энергии [1]. Отличительными особенностями суперконденсаторов являются следующие: очень высокая обратимость, характеризующаяся очень высокой циклируемостью, приблизительно линейный характер разрядных и зарядных зависимостей при постоянном токе. Электрохимические суперконденсаторы подразделяются: на двойнослойные суперконденсаторы, электрохимические псевдоконденсаторы, гибридные конденсаторы. В электрохимических псевдоконденсаторах электрический заряд накапливается за счет фарадеевской псевдоемкости обратимых редокс-реакций. Существует несколько типов фарадеевской псевдоемкости в суперконденсаторах: фарадеевская псевдоемкость двухмерных, квазидвухмерных или трехмерных субстанций, на которых или внутри которых протекают обратимые электросорбция или редокс-процессы, например, субпотенциальное осаждение водорода или свинца в монослое на платине, золоте и других металлах; окисление-восстановление в порах оксидов переходных металлов ($\text{RuO}/\text{Ru}_2\text{O}_3$, $\text{IrO}_2/\text{Ir}_2\text{O}_3$), а также различных оксидных смесях; обратимые процессы электрохимического допирования-дедопирования в электродах на основе проводящих полимеров (полианилина, полипиррола и др.). В последнем случае используются небольшие плотности тока вследствие замедленности диффузии противоионов в фазе полимера. Для электрохимических псевдоконденсаторов, относящихся к двухмерным и трехмерным системам, зависимость ЭДС от степени заряда согласно закону Фарадея в первом приближении имеет вид:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \left[\frac{X}{1-X} \right], \quad (1)$$

где X – степень заряда.

Эти конденсаторы обладают очень высокой обратимостью ($10^4 \div 10^6$ и более циклов).

Для оксидов переходных металлов значения псевдоемкости достигают 150 мкФ/см^2 истинной поверхности, однако обычно для них получают меньшие величины удельной энергии, чем для активированных углеродных материалов.

Разработка твердых электролитов на основе двойных солей серебра с аномально высокой ионной проводимостью открыла возможность создания новых типов электролитических приборов с высокими эксплуатационными характеристиками, технологичными в условиях массового серийного производства и практически полностью совместимыми по функциональным и конструктивным параметрам с современными интегральными микросхемами. В качестве таких электролитов использовались рубидий-йодид серебра (RbAg_4I_5), сульфид-йодид серебра (Ag_3SI) и β -алюминат натрия ($\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$)[2]. Одним из таких электролитических приборов являются иониксы – электрохимические интеграторы, основанные на эффекте поверхностного накопления заряда. Электропроводность твердых электролитов RbAg_4I_5 , используемых в иониксах, составляет при нормальной температуре среды примерно $0,27 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ (для сравнения: при этих условиях проводимость водного раствора 30 % КОН составляет $0,7 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$). Эта электропроводность обеспечивается высокой подвижностью ионов серебра, в то время как электронная составляющая проводимости пренебрежимо мала и имеет величину менее $10^{-11} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$. Высокая электропроводность твердых электролитов типа RbAg_4I_5 связана с разрушением их катионной подрешетки при нагревании с сохранением жесткого анионного каркаса. Для жидкообразной катионной подрешетки нивелируется понятие вакансий и межузлий, а число вакантных равновесных положений одного порядка величины с числом самих ионов. Таким образом, катионы Ag^+ как носители заряда аналогичны свободным электронам в металле. Электропроводность этих соединений так же, как и металлов, мало зависит от наличия примесей.

На рис. 1 схематично проиллюстрирована работа электрохимической ячейки ионикса, составленная из серебряного и угольного электродов, разделенных твердым электролитом RbAg_4I_5 . Угольный электрод в диапазоне потенциалов от 20 до 500 мВ относительно Ag/Ag^+ электрода является идеально поляризуемым. При потенциалах выше 500 мВ на угольном электроде возможен фарадеевский процесс выделения свободного йода при потенциале около 670 мВ. По этой причине максимальное напряжение на приборе не должно превышать 0,5 В. Емкость двойного слоя на угольном электроде составляет $20 \div 40 \text{ мкФ}\cdot\text{см}^{-2}$ (в пересчете на геометрическую поверхность). Однако угольный электрод имеет интенсивно развитую поверхность, что позволяет иметь удельные поверхностные емкости до трех порядков величин большие, чем в пересчете на плоскую геометрическую поверхность. Таким образом, за счет варьирования массы и геометрических размеров угольных электродов представляется возможным в достаточно широких пределах менять электрическую емкость приборов. Серебряный же электрод, в противоположность угольному, является практически идеально неполяризуемым.

Схематическое изображение процесса заряда ионикса приведено на рис. 1,б. При прохождении тока через прибор происходит электроосаждение серебра на серебряном электроде – катоде ($\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$) и заряд емкости двойного слоя угольного электрода. Из-за пренебрежимо малой электронной составляющей электропроводности твердого электролита, с угольного электрода электрический заряд практически по электролиту не стекает, чем и обеспечивается его длительное хранение.

Заряд ионикса до напряжения 500 мВ при постоянной величине зарядного тока происходит по закону, близкому к линейному (рис. 1,в), поэтому электрическая емкость прибора может быть легко вычислена из соотношения $C = I_z(dt / dE)$. При разряде постоянным по величине током напряжение на приборе также изменяется по закону, близкому к линейному. На серебряном электроде, являющемся анодом, протекает реакция $\text{Ag} = \text{Ag}^+ + e$. При равенстве токов $I_z = I_p$ на зарядно-разрядных характеристиках гистерезиса не наблюдается.

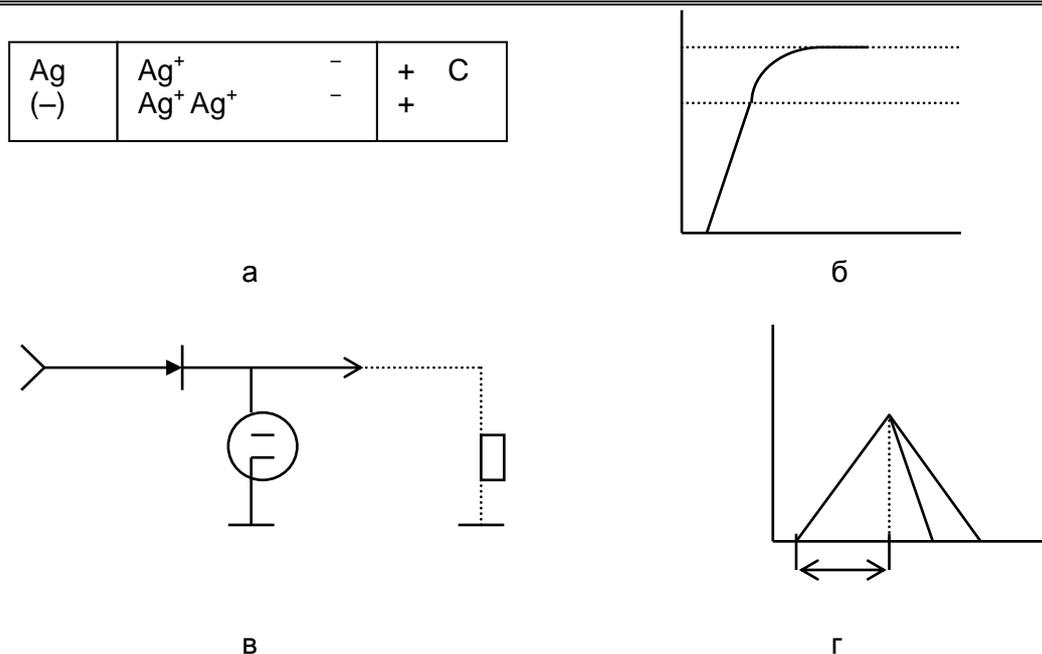


Рис. 1. Схематическое изображение ячейки, иллюстрирующей принцип действия ионикса (а), простейшая схема включения ионикса (б), изменение напряжения на иониксе во времени при его заряде постоянным по величине током (в) и вид зависимостей заряд-разряд ионикса (г)

При разряде прибора на постоянный нагрузочный резистор R_n зависимость напряжения E во времени может быть описана соотношением:

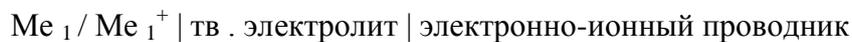
$$E = \frac{E_0}{1 + (R_{\text{вн}} / R_n)} \exp \left[- \frac{t}{(R'_{\text{вн}} + R'_n)C} \right], \quad (2)$$

где $R_{\text{вн}}$ – внутреннее сопротивление прибора; E_0 – начальное напряжение на приборе.

Иониксы характеризуются большими удельными емкостями (до $10 \text{ Ф} \cdot \text{см}^{-3}$) и малыми токами утечки (сопротивление утечки $10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{см}$), что обеспечивает сохранность заряда с погрешностью $3 \div 5\%$ в течение $1,5 \div 2$ лет. Для увеличения рабочего напряжения отдельные ячейки иониксов соединяются последовательно в батарею. Иониксы – низкочастотные приборы, уже при частоте 20 Гц их емкость снижается приблизительно на два порядка величины. Малое внутреннее сопротивление при заряде и разряде приборов (десятые доли и единицы Ома) позволяет в импульсном режиме разряда отдавать в нагрузку достаточно большие энергии – $1,3 \div 2 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-3}$.

Относительно небольшие изменения электропроводности твердого электролита RbAg_4I_5 при изменении температуры среды (от $0,09$ до $0,39 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ при изменении температуры от -57 до $+71^\circ\text{C}$) позволяют иметь рабочий диапазон температур иониксов от -60 до $+175^\circ\text{C}$. При температуре -60°C иониксы отдают до 90% заряда по сравнению с отдаваемым зарядом при стандартной температуре (25°C).

В настоящее время созданы приборы, именуемые конденсаторами объемной емкости. Удельная емкость лучших типов таких конденсаторов достигла $80 \text{ Ф} \cdot \text{см}^{-3}$. Они имеют структуру:



(1)

(2)

Конденсатор состоит из двух электродов (1) и (2), разделенных слоем твердого электролита, имеющего высокое электронное сопротивление, например, серебропроводящие электролиты: AgI , $\text{Ag}_6\text{I}_4\text{WO}_4$, RbAg_4I_5 . Металлический электрод (1) в этом случае – серебряный. Электрод (2) готовится из материалов, представляющих собой многоэлементные композиты, содержащие нестехиометричные халькогениды серебра и фосфаты этого металла. Композиты способны менять концентрацию растворенного в них металла (Ag) при прохождении тока через систему, с образованием фаз переменного состава. Изменяя химический состав смешанного электронно-ионного проводника (2), удалось получить конденсаторы различной емкости (от 1 до $80 \text{ Ф}\cdot\text{см}^{-3}$), накопительная емкость которых достигала $10 \div 12 \text{ Кл}\cdot\text{см}^{-3}$. Для изготовления металлических электродов брался серебряный порошок или серебряная сетка. Электрод (2) готовился из материала, представляющего собой соединения типа: $(\text{Ag}_{2+\delta}\text{S})_a (\text{Ag}_{2-\delta}\text{Y})_b (\text{AgZ})_c$ или $(\text{Ag}_{2-\delta}\text{Y})_a (\text{AgZ})_b$, [3], где $(\text{Ag}_{2+\delta}\text{S})$ и $(\text{Ag}_{2-\delta}\text{Y})$ – нестехиометрические халькогениды серебра, а AgZ – различные фосфаты этого металла: Ag_3PO_4 , AgPO_3 или $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Для всех материалов $\kappa_e \gg \kappa_{\text{ион}}$. Твердые электролиты RbAg_4I_5 и $\text{Ag}_6\text{I}_4\text{WO}_4$, выполняющие в конденсаторах объемной емкости роль сепараторов электродов (1) и (2), обладали высоким электронным сопротивлением. Проводимость рубидиевого электролита по ионам была не ниже $0,24 \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$ (298 К), электронная – не выше $10^{-8} \div 10^{-9} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$. Ионная проводимость вольфрамового электролита составляла $10^{-2} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$, а электронная – $10^{-6} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$ (298 К). Измерения емкости проводились при температурах от -34 до $+180^\circ\text{C}$.

До зарядки ЭДС между электродами равна нулю. При пропускании через конденсатор Q кулонов электричества (процесс зарядки; плюс на электроде (2)) происходит изменение концентрации серебра в смешанном проводнике, вследствие чего между электродами возникает концентрационная ЭДС ($U_{1,2}$) и емкость (C) конденсаторов объемной емкости определяется как $C = dQ/dU_{1,2} = I \cdot \tau / U_{1,2}$, где I – ток зарядки, А; τ – время зарядки конденсаторов и $U_{1,2}$ – рабочее напряжение конденсатора.

Удельная емкость конденсаторов объемной емкости при постоянной геометрии электродов не зависит от типа твердого электролита, поскольку он играет роль только сепаратора. Однако от электрических свойств применяемого твердого электролита в сильной степени зависит сохранность заряда. Наименьшие потери емкости при длительном хранении наблюдались при использовании рубидиевого электролита, поскольку сопротивление утечки в этом случае составляло $10^8 \div 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

У этого типа конденсаторов при низких температурах, когда заметно понижается подвижность ионов серебра и увеличивается время их релаксации (τ_p) $\tau_p \sim A \cdot e^{U/kT}$, емкость падает:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\tau_p} D_p} . \quad (3)$$

В этих уравнениях U , k , T имеют общепринятые значения, а D_p является коэффициентом диффузии неосновных носителей заряда. Из этих же соотношений видно, что при значительном увеличении температуры емкость должна расти, что и наблюдается в эксперименте.

Удельная накопительная емкость конденсаторов объемной емкости ($10 \div 12 \text{ Кл}\cdot\text{см}^{-3}$) в несколько раз превосходит соответствующий параметр молекулярного конденсатора энергии, не говоря уже о других типах электролитических конденсаторов, накопительная емкость которых составляет $10^{-3} - 10^{-4} \text{ Кл}\cdot\text{см}^{-3}$ [4].

Изготовление ионистора с использованием сульфосалициловой кислоты и полиалюмината натрия (β - Al_2O_3) в качестве твердого электролита

Нами была предпринята попытка создания объемно-распределенного электрода на основе твердых электролитов, что должно существенно увеличить емкость конденсатора.

В качестве электродного материала использовалась сажеграфитовая смесь с добавками сульфосалициловой кислоты или полиалюмината натрия в качестве электролита. Для удобства формования электрода использовалось полимерное связующее – полиакрилонитрил в диметилформамиде. Токоотводами служили никелевые диски. Корпус ячейки представлял собой полый цилиндр из эбонита.

В прессформу последовательно помещали навески электродов и электролита и подпрессовывали под давлением $0,5 \text{ т/см}^2$. Затем в корпус ячейки вкладывали отпрессованные таблетки, никелевые токоподводы и подпрессовывали.

Измерения на переменном токе проводились на мосту переменного тока Р-568.

Содержание графита в электродной массе изменялось от 20 до 45%. Сопротивление ячеек при этом было большим и составляло от 800 до 250 кОм/см^2 , значения емкостей были соответственно низкими. В табл.1 приведены характеристики ионисторов от содержания графита в электродной массе.

Таблица 1

Характеристики ячеек с различным содержанием графита в электродной массе

Состав электрода	U, В	C, мкФ/см ²	R, кОм/см ²	Условия снятия указанных параметров
β - Al_2O_3 + 20% графита	0,33	2,07	800,08	Температура 25°С, плотность тока 0,38 мкА/см ²
β - Al_2O_3 + 30% графита	0,43	38,19	634,20	Температура 25°С, плотность тока 0,46 мкА/см ²
β - Al_2O_3 + 35% графита	0,34	14,27	247,60	Температура 25°С, плотность тока 0,34 мкА/см ²
β - Al_2O_3 + 40% графита	0,58	35,22	375,87	Температура 25°С, плотность тока 0,58 мкА/см ²
β - Al_2O_3 + 45% графита	0,82	35,98	409,40	Температура 25°С, плотность тока 0,74 мкА/см ²

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вследствие низкой удельной поверхности графита не удастся изготовить объемно-распределенный электрод, и электрод работает, практически, как гладкий.

При использовании сажи в качестве добавки к электродной смеси не удавалось получить механически прочных электродов, поэтому встала задача поиска связующего материала, который позволил бы получить механически прочный электрод с нужными свойствами. В качестве полимерного связующего использовался поливиниловый спирт. В табл. 2 приведены характеристики ячеек, в которых электродным материалом были полиалюминат натрия, сажеграфитовая смесь и поливиниловый спирт.

Таблица 2

Характеристики ячеек с добавкой ПВС в качестве полимерного связующего

Состав	U, В	C, мкФ/см ²	R, кОм/см ²	Условия снятия
--------	------	------------------------	------------------------	----------------

электрода				указанных параметров
β -Al ₂ O ₃	0,32	260,90	77,53	Температура 25°C, плотность тока $i=2,34$ мкА/см ²

Замена поливинилового спирта на поливинилбутираль еще больше уменьшает сопротивление ячеек и повышает в 2,5 раза их емкость. В табл. 3 приведены характеристики таких образцов. Содержание сажеграфитовой смеси в электродной массе изменялось от 6 до 30%, а содержание раствора поливинилбутираля в диметилформамиде – от 5 до 30%.

Таблица 3

Характеристики ячеек с добавкой в качестве полимерного связующего поливинилбутираля

Состав электрода	U , В	C , мкФ/см ²	R , кОм/см ²	Условия снятия указанных параметров
β -Al ₂ O ₃ + 10% сажеграфит. смеси +5% ПВБ	0,47	632,67	12,70	Температура 25°C, плотность тока $i=3,0$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 10% сажеграфит. смеси +10% ПВБ	0,75	855,67	107,92	Температура 25°C, плотность тока $i=3,2$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 10% сажеграфит. смеси +20% ПВБ	0,62	577,55	80,00	Температура 25°C, плотность тока $i=5,0$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 10% сажеграфит. смеси +30% ПВБ	0,09	3213,33	24,53	Температура 25°C, плотность тока $i=3,37$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 15% сажеграфит. смеси +20% ПВБ	0,70	2583,33	44,00	Температура 25°C, плотность тока $i=3,97$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 15% сажеграфит. смеси +30% ПВБ	0,35	2679,00	69,87	Температура 25°C, плотность тока $i=5,20$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 20% сажеграфит. Смеси +30% ПВБ	0,74	418,33	77,80	Температура 25°C, плотность тока $i=5,80$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 25% сажеграфит. смеси +30% ПВБ	0,28	2210,00	53,50	Температура 25°C, плотность тока $i=2,90$ мкА/см ²
β -Al ₂ O ₃ + 30% сажеграфит. смеси +30%	0,51	717,00	196,57	Температура 25°C, плотность тока $i=2,80$ мкА/см ²

ПВБ				
-----	--	--	--	--

Использование в качестве связующего материала полиакрилонитрила (ПАН) позволяет уменьшить сопротивление ячейки в 30 раз и в 10 раз повысить токи разряда. В табл. 4 представлены характеристики ионисторов с содержанием 8%-ного раствора ПАН.

Таблица 4

Характеристики ячеек с добавкой в качестве полимерного связующего полиакрилонитрила

Состав электрода	U , В	C , мкФ/см ²	R , кОм/см ²	Примечание
β -Al ₂ O ₃ + 10% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,19	7860,00	38,60	
β -Al ₂ O ₃ + 15 %сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,40	35661,67	5,56	
β -Al ₂ O ₃ + 25% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,36	274523,33	1,32	
β -Al ₂ O ₃ + 30% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,53	421438,11	4,28	
β -Al ₂ O ₃ + 35% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,43	332939,00	2,760	
β -Al ₂ O ₃ + 40%сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,65	740942,00	1,77	
β -Al ₂ O ₃ + 45% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,52	555469,67	4,6	
β -Al ₂ O ₃ + 50% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,5	265546,30	6,33	
β -Al ₂ O ₃ + 55% сажеграфит. смеси +30% ПАН	0,34	147899,66	1,87	

Такое изменение параметров объясняется тем, что раствор полиакрилонитрила в диметилформамиде обладает некоторой электропроводностью в отличие от поливинилбутираля, поэтому создается электронный контакт между β -глиноземом и углеродным материалом.

Из табл. 4 видно, что увеличение содержания сажеграфитовой смеси с 10 до 30% приводит к возрастанию емкости ячеек с 7860 до 421438 мкФ/см², плотности тока – с 3 до 80 мкА/см², а сопротивление макетов уменьшается с 38 до 4 кОм/см².

При увеличении содержания сажеграфитовой смеси более 45% значение емкости снижается, сопротивление и плотности тока разряда остаются практически постоянными. Начальное напряжение разряда составляет 0,99 В при плотности тока $i_p=90$ мкА/см².

С целью повышения электропроводности связующего в этом качестве использовали 5%-ный раствор тетрацианохинодиметана в диметилформамиде. Для электродной массы, содержащей 35% сажеграфитовой смеси и 30% раствора полиакрилонитрила (8%-ный) и 5% тетрацианохинодиметана, средняя емкость макетов достигла 1,2 Ф·см⁻³ при $i_p=52$ мкА·см⁻².

Следовательно, связующее полимерное вещество, обладающее проводимостью за счет образования комплекса с переносом заряда, значительно повышает электрические характеристики макетов ионисторов. Однако характеристики этих приборов заметно ухудшаются при циклировании.

Пиролитическое нанесение углерода на полиалюминат значительно эффективнее увеличивает емкость ионистора по сравнению с электродом, изготовленным механическим смешением β -глинозема с графитом. Макеты с углеродными материалами имеют напряжение разряда, не превышающее 1 В, хотя заряд проводился до более высоких напряжений. В этой связи углерод заменялся на титановый и никелевые порошки. В этом случае реализовывались емкость, равная $5300 \text{ мкФ}\cdot\text{см}^{-3}$, и начальное напряжение разряда – $1,37\dots 1,73 \text{ В}$.

Различие в значениях емкостей при различном сочетании границ металл/связующее вещество/электролит связано с различной дисперсностью используемых материалов и с различием в работах выхода электрона.

Полиалюминат натрия, легированный оксидом железа, обладает, кроме ионной, и большой электронной проводимостью. Его использование позволило реализовать ионистор с емкостью $1,08 \text{ Ф}\cdot\text{см}^{-3}$. Однако, разрядное напряжение при этом не превышает 1 В. Низкое разрядное напряжение объясняется наличием реакции между подвижным ионом натрия в полиалюминате и кислородом, адсорбированным на $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ [5], или наличием проводимости по кислороду, который может диффундировать на инертный электрод.

Из данного цикла исследований можно выбрать состав электрода, имеющего наилучшие характеристики: $45\%\dots 60\%$ $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$; $30\%\dots 45\%$ сажеграфитовой смеси; 30% полиакрилонитрила.

Наиболее перспективными твердыми электролитами в плане высоких технических характеристик оказались протонпроводящие. При организации распределенной внутренней поверхности рабочего электрода со следующим соотношением компонентов: сажеграфитовая смесь $20\dots 40\%$ и твердого электролита $60\dots 80\%$, емкость исследованных макетов оказалась равной для гетерополикислот $5,0\dots 8,0 \text{ Ф}\cdot\text{см}^{-3}$ при разрядном напряжении $0,9 \text{ В}$. В случае применения сульфосалицилатов емкость макета составила $2,0\dots 4,0 \text{ Ф}\cdot\text{см}^{-3}$ при разрядном напряжении $0,8 \text{ В}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольфович Ю.М., Мазин В.М., Уриссон Н.А. Исследование работы двойнослойных конденсаторов на основе углеродных материалов // Электрохимия. 1998. Т.34. № 8. С.825-832.
2. Высокоемкие конденсаторы с полианилиновыми электродами / Я.Л. Коган, Г.В. Гедрович, М.И. Рудакова, Л.С. Фокеева // Электрохимия. 1995. Т.35. № 31. С.750-752.
3. Never K.O. Solid-state Electrochemical cells based on low conductive ceramics // J. Electrochemical Soc. 1968. Vol.115. P.1-12.
4. Chandra S., Singh N., Hashmi S. Proton Conduction in Solids // Proc. Indian natl. Sci. Acad. 1986. Vol.52. № 1. P.338-362.
5. Юшина Л.Д., Терехов В.И. Исследование твердоэлектролитных систем – накопителей заряда // Электрохимия. 1996. Т.32. № 4. С.532-535.

Михайлова Антонина Михайловна –

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

Никитина Людмила Владимировна –

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

Колоколова Елена Викторовна –

аспирант кафедры «Химия» Саратовского государственного технического университета

Егорова Светлана Александровна –
кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»
Саратовского государственного технического университета

Есин Александр Алексеевич –
аспирант кафедры «Химия» Саратовского государственного технического университета

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 531.717:621.923

Б.М. Бржозовский, М.Б. Бровкова, О.В. Захаров

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Рассмотрены особенности гармонического анализа профилей прецизионных деталей при формообразовании и измерении. Исследована методическая погрешность измерения, обусловленная наличием эксцентриситета центра базовой окружности и начала измерительной системы координат. Предложен метод обработки результатов измерений на основе искусственных нейронных сетей, позволяющий установить взаимосвязь колебаний в технологической системе и геометрических погрешностей формообразования.

B.M. Brzhozovskiy, M.B. Brovkova, O.V. Zakharov

HARMONIC ANALYSIS IN RESEARCH OF PROCESSES OF FORMSHAPING AND MEASUREMENTS OF PRECISION PARTS

The peculiarities of harmonic analysis of profiles of precision parts at formshaping and measurements are studied here. Methodical errors of measurements depended on of availability of excentersystem of the center of the basic circle and the beginning of the measuring system a method of treatment of measurements results on the base of artificial neuron nets is proposed in this article and allows to determine the interrelationship of waves in a technological system and geometric errors of formshaping.

Анализ формообразования и измерения детали требует, с одной стороны, единообразной математической формализации, а с другой стороны, учета особенностей каждого из процессов. Только в этом случае возможно выявление периодических погрешностей геометрии детали и установление их связи с формообразующими факторами для управления технологическим процессом. В статье рассмотрены новые подходы к решению данной проблемы, учитывающие наличие эксцентриситета центра средней окружности профиля детали и начала координат при гармоническом анализе, а также позволяющие оценивать параметры качества детали по колебаниям в технологической системе.

Математические модели формообразования на операциях бесцентрового шлифования и суперфиниширования [1,2] построены на исходном описании геометрии детали с учетом периодических отклонений формы в виде тригонометрического полинома:

$$r_1(\varphi) = r_0 + \sum_{i=2}^p a_i \cos(i\varphi - \psi_i) = r_0 + \sum_{i=2}^p (b_i \cos i\varphi + c_i \sin i\varphi), \quad (1)$$

где r_0 – радиус средней окружности профиля детали; a_i, ψ_i – амплитуда и начальная фаза i -й гармоники; b_i, c_i – косинусный и синусный коэффициенты i -й гармоники; p – максимальное число гармоник.

Моделирование процесса формообразования с учетом базирования, изменения натягов в технологической системе, съема припуска и т.д. в подавляющем большинстве случаев приводит к численным решениям, в результате которых профиль детали предстает дискретно заданным [2]. В связи с этим возникает необходимость вновь найти аналитический эквивалент профиля, причем неизвестно также его положение относительно исходной системы координат.

Анализ круглограммы имеет своей целью, во-первых, численно оценить показатели, регламентированные стандартом (отклонение от круглости), а во-вторых, выявить составляющие погрешности для установления причин их появления в процессе формообразования или исследования работы детали в сопряжении при эксплуатации. Решение первой из указанных задач при выполнении ряда условий известно [3,4,5], а решение второй задачи имеет ряд особенностей, в полной мере не нашедших отражение в литературе.

При измерении профиля поперечного сечения деталей используются следующие методы [4]: радиусного измерения на кругломерах; координатного измерения на координатно-измерительных машинах и разностного измерения на призмах и измерительных головках малых линейных перемещений. В качестве базы при измерении отклонения от круглости в стандартах различных стран рекомендуются средняя окружность, прилегающая окружность и зона минимальной ширины. Наиболее широкое применение для анализа круглограммы получила средняя окружность.

Повышение точности измерения при радиусном и координатном методах достигается минимизацией эксцентриситета центра средней окружности профиля детали и центра измерительной системы. Поэтому в первом случае деталь предварительно центрируют, а во втором – математически определяют положение центра средней окружности профиля детали. При этом использование формул Спрегга [5] для расчета отклонения от круглости дает хорошие результаты по точности. Метод разностного измерения основан на эффекте минимизации перемещений центра средней окружности профиля детали при вращении относительно измерительного датчика.

Таким образом, одну из актуальных задач при анализе формообразования и измерения представляет нахождение тригонометрического полинома, описывающего дискретно заданный профиль детали. Известным решением данной задачи является гармонический анализ [6]. Однако корректность его применения обусловлена совпадением центра средней окружности профиля детали и начала системы координат при гармоническом анализе. Только при этом полученные гармонические составляющие погрешности имеют инвариантный вид для их сравнения при измерении и формообразовании.

В настоящее время широко используют предложенное в работе [3] описание профиля детали тригонометрическим полиномом (1) с дополнительным введением первой гармоники, представляющей собой с определенной погрешностью искомый эксцентриситет центра средней окружности:

$$r_2(\varphi) = a_0 + e \cdot \cos(\varphi - \psi) + \sum_{i=2}^p a_i \cos(i\varphi - \psi_i), \quad (2)$$

где e, ψ – амплитуда и начальная фаза центра средней окружности детали.

Коэффициенты тригонометрического полинома (2) рассчитывают по формулам Бесселя:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j; \quad b_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n r_j \sin i\varphi_j; \quad c_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n r_j \cos i\varphi_j, \quad (3)$$

где r_j – радиус j -й точки профиля детали; φ_j – полярный угол j -й точки профиля детали; n – число измеренных точек профиля детали.

Если число точек профиля n в формулах (3) удовлетворяет условию $n=2p+1$, то существует узловое совпадение значений тригонометрического полинома и действительных координат измеренных точек.

Традиционно считалось [3, 4], что в выражении (2) нулевая гармоника a_0 представляет собой радиус средней окружности профиля детали, первая гармоника (a_1, ψ_1) – эксцентриситет средней окружности относительно измерительной системы координат, а остальные гармоники (a_i, ψ_i) – периодические погрешности в виде овальности, огранки и волнистости. Поэтому компенсацию эксцентриситета осуществляли с помощью первой гармоники.

Оценим погрешность такого решения на основе гармонического анализа уравнения средней окружности профиля детали, эксцентрично расположенной относительно начала измерительной системы координат.

Уравнение средней окружности профиля детали с центром O в системе координат $(X_1; Y_1)$ (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= r_0 \cos \varphi + e \cdot \cos \psi; \\ Y_1 &= r_0 \sin \varphi + e \cdot \sin \psi, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где φ – полярный угол в системе координат с полюсом O .

Уравнение окружности (4) в полярной системе координат с полюсом O_1 определим на основе известных преобразований:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}; \\ \varphi_1 &= \arctg(Y_1 / X_1), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где φ_1 – полярный угол в системе координат с полюсом O_1 .

Гармонический анализ подразумевает задание профиля конечным множеством точек с равномерным угловым расположением относительно начала системы координат. Для выполнения этого условия установим связь между углами φ и φ_1 из второго уравнения (5). Окончательно уравнение эксцентричной окружности примет вид:

$$r_1 = \sqrt{r_0^2 + e^2 + 2r_0 e \cos \left\{ \varphi_1 - \psi + \arcsin \left[\frac{e}{r_0} \sin (\varphi_1 - \psi) \right] \right\}}. \quad (6)$$

На рис. 2 дан пример, показывающий взаимное расположение средней окружности 1 радиуса $r=10$ мм с эксцентриситетом $e=5$ мм, характеризующей его первой гармоники 2 и их разность 3.

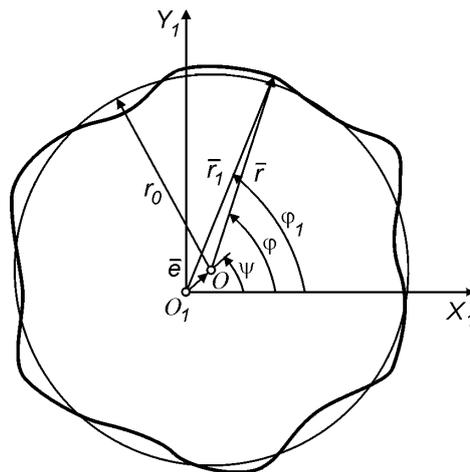


Рис. 1. Схема расчета параметров средней окружности профиля детали

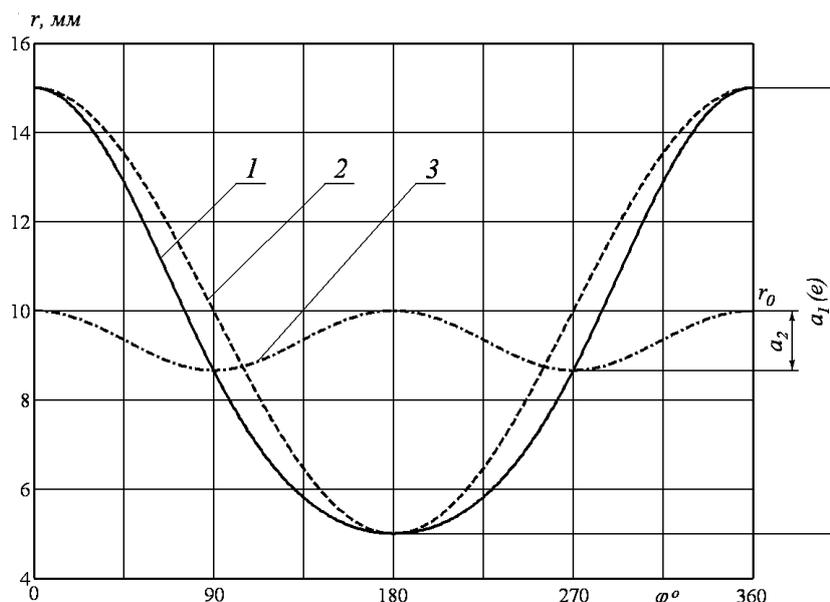


Рис. 2. Гармонический анализ средней окружности профиля детали

Гармонический анализ выражения (6) показал, что данная кривая описывается суперпозицией первой и четных гармоник ($p=1, 2, 4, \dots$) с амплитудами, быстро убывающими при увеличении порядка. Значимую величину в сравнении с амплитудой a_1 первой гармоники имеет только вторая гармоника a_2 . При этом первая гармоника однозначно определяет амплитуду e и начальную фазу ψ эксцентриситета. Поэтому эксцентриситет средней окружности профиля детали необходимо находить в виде суммы первой и второй гармоник.

Амплитуда a_2 второй гармоники нелинейно связана с амплитудой a_1 первой гармоники (рис. 3). Из графика видно, что соотношение амплитуд a_1 и a_2 зависит от соотношения e/r_0 . Максимальное значение $a_2/a_1 = 42\%$, достигается при эксцентриситете, равном радиусу средней окружности. В диапазоне $e/r_0 \leq 0,1$ указанная величина составляет около $2,5\%$. Если круглограмма анализируется графическим способом, где вместо радиуса детали рассматривается средний радиус записи, в большей степени соизмеримый с эксцентриситетом, то отклонения будут в несколько раз больше.

Возможны два пути минимизации погрешности, вызванной эксцентриситетом центра средней окружности профиля детали и начала координат при гармоническом анализе. Первый очевидный подход заключается в повторном расчете координат профиля в соответствии с выражением (5) после определения положения центра средней окружности в исходной системе координат на основе гармонического анализа профиля по выражению (2). Для выявления составляющих погрешности необходимо вновь провести гармонический анализ, но уже на основе выражения (1). Однако следует отметить, что после пересчета координат измеренных точек равномерность их углового расположения нарушается, что не позволяет использовать стандартный гармонический анализ.

Второй подход, имеющий практическое значение для радиусного способа измерения, для компенсации эксцентриситета использует корректирующий сигнал, равный сумме первой и второй гармоник средней окружности профиля детали. Для его формирования проводят гармонический анализ профиля на основе выражения (2), который дает характеризующие эксцентриситет первую и вторую гармоники. Затем находят новый профиль как разность полярных координат точек измеренного профиля и суммы первой и второй гармоник. В результате получают сцентрированную круглограмму и оценивают отклонение от круглости по известной методике.

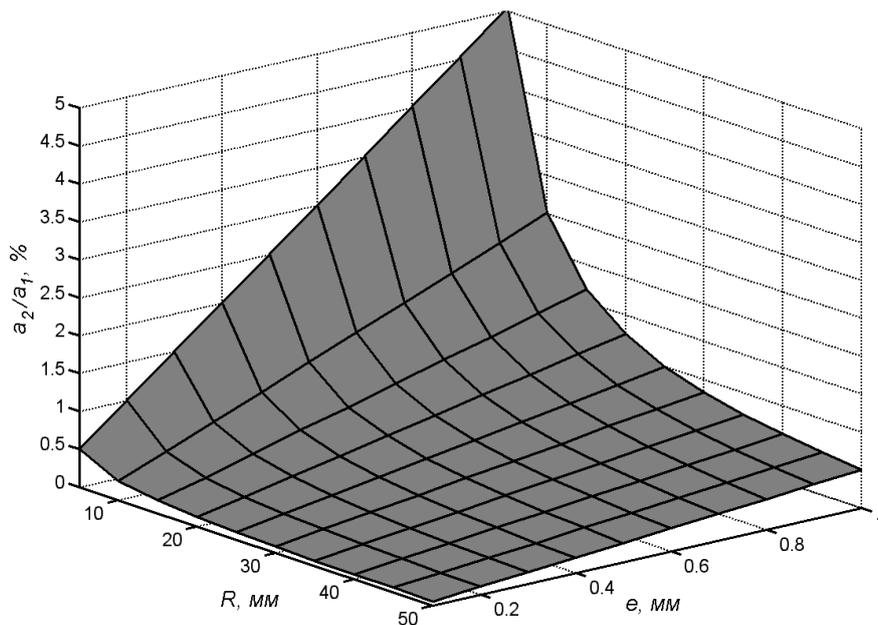


Рис. 3. Зависимость амплитуд первой и второй гармоник средней окружности профиля детали

При разностных измерениях в случае, когда эксцентриситет имеет постоянное значение, гармонический анализ позволяет уменьшить методическую погрешность в несколько раз в зависимости от условий измерения. Это достигается компенсацией погрешности базирования детали относительно шпинделя и биения самого шпинделя измерительного устройства. Особенно целесообразно использование данной методики при измерении в процессе обработки детали без предварительного центрирования [7].

В круглограмме детали находят отражение колебания в технологической системе, которые априорно неизвестны и могут быть оперативно идентифицированы с помощью искусственных нейронных сетей. С методологических позиций применение этих сетей является вполне оправданным, поскольку оценка параметров качества детали по параметрам виброакустического сигнала станка является типичной задачей распознавания и классификации образов, успешно решаемой с применением нейросетей. Суть предлагаемого подхода состоит в том, чтобы, записав сигналы о виброакустических колебаниях станка в процессе резания и произведя затем контроль детали традиционными методами с использованием соответствующего оборудования, обучить нейросеть в направлении установления соответствия между параметрами сигналов (например, в виде их амплитудного спектра) и показателями качества детали [8]. Впоследствии обученная нейросеть при подаче на ее вход вибросигнала распознает его (если такой или похожий на него сигнал имеется в сформированной при обучении выборке) и на выходе дает поставленные ему в соответствии в процессе обучения параметры качества детали, причем распознавание может происходить непосредственно в процессе обработки детали.

В качестве нейросети авторы использовали нейрокомпьютерную сеть встречного распространения. Во встречном распространении объединены два хорошо известных алгоритма: самоорганизующаяся карта Кохонена и звезда Гроссберга. Их объединение ведет к свойствам, которых нет ни у одного из них в отдельности. Самоорганизующаяся карта Кохонена выполняет классификацию входных векторов в группы схожих. Это достигается такой подстройкой весов, при которой близкие входные векторы активируют один и тот же нейрон данного слоя.

Обучение слоя Кохонена является самообучением, протекающим без учителя; необходимо лишь гарантировать, чтобы в результате обучения разделялись несхожие входные векторы. Задачей слоя Гроссберга является получение требуемых выходов. Фактически каждый нейрон слоя Гроссберга лишь выдает величину веса, который связывает этот нейрон с единственным ненулевым нейроном слоя Кохонена.

Полностью сеть встречного распространения функционирует подобно столу справок, способному к обобщению, причем обобщающая способность сети позволяет получать правильный выход даже при приложении входного вектора, который является неполным.

На основе изложенного подхода был создан программный продукт, работающий под управлением операционной системы Microsoft Windows для IBM-совместимого компьютера. Программа содержит все необходимые для проведения исследований инструменты, обладает удобным интерфейсом пользователя, средствами для визуализации входных сигналов и их спектрального представления, возможностью сохранения результатов обучения на жесткий диск и документирования.

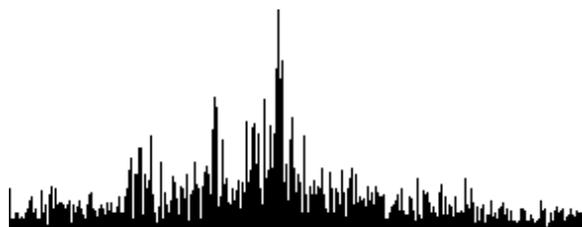
Далее в качестве примера приводятся результаты использования программы для распознавания параметров качества деталей из титанового сплава ОТ4, обработанных на автоматическом токарном станке 16A20Ф3 в ЗАО «Саратовский авиационный завод» с различными сочетаниями параметров технологического режима (скорости резания и подачи). Сигналы о виброколебаниях станка были записаны в полосе частот 2...10000 Гц пьезодатчиком, установленным на корпусе револьверной головки по вертикальной координате. Результаты измерений параметров качества деталей, выполненных с помощью приборов Talyrond 73 System (Taylor Hobson, Великобритания) и Surtronik 3+, представлены в таблице, где Ra – шероховатость, w_z – волнистость, Δ – отклонение от круглости.

Результаты определения параметров качества деталей программой представлены на рис. 4 и позволяют констатировать способность нейросети встречного распространения достаточно уверенно идентифицировать качество токарной обработки по виду спектра вибросигнала станка, генерируемого в его упругой системе процессом резания.

Вариации параметров качества деталей
при изменении параметров технологического режима

№ детали (сочетания)	Параметры качества, мкм		
	Ra	w_z	Δ
001	1,14	2,20	7,05
003	1,30	1,80	6,00
005	0,42	1,10	3,90
007	0,46	2,00	5,83
009	1,30	2,10	3,36
011	7,64	12,20	16,70
014	12,34	25,60	32,60
015	1,62	9,60	8,74
017	0,78	3,10	3,75

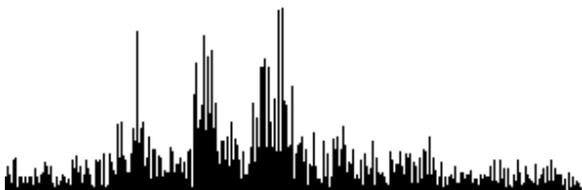
Аналогичные результаты были получены и при использовании программы для распознавания параметров качества наружных колец подшипников, обработанных на внутришлифовальном станке SIW4E в производственных условиях ОАО «Саратовский подшипниковый завод». При этом помимо вышеназванных параметров удалось обучить нейросеть распознаванию качества поверхностного слоя дорожек колец с точки зрения выявления на них локальных и периодических изменений в структуре, носящих характер прижогов.



Вход слоя Кохонена:
спектры колебаний станка



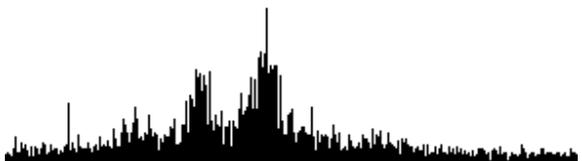
Вход слоя Кохонена:
спектры колебаний станка



Спектральный выход слоя Гроссберга,
соответствующий победившему нейрону
слоя Кохонена



Спектральный выход слоя Гроссберга,
соответствующий нейрону № 56
слоя Кохонена



Параметрический выход слоя Гроссберга,
соответствующий найденному спектру:
 $Ra=1,3$ мкм; $w_z=1,8$ мкм; $\Delta=6,0$ мкм



Параметрический выход слоя Гроссберга,
соответствующий найденному спектру:
 $Ra=1,3$ мкм; $w_z=2,1$ мкм; $\Delta=3,36$ мкм

Рис. 4. Результаты программного распознавания параметров качества деталей

Практическое применение представленных результатов дает возможность при измерении отклонения от круглости деталей априорно оценить методическую погрешность, обусловленную наличием эксцентриситета центра базовой окружности и начала измерительной системы координат, и при необходимости минимизировать данную погрешность на основе гармонического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гебель И.Д. Перенос некруглости базы на обрабатываемую поверхность при шлифовании на неподвижных опорах // Вестник машиностроения. 1966. № 9. С.67-70.
2. Бржозовский Б.М., Захаров О.В., Погораздов В.В. Формообразование поперечного сечения деталей при бесцентровом суперфинишировании // СТИН. 2002. № 12. С.24-27.
3. Ляндон Ю.Н. Основы взаимозаменяемости в машиностроении. М.: Машгиз, 1951. 142 с.
4. Авдулов А.Н. Контроль и оценка круглости деталей машин. М.: Изд-во стандартов, 1974. 176 с.

5. Spragg R.C. Accurate calibration of surface texture and roundness measuring instruments // Proc. Instr. Mech. Engrs., 1967-1968. P.32.

6. Серебренников М.Г. Гармонический анализ. М.: Огиз, 1948. 504 с.

7. Захаров О.В., Кочетков А.В., Сысуев Д.А. Метод измерения круглости детали на основе гармонического анализа // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 10. С.40-42.

8. Определение параметров качества изделий при механообработке в реальном времени на основе нейросетевых алгоритмов / Б.М. Бржозовский, М.Б. Бровкова, В.В. Мартынов, А.Н. Ворыпаев // Нелинейная динамика и прикладная синергетика: Материалы Междунар. конф. Комсомольск-на-Амуре, 2003. С.62-65.

Бржозовский Борис Максович –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Конструирование и компьютерное моделирование
технологического оборудования в машино- и приборостроении»
Саратовского государственного технического университета

Бровкова Марина Борисовна –

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»
Саратовского государственного технического университета

Захаров Олег Владимирович –

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

УДК 621.92.061.62

О.Г. Быкадорова, В.М. Шумячер

О МЕХАНИЗМЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Описан механизм стружкообразования при шлифовании, в основу которого положена гипотеза о формировании в клиновом зазоре «зерно-металл» слоя с измененными физико-механическими свойствами. При шлифовании, наряду с образованием борозд и навалов передней гранью зерна, расположенной под тупым углом к вектору движения, на рабочем элементе образуется дополнительный режущий слой.

O.G. Bikadorova, V.M. Shumyatcher

ABOUT A MECHANIZM OF SHAVING FORMING DURING GRINDING

The paper describes the mechanizm of the shaving forming during grinding. It is based on the hypothesis about the appearance of the layer with the changed

physical characteristics in the wedge clearance «grain-metal». And also it is shown, that an additional cutting layer is formed by grinding along with the creation of the furrows and piles, formed by the front facet of the grain located at the obtuse angle to the direction of the vector movement.

Повышение эффективности абразивной обработки связано с созданием новых инструментов. Решение данной задачи осложняется тем, что в большинстве случаев неизвестны условия эксплуатации абразивного инструмента. К этим условиям относится стружкообразование как результат взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемым металлом. Разработанные вероятностные модели процесса шлифования учитывают стохастическую природу взаимодействия инструмента и обрабатываемой поверхности. Вместе с тем в данных моделях практически не раскрыта физическая сущность стружкообразования, которая, в основном, определяет параметры абразивной обработки. В рамках модели стружкообразования единичным абразивным зерном [1] процесс резания представляется как импульсный процесс, в результате которого в некоторой области D_z с границей $\partial D_z = \sum_{i=1}^2 \partial D_z^{(i)}$, где $i=1,2$, возникают волны напряжений (рис. 1). В результате взаимодействия волн напряжений между собой и со свободной поверхностью $\partial D_z^{(1)}$ образуются области возмущений: $D_z^{(1)}$ и $D_z^{(2)}$. В области $D_z^{(1)}$ металл находится в упругом состоянии, а в области $D_z^{(2)}$ – в пластическом (рис. 1,а).

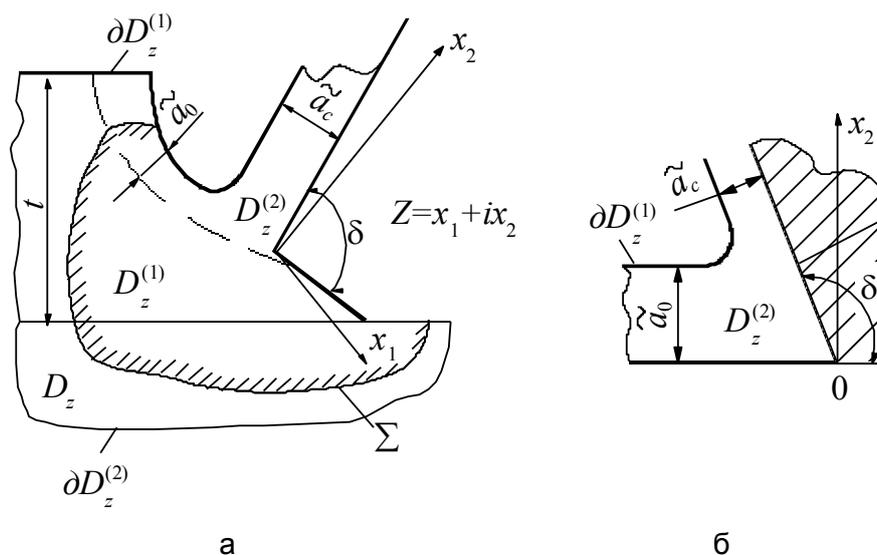


Рис. 1. Область течения в физической плоскости $Z(1)$

В связи с тем, что процесс стружкообразования определяют значительные пластические деформации, рассматривается область $D_z^{(2)}$, геометрия которой определяется средней толщиной микросреза \tilde{a}_0 и стружки \tilde{a}_c , а также средним углом резания δ абразивного зерна. Процесс стружкообразования единичным зерном треугольного сечения с углом при вершине $\tilde{\gamma}$ представляет собой объемное вязкопластическое течение срезаемого металла (рис. 1,б). Авторами [1] получено решение плоской детерминированной модели стружкообразования единичным зерном. К главному недостатку рассматриваемой модели следует отнести игнорирование процессов, протекающих на границе «зерно – металл».

Известно [2,3], что в зоне контакта «абразивное зерно – заготовка» выделяется значительное количество тепла, достаточное для плавления металла. По Д. Иегеру мгновенная температура θ в контакте «абразивное зерно – заготовка» может быть определена из зависимости:

$$\theta = \frac{k \cdot f \cdot P(l \cdot V_{\kappa})^{0,5}}{(\lambda \cdot \gamma \cdot c)^{0,5}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент; f – коэффициент трения абразивного зерна по шлифуемому металлу; P – удельное давление в контакте; l – длина контакта; V_{κ} – скорость вращения круга; λ – коэффициент теплопроводности металла; c – теплоемкость обрабатываемого металла.

Расчеты по (1) показывают, что температура при шлифовании различных металлов достигает от 2000 до 5000°C, что не может соответствовать действительности. Вполне очевидно, что предельное значение температуры в контакте «абразивное зерно – заготовка» при шлифовании стали соответствует температуре плавления $\sim 1340^{\circ}\text{C}$ [6].

Запишем зависимость (1) в виде:

$$1340(\lambda \cdot \gamma \cdot c)^{0,5} = k f P(l V_{\kappa})^{0,5}. \quad (2)$$

При этом следует различать понятия мгновенной температуры θ в точке контакте с температурой T в поверхностных слоях обрабатываемого материала.

Коэффициент трения f может быть найден по формуле:

$$f = \frac{1340(\lambda \cdot \gamma \cdot c)^{0,5}}{k \cdot P(l \cdot V_{\kappa})^{0,5}}. \quad (3)$$

По данным многочисленных исследований [4], при температурах $T \geq (500-1100)^{\circ}\text{C}$ в поверхностных слоях возникают прижоги и трещины, как результат фазовых превращений при термообработке. При этом плотность обрабатываемого металла γ колеблется в значительных пределах: от 7,70 г/см³ для цементита до 8,5 г/см³ для аустенита [4].

В зависимости от скорости вращения круга и толщины припуска время контакта единичного зерна с металлом колеблется в пределах от $4 \cdot 10^{-5}$ до $7 \cdot 10^{-6}$ секунды [2]. По закону Клайперона – Клаузиуса [6,7] такие сверхвысокие скорости пластических деформаций и разогрева сдвигают точки фазовых превращений, и, в силу инерционности прогрева и рекристаллизации обрабатываемого металла, правомерно допустить, что его плотность (γ , г/см³) остается величиной постоянной и равной $\bar{\gamma} = 7,8$ г/см³ [4].

Величины удельной теплопроводности λ (кал/см.с.град.) и удельной теплоемкости c (кал/г.град.) являются величинами переменными. Для сталей типа ШХ-15 с содержанием углерода $C=(0,95 \div 1,05)\%$ и хрома $Cr=(1,3 \div 1,65)\%$ при возрастании температуры $\lambda \rightarrow \lambda_{\min}$; $c \rightarrow c_{\min}$ [5], (см. таблицу).

Зависимость удельной теплопроводности λ и удельной теплоемкости c от температуры

Параметры	Значения параметров					
	20	200	400	600	800	1000
$T, ^{\circ}\text{C}$	20	200	400	600	800	1000
c (кал/г.град.)	0,112	0,117	0,126	0,141	0,155	0,157
λ (кал/см.с.град.)	0,1027	0,0944	0,0833	0,0722	0,0638	0,0555
$(c \cdot \lambda \cdot \gamma)^{0,5}$	0,299	0,293	0,289	0,281	0,277	0,260

Произведение $(c \cdot \lambda \cdot \gamma)^{0,5}$ с достаточной степенью точности принимается постоянным со средним значением $(c \cdot \lambda \cdot \gamma)^{0,5} = 0,282$.

Таким образом, при заданной скорости вращения круга, коэффициент трения f в формуле (3) прямо пропорционален отношению температуры θ в точке контакта к величине удельного давления P в этой точке.

При установившемся режиме шлифования, когда сила сжатия P_y уравнивается жесткостью системы СПИД, при $P=\text{const}$, $\theta \rightarrow \theta_{\text{max}}$, $f \rightarrow f_{\text{max}}$.

В случае технологического ограничения температуры $\theta=\text{const}$, $P \rightarrow P_{\text{max}}$, $f \rightarrow f_{\text{max}}$.

По данным ряда исследователей [3], сложным представляется выполнение расчета по формуле (1) действительных температур. Приведенная формула рассматривается как сумма факторов, влияющих на мгновенный разогрев металла в микроне зоне контакта абразивного зерна с металлом. При этом величины f , P , l , V отражают энергозатраты процесса, коэффициенты λ , γ , c – теплофизические свойства шлифуемого материала. Коэффициент трения f , умноженный на силу нормального давления P на величине перемещения l , характеризует работу, совершаемую со скоростью V .

В этом случае сомножители $f \cdot P$, на наш взгляд, правомернее представить как сумму усилий $\sum(Z, Y)$, отражающую полное сопротивление перемещению от пластических и упругих деформаций при сдвиге, плюс трение диспергированных элементов и зерна о неподвижные поверхности.

Вместе с тем, предел текучести металла, в свою очередь, изменяется от исходного в зависимости от его температуры. В этом случае при температурах нагрева $\theta > 2000^\circ$, превышающих температуры плавления сталей $1350 \div 1500^\circ\text{C}$, формула (1) теряет смысл, так как силы сопротивления деформациям, определяемые вязкостью расплавов, на несколько порядков ниже исходных пределов прочности металла при сдвиге.

Поэтому представляется интересным детальное рассмотрение процесса диспергирования металла при шлифовании в контакте режущего зерна с металлом.

Известные соотношения усилий P_y/P_z и их абсолютные значения, постоянные для стационарных процессов, установившихся при заданных технологических режимах, в зоне контакта могут изменяться в зависимости от величины угла поворота круга φ и различаться на порядок, так как объемы металла, снимаемого при входе зерна в зону контакта и при его выходе (рис. 2), определяются как

$$V = \frac{1}{2} a_1 \cdot r(1 - \cos \varphi) ,$$

где V – объем снимаемого металла; a_1 – величина продольной подачи за время прохождения зерном зоны контакта; r – радиус круга; φ – угол поворота круга за время контакта зерна с металлом.

При диаметрах круга 100-200 мм, подаче на глубину – 0,01 мм за проход, продольной подаче – 15 м/мин, при углах поворота $\varphi=0,1$ от полного угла контакта объемы снимаемого металла при входе и выходе зерна из зоны контакта различаются в 18-20 раз.

При скорости вращения круга 35 м/с нарастание встречного объема происходит за время $4 \cdot 10^{-5}$ с, что сопоставимо с ударным сжатием металла, вызывающим наклеп [1].

По данным П.И. Полухина [8] и других, прочность стали ШХ-15 в зонах наклепа возрастает в 1,6-2,5 раза. При этом глубина залегания металла, упроч-

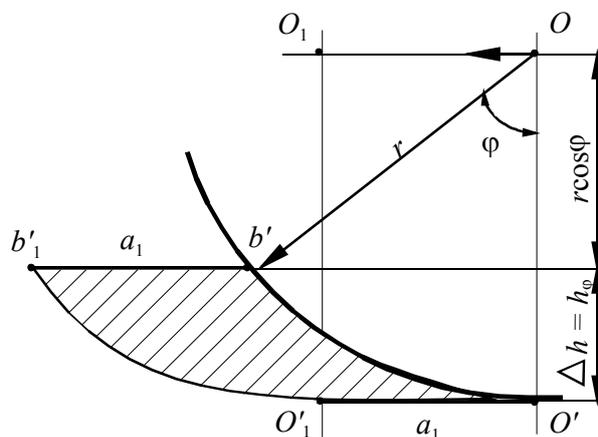


Рис. 2. Объем снимаемого металла за время прохождения зерном зоны контакта

ненного в результате наклепа при шлифовании, по данным М.О. Якобсона [1], может достигать от 0,015 до 0,04 мм. При обработке металла резцом наклеп обнаруживается в виде наростов на его режущей кромке, создавая дополнительные следы неровностей на обрабатываемой поверхности. Большая часть нароста уносится сходящей стружкой, но отдельные его части накладываются на заднюю грани инструмента (рис. 3).

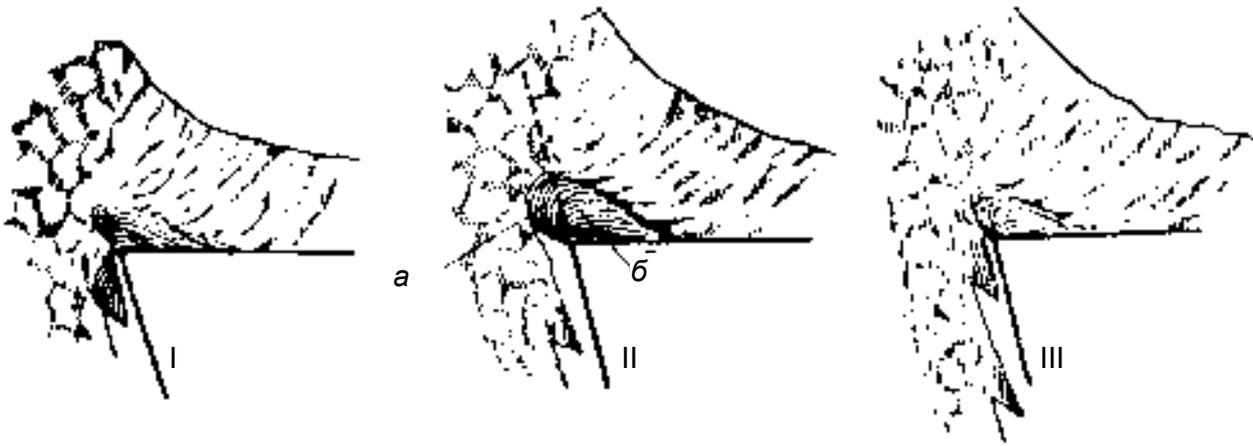


Рис. 3. Срывы нароста и его наложение на обработанную поверхность по Э.И. Фельдштейну:

- I – увеличение толщины среза, обусловленное наростом;
- II – срыв нароста, часть нароста *a* остается на детали, часть *б* уносится со стружкой;
- III – периодически повторяющееся увеличение нароста *a*

Задней гранью абразивного зерна, как режущего инструмента, является площадка затупления. Предполагается, что передняя грань зерна и площадка затупления со стороны передней грани разрушаются интенсивнее, чем зоны, имеющие меньший контакт с обрабатываемой поверхностью. В образовавшемся таким образом клиновом зазоре накапливается уплотненный металл с максимальной прочностью и твердостью со стороны площадки затупления и постепенным убыванием этой прочности и твердости в сторону обрабатываемой детали, вплоть до исходных свойств (рис. 4).

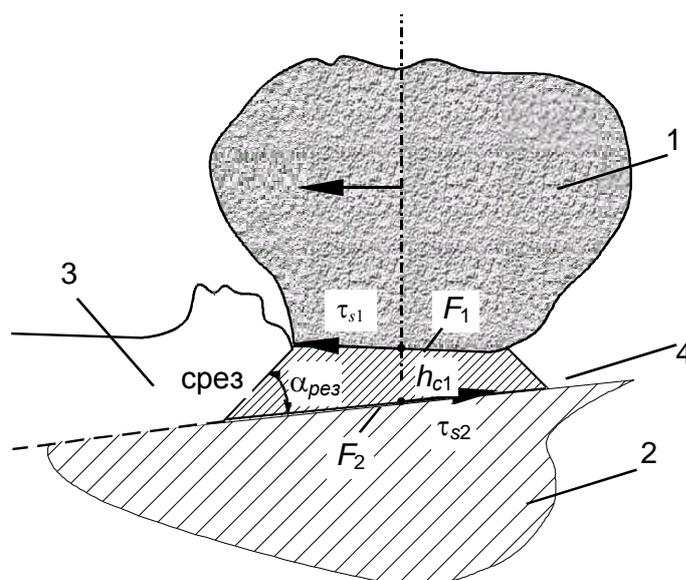


Рис. 4. Лезвие, образованное из уплотненного металла между площадкой затупления зерна F_1 и площадкой сдвига F_2 :
1 – зерно; 2 – исходный материал; 3 – снимаемый слой; 4 – наклеп

Твердый металл между площадкой затупления F_1 и площадкой сдвига F_2 образует лезвие, исходя из равенства усилий сдвига

$$\tau_{s_1} \cdot F_1 = \tau_{s_2} \cdot F_2 ,$$

где τ_{s_1} – напряжение сдвига упрочненного металла в слое, близком к площадке затупления; τ_{s_2} – напряжение сдвига металла со свойствами, близкими к исходным, следует вывод о том, что при $\tau_{s_1} > \tau_{s_2}$ $F_2 > F_1$.

Таким образом, между площадками F_2 и F_1 образуется усеченный конус с высотой h_c , равной толщине уплотненного слоя. Угол наклона образующей этого конуса к направлению его перемещения совместно с зерном обозначим $\alpha_{рез}$, а усилие перемещения – как сумму сопротивления сдвига, сопротивления резания и сопротивления трения.

На основании изложенного можно заметить, что:

- коэффициент f в формуле (1) Д. Иегера следует рассматривать как обобщенный коэффициент сопротивления перемещению единичного зерна вдоль оси Z при шлифовании;
- коэффициент f есть величина переменная, возрастающая от точки входа зерна в зону контакта с металлом к точке выхода;
- мгновенная температура θ в зоне контакта абразивного зерна с металлом переменна и возрастает от точки входа зерна в зону к точке выхода.

По данным Д. Иегера, Б. Блока, С.Г. Редько, С.С. Силина, А.И. Исаева и других, мгновенная температура в зоне контакта абразивного зерна с металлом может превышать температуру плавления обрабатываемого металла. Жесткость системы СПИД шлифовально-го станка обуславливает рост мгновенного давления контакта зерна и объема снимаемого металла по дуге зоны контакта. Поэтому, согласно дифференциальному уравнению Клайперона – Клаузиуса, для кривых равновесия при переходе кристалла в жидкость:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{Q}{T \Delta V} ,$$

где Q – теплота превращения; ΔV – изменение объема при превращении; T – температура; P – давление, точка плавления с увеличением давления повышается [6,7].

Это означает, что при шлифовании в зоне контакта возможно существование уплотненного перегретого объема металла, находящегося в твердой фазе при температуре, превышающей температуру плавления, определенную в равновесном состоянии, то есть при минимальном избыточном давлении и минимальной скорости нагрева, со временем, достаточным для прохождения фазовых превращений.

В этом случае плавление уплотненного при обработке металла происходит за пределами зоны контакта, после его выброса за зону контакта и снятия давления.

Экспериментальное определение теплофизических характеристик обрабатываемого металла (λ, γ, c), находящегося в твердом агрегатном состоянии при температурах выше точки плавления, проблематично. Поэтому возникают ограничения в применении формулы Иегера для практических расчетов температур в зоне абразивной обработки. Однако структурный анализ ее сомножителей дает теоретическое представление о физических процессах, происходящих в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом, что представляется ценным при осмысленном выборе технологических режимов шлифования при их интенсификации.

В рамках развитых нами представлений механизм стружкообразования можно описать следующим образом.

Стружкообразование при шлифовании представляется как комплекс одновременно происходящих процессов: наряду с образованием борозд и навалов передней гранью зерна, расположенной под тупым углом к направлению его перемещения, происходит ударное уплотнение и наклеп нарастающего объема металла задней гранью (или площадкой затупления) с последующим сдвигом и отделением уплотненного объема от основной массы обрабатываемого металла. Отделенная часть металла, обладая повышенной прочностью и твердостью, сама представляет режущий элемент, перемещаемый вместе с зерном.

Мгновенная температура в зоне контакта зерна с металлом может превышать точку плавления стали, так как мгновенно возрастающее давление, согласно закону Клайперона – Клаузиуса, смещает точку плавления в сторону ее увеличения. При этом перегретый металл остается твердым вплоть до выхода его из зоны контакта. Плавление, окисление и другие процессы происходят в свободном пространстве веера выброса стружки и других продуктов диспергирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якобсон М.О. Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке. М.: Машгиз, 1956. 292 с.
2. Хрульков В.А. Шлифование жаропрочных сплавов. М.: Машиностроение, 1964. 200 с.
3. Шальнов В.А. Шлифование и полирование высокопрочных материалов. М.: Машиностроение, 1972. 272 с.
4. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. М.: Машиностроение, 1969. 175 с.
5. Каменичный И.С. Краткий справочник технолога-термиста. М. – Киев: Машгиз, 1963. 286 с.
6. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1976. 407 с.
7. Самарин А.М. Сталеплавильное производство: Справочник. М.: Металлургия, 1964. 578 с.
8. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1983. 351 с.

Быкадорова Ольга Геннадьевна –

аспирантка кафедры «Технология обработки и производства материалов»
Волжского инженерно-строительного института
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

Шумячер Вячеслав Михайлович –

доктор технических наук,
заведующий кафедрой «Технология обработки и производства материалов»
Волжского инженерно-строительного института
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

А.Н. Виноградов

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Использование новых трибологических принципов и эффектов применительно к различным трибосопряжениям автомобильной техники дает возможность значительно повысить ресурс работы узлов трения.

A.N. Vinogradov

**THE SCIENTIFIC BASIS OF RISE OF SOME OPERATIONAL CHARACTERISTICS
TRIBOLOGICAL GANGS OF MOTOR TRANSPORT**

The usage of new the tribological principles and effects for different tribological gangs of motor transport gives considerably opportunity to extent resources of a work of a friction units assembly.

Возможность движения без трения впервые была предсказана профессором Н.Е. Жуковским – отцом русской авиации, который оставил в наследство будущим поколениям две идеи о движении без трения. При этом речь идет не о движении без трения вообще, а о снижении его в рабочем органе. Общие потери энергии могут при этом даже возрастать [1].

Первая идея заключалась в компенсации трения за счет вспомогательного встречного движения промежуточной опоры, приводимой от постороннего источника энергии (рис. 1).

Как видно из рис. 1, при движении четных и нечетных нитей в разных направлениях возникают две противоположные силы трения:

$$F_1 = f G_1 \text{ и } F_2 = f G_2 ,$$

где G_1 и G_2 – части груза, находящиеся на четных и нечетных нитях; f – коэффициент трения.

Если система симметрична и $G_1 = G_2$, то $F_1 = F_2$, и груз G будет двигаться по направлению движения нитей без трения (для тех случаев, когда сила трения не зависит от скорости).

Вторая идея отличалась применением (вместо встречного) бокового вспомогательного движения платформы, скорость которой должна быть намного больше, чем скорость скольжения груза G по платформе A (рис. 2).

Как видно из рис. 2, при $V_x \gg V_y$ сила трения по направлению Y будет меньше, чем по X , что зависит от угла α . Предполагается, что составляющие силы трения будут располагаться тоже по осям X и Y .

$$F_y = f G \sin \alpha = f G \frac{V_y}{\sqrt{V_y^2 + V_x^2}}.$$

При $V_x \gg V_y \sin \alpha \rightarrow 0$ и $F_y \rightarrow \min$.

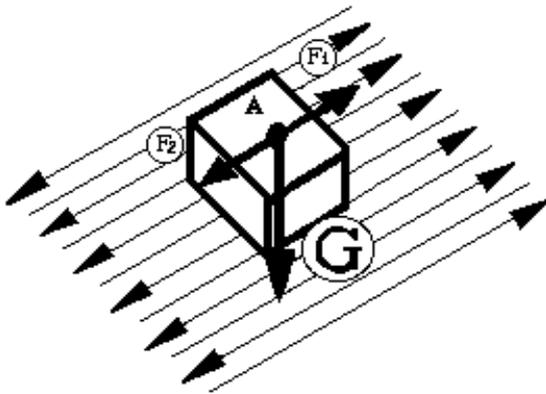


Рис. 1. Иллюстрация идеи Н.Е. Жуковского о компенсации трения при встречном движении промежуточной опоры

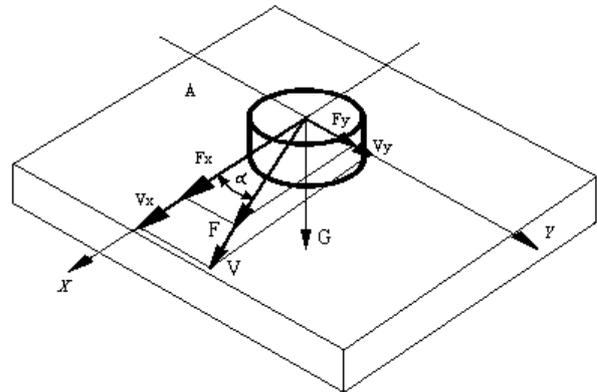


Рис. 2. Иллюстрация второй идеи о компенсации трения с помощью бокового вспомогательного движения платформы

Для реализации второй идеи можно использовать различные конструкции, в том числе без внешнего источника энергии, например, за счет остаточной несбалансированности вращающейся массы, рис. 3.

С увеличением частоты и амплитуды вибрации, которую можно повысить введением упругого элемента 2, по оси X средняя скорость вспомогательного движения $V_{x_{cp}}$ может быть намного больше скорости вращения V_y и таким образом снижена сила трения при вращении относительно оси X .

Наибольшее развитие эти идеи получили в гироскопических приборах, для чего были созданы специальные «реверсивно-вращающиеся опоры» – шариковые подшипники с двумя рядами шаров и промежуточными кольцами, которые через зубчатую передачу вращались в противоположных направлениях [2] (рис. 4).

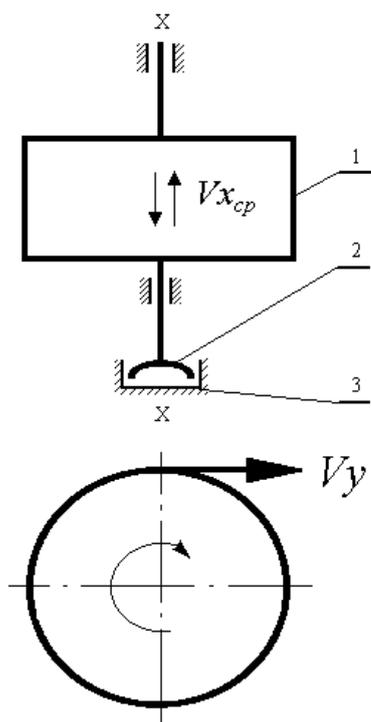


Рис. 3. Иллюстрация снижения трения за счет усиления вибрации вдоль оси X:
1 – вращающаяся масса;
2 – упругая опора; 3 – подпятник

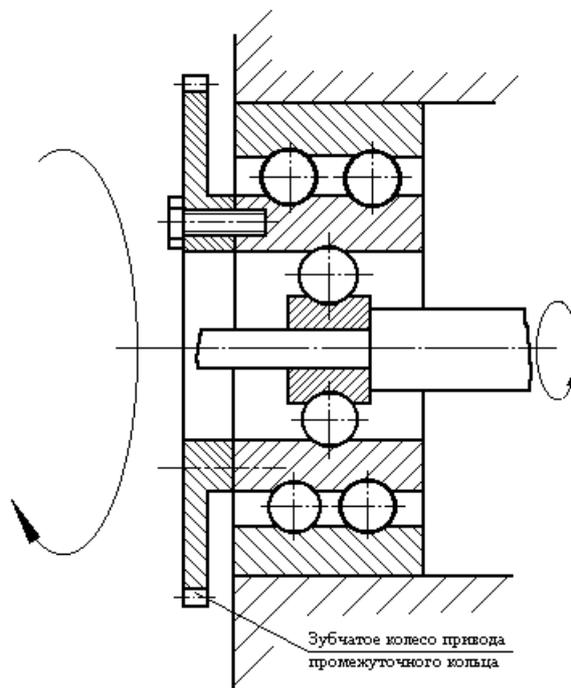


Рис. 4. Реализация принудительного вращения промежуточного кольца опоры гироскопа от дополнительного электродвигателя

Реализация этих идей с помощью принудительного вращения или вибрации промежуточной опоры подтвердила возможность снижения трения в рабочем органе. Однако величина фактического снижения трения оказалась меньше расчетной. Это расхождение, по видимому, объясняется тем, что профессор Жуковский объяснял снижение трения чисто геометрическими соображениями и не учитывал снижения при этом адгезионной составляющей при переходе от состояния покоя к движению и повышению скорости.

Переход от покоя к движению и дискретность трения обусловлены наличием упругого смещения и временем формирования адгезионных связей. При снижении жесткости упругого элемента и скорости скольжения повышается время покоя, большее число фрикционных связей успевает сформироваться, что и повышает силу трения покоя вплоть до возникновения схватывания. Это хорошо наблюдается при наличии в приводе упругого звена (в подвижных электрических контактах, распределительных механизмах автомобильных двигателей, компрессорах холодильников и др.). В электрических контактах это явление можно наблюдать невооруженным глазом, особенно при снижении жесткости упругого элемента и скорости скольжения, когда резко повышается амплитуда и снижается частота фрикционных автоколебаний, а с увеличением скорости и жесткости колебания становятся незаметными.

В автомобильных двигателях введение упругого звена в привод распределительного механизма (цепь, зубчатый ремень) привело к возникновению режима схватывания и аномального износа кулачков распределительных валов (особенно в первых моделях автомобилей «Жигули»). Сказывалось при этом влияние и других факторов: высоких удельных нагрузок на вершине кулачка, разрывающих масляную пленку (в режиме масляного голодания),

недостаточной твердости контактирующих материалов, стремления водителей к регулированию устойчивости холостого хода при минимальных оборотах и др. (рис. 5).

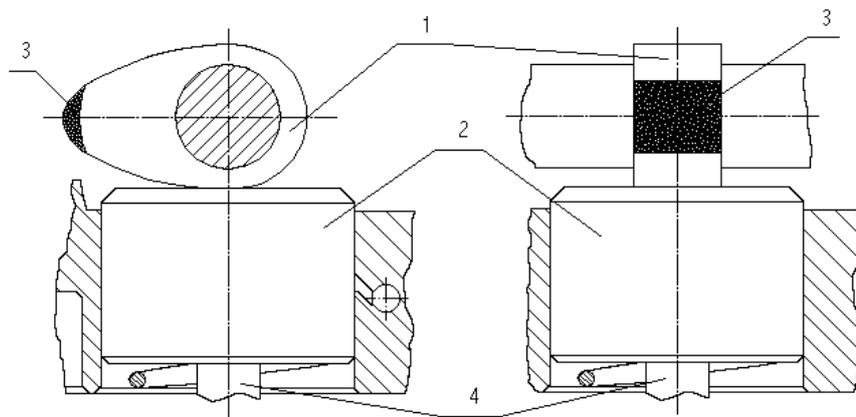


Рис. 5. Аномальный износ кулачков в двигателях с упругим звеном привода распределительного механизма и гидрокомпенсатором зазора: 1 – кулачок распредвала; 2 – гидрокомпенсатор; 3 – износ кулачка; 4 – стержень клапана

В прежних («тихоходных») двигателях, где применялся жесткий привод через зубчатые шестерни, аномального износа кулачков не наблюдалось в течение многих лет эксплуатации.

В двигателях с нижним расположением распределительного вала («Волга», «Москвич») и передачей движения на клапаны через толкатели и штанги (рис. 6) отсутствие аномального износа кулачков можно объяснить фактической реализацией в такой схеме второй идеи профессора Жуковского – наличием вспомогательного бокового движения (вращения толкателя) и переводом трения скольжения в трение качения, что достигается смещением кулачка относительно оси вращения толкателя.

Замечательной особенностью такой схемы является то, что в ней для создания вспомогательного движения опоры не требуется внешняя энергия. Вращение толкателя осуществляется силами трения, но при этом не происходит увеличения общих затрат энергии. Рабочие поверхности кулачков после приработки становятся зеркальными, работают в режиме устойчивого нормального окислительного трения в течение длительной эксплуатации и не имеют заметного износа.

В настоящее время нашли применение так называемые гидрокомпенсаторы зазора, которые устраняют операцию регулировки зазора клапанов и снижают шумность при работе клапанного механизма двигателя. Но, при полном отсутствии зазора между кулачком и толкателем (гидрокомпенсатором) и смещении кулачка относительно оси толкателя ухудшаются условия смазки наиболее нагруженных поверхностей и неизбежно возникновение очагов схватывания и аномального износа. Проблема эта может быть решена разными способами: применением специальных высокотвердых материалов, антизадирных присадок и т.п., но это – лече-

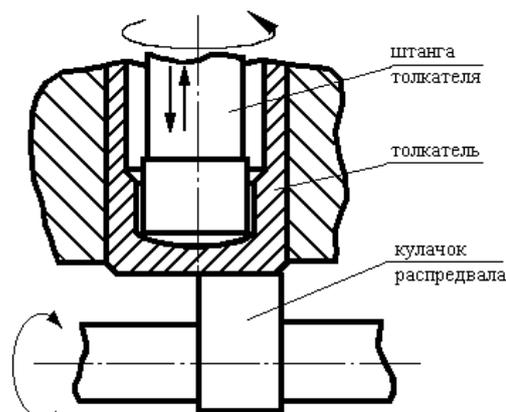


Рис. 6. Схема реализации вспомогательного (бокового) движения в опоре за счет смещения оси вращения кулачка (без использования внешней энергии)

ние больного, а не радикальное устранение причины болезни. Значительно проще и дешевле подобная проблема решается с помощью варианта «эффекта Жуковского», не требующего использования внешней энергии, где вспомогательное движение опоры достигается за счет внутренних источников.

Для подавления трения в рабочем органе профессор Жуковский предлагал использовать механическую энергию. Но он не имел тогда того арсенала информации о механизмах контактного взаимодействия, которым мы располагаем теперь. Можно, по-видимому, использовать и другие виды энергии для управления процессами трения и изнашивания или отдельными их составляющими.

Снижение момента трогания, по нашим данным, наблюдалось также после лазерного облучения смазки генераторных подшипников качения 180302 (до 30%), которое сохранялось при хранении до двух месяцев. Известно аномальное снижение трения при радиоактивном облучении поверхности [3]. Но эти способы подавления трения основаны на использовании внешних источников энергии.

Энергетический выигрыш имеет место при избирательном переносе (ИП), где часть энергии трения, которая при традиционном трении теряется безвозвратно, используется для механохимической активации поверхности и достижения безокислительного трения. Это хорошо наблюдается в слабых контактах (ССК), где неустойчивые оксиды благородных металлов легко восстанавливаются теплом трения [4]. Но при ИП могут возникать не только полезные, но и вредные формы активации, нарушающие равновесие микропереноса и устойчивость режима безокислительного трения. В [5] нами показано, что термодиффузионный перенос вещества происходит в сторону горячего тела и является тем механизмом, в котором часть тепла трения совершает полезную работу. В ССК благодаря этому фактору перенос происходит всегда с кольца на щетку в сторону точечного контакта, износ которого оказывается меньше, чем массивного контакта. При ИП наличие разностного потока тепла и высоких температурных градиентов на границе раздела может вызвать односторонний перенос фрикционного покрытия. Этот фактор не учитывается при реализации ИП, что является одной из причин его неустойчивости и недоверия к самой идее безыносного трения. При исследовании устойчивости фрикционных покрытий в подшипниках качения «искусственно» изменяли величину и направление потока тепла трения и наблюдали перенос фрикционного покрытия в сторону «горячего» тела [6].

Энергетической основой нормального окислительного трения (НОТ), как было показано Б.И. Костецким [7,8] и развито в нашей работе [9], является энергия пластической деформации (активация металла), которая частично реализуется скачкообразным возникновением пленки оксида металла. Другая ее часть переходит в потенциальную энергию пленки оксида в виде ее внутренних напряжений и ускоряет разрушение очередной пленки. Энергетической основой ИП, как оказалось, также является микропластическая деформация, которая локализована при нормальном трении в поверхностном слое (1-2 мкм) и может реализоваться как возникновением защитной структуры в виде пленки оксида (при НОТ), так и мягкого металла (Cu, Ag, Au) при ИП. В средах, содержащих кислород и влагу, ИП и НОТ конкурируют в захвате поверхности и могут вытеснять друг друга, что зависит от режима и условий. В компрессоре холодильника, где окислительные процессы подавлены, а пластические деформации микрошероховатостей (на мягкой стали) возникают при естественном режиме нагружения, условия благоприятны для ИП. В двигателях внутреннего сгорания, где окисление поддерживается горением топлива и неограниченным запасом кислорода и влаги, условия благоприятны для НОТ и поэтому ИП дает временный эффект, а при продолжении эксплуатации интенсивность окислительного износа повышается за счет диспергирующего действия ПАВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник Хютте. Т.1. М.: Главная редакция по машиностроению и металлообработке, 1996. 384 с.
2. Ковалев М.П., Сивокопенко И.М., Явленский К.М. Опоры приборов. М.: Машиностроение, 1967. 205 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985. 424 с.
4. Куранов В.Г. Фрикционная непроводимость слаботочных контактов. Саратов: СГТУ, 1996. 60 с.
5. Kuranov V., Vinogradov A., Mironov S. Unity and contrast of normal oxidizing friction and selective transfer // Polish academy of sciences exploitation problems of machines: A quarterly concerning problem of tribology, reliability, exploitation, diagnostics. V. XXXIII, ISSUE2(114). Warszawa, 1998. P.239.
6. Куранов В.Г., Бузов А.В., Петров Ю.А. Влияние термодиффузионного переноса на устойчивость фрикционных покрытий при трении // Восстановление и упрочнение деталей машин: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1998. С.34-38.
7. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин. Киев: Машгиз, 1959. 478 с.
8. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техника, 1976. 298 с.
9. Куранов В.Г., Виноградов А.Н. Избирательный перенос и нормальное окислительное трение – варианты универсального явления структурной приспособляемости // Восстановление и управление качеством деталей машин и механизмов: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1999. С.27-33.

Виноградов Александр Николаевич –

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

УДК 629.113.004

И.К. Данилов

**КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-РЕМОНТНЫХ
ЦИКЛОВ ДВС НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ**

Изложен подход к эксплуатационно-ремонтному циклу ДВС как к системе, позволяющей индивидуально планировать технические воздействия – предупредительные и капитальные ремонты. В качестве базовых выбраны теория многоуровневых иерархических систем и сети Петри, позволяющие, кроме всего прочего, определить трудоемкость каждого этапа восстановления работоспособности ДВС.

I.K. Danilov

**SCHEMING CONCEPTION OF ICE (INTERNAL-COMBUSTION ENGINE)
SERVICE CYCLES BASED ON SYSTEM THEORY**

The article describes the approach to the ICE service cycle as to the system that allows to plan service-preventive measures and overhaul. The conception is based on the multilevel hierarchic system theory and the Petry net. It can determine the working hours of every ICE service stage.

Многими специалистами обоснованы системы эксплуатационно-ремонтных циклов (ЭРЦ) ДВС с предупредительными (ПР) и капитальными (КР) ремонтами. Они представляют собой комбинации технических воздействий с номенклатурой заменяемых деталей, периодичностью и трудоемкостью восстановительных работ. Однако, все предлагаемые структуры ЭРЦ не учитывают индивидуального состояния, так как пробег до ПР или КР учитывает статистически усредненные значения параметров состояния. Проведение предремонтного диагностирования частично решает эту проблему, но не дает оптимального результата при планировании технических воздействий. Выход из сложившейся ситуации нам видится в системном решении этой важной народнохозяйственной проблемы.

Всякая методика анализа какой-либо системы (ДВС) базируется на выделении в ней тем или иным способом, по тем или иным критериям подсистем, которые подлежат классификации и в дальнейшем рассматриваются как самостоятельные объекты исследования. Результат выделения подсистем определяется общей постановкой проблемы, при этом признаки выделения, как и состав подсистем, различны. Например, в отличие от динамически нагруженных сопряжений подсистемы кривошипно-шатунного механизма (КШМ) «вкладыш – шейка коленчатого вала», сопряжение подсистемы цилиндропоршневой группы (ЦПГ) «гильза – поршневое кольцо» саморазгружающееся. То есть, физически процессы изменения технического состояния сопряжений различны. Вследствие этого, становятся различными и подходы к их изучению и проектированию, при условии, что глобальным критерием качества создаваемого ЭРЦ являются экономические показатели, связанные с себестоимостью ремонта и эксплуатацией ДВС. Другим необходимым условием создаваемой системы являются её методологические аспекты. Создание технологии ремонта должно охватывать не только этап проектирования, но и реализации ремонтного цикла, так как оперативная возможность корректировки предопределяет эффективность. Кроме того, технология ремонта должна строиться с учетом состояния всех деталей узла или механизма ДВС, оценки структурных и диагностических параметров.

Анализ известных из теории организации и системотехники моделей позволил выбрать в качестве базовой, отличающейся в большей степени приемлемостью теоретическим положениям проектирования ремонтных циклов, теорию многоуровневых иерархических систем (МИС) [1]. В соответствии с ней, система задается семейством моделей, характеризующих состояние КШМ, ЦПГ, системы смазки, питания ДВС. Процесс проектирования ремонтных циклов отражает моменты представления системы планирования, а модели реализации – описание аспектов функционирования производственной системы и адаптации к ней технологии.

Математическая формализация многоуровневых иерархических систем планирования ремонтных циклов связана с определением множества выходов в виде информации, определяющей номенклатуру заменяемых деталей ДВС, перечень и трудоемкость работ по диагностированию и ремонту. Применительно к проектированию ЭРЦ ДВС, с точки зрения теории МИС, это решение следующих задач:

1. Разработка средних значений показателей технического состояния ДВС перед ПР и КР.
2. Диагностирование технического состояния ДВС по проектируемым параметрам.
3. Определение номенклатуры заменяемых деталей, трудоемкости.
4. Определение рациональной структуры ЭРЦ с учетом требований ГОСТа к параметрам ДВС.

Применительно к внедрению (реализации) ремонтных циклов в производство, это решение следующих задач:

1. Определение маршрутов ремонта ДВС и номенклатуры заменяемых деталей.
2. Обработка данных, характеризующих надежность сопряжений ДВС.
3. Анализ изменений в производственной ситуации и корректировка ремонтных циклов.

Теория МИС генерирует все возможные варианты восстановительных работ по каждой системе ДВС, после чего определяются оптимальные. Объединяя вышепредставленные соображения относительно проектирования ремонтных циклов на различных уровнях теории МИС и распределения задач в смысле их организации планирования как системы, можно представить достижение целей слоем выбора (см. рисунок). Другим теоретическим положением методики является необходимость параллельного протекания процессов проектирования для всех ремонтируемых ДВС в рассматриваемый интервал времени. В соответствии с ним, схема организации системы планирования детализована. Это позволяет в случае изменения производственной ситуации обратиться к любому составляющему варианту восстановительных работ и оперативно реагировать на возникновение нестандартных ситуаций, обеспечивая постоянное функционирование производственной системы с высокими показателями. Качество модели можно оценить после завершения процесса построения всей системы, когда описаны, формализованы, представлены в виде конечного продукта все подсистемы с последовательностью действий.

Решение вопросов определения трудоемкостей ремонтных циклов нам видится в использовании теории сетей Петри, разработанной специально для моделирования систем с взаимодействующими параллельными процессами [2]. Применительно к рассматриваемой задаче, множество позиций сети Петри выступают как события, определяющие возможность или невозможность включения нескольких восстановительных работ с параллельно восстанавливаемыми работоспособность операциями.

Сеть Петри состоит из четырех элементов $S=(P, T, U, O)$: множества позиций P , множества переходов T , входной функции U и выходной функции O . Применительно к рассматриваемой системе ЭРЦ, множество позиций P – это возможные варианты восстановительных работ конкретного ДВС, определенные по результатам диагностирования; множество переходов T – это возможные варианты ремонтных циклов для конкретного ДВС; входная функция U – это входные диагностические параметры технического состояния конкретного ДВС; выходная функция O – это сравниваемые выходные диагностические параметры с разработанными и имеющимися нормативными параметрами.

Структура сети предполагает создание всех возможных сочетаний из рассматриваемых вариантов. Выполнение всех этих ограничений позволяет создать широкое множество вариантов ПР с номенклатурой заменяемых деталей по всем подсистемам ДВС.

Таковы концептуальные положения проектирования ремонтных циклов ДВС по результатам диагностирования с использованием теории МИС, адаптированной к компьютерному программированию структур ЭРЦ.



Общая схема планирования ЭРЦ с параллельным протеканием процессов создания технологии ремонта

ЛИТЕРАТУРА

1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
2. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. М.: Наука, 1989. 133 с.

Данилов Игорь Кеворкович –

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

УДК 629.113.004.67

**А.С. Денисов, А.Ф. Малаховецкий, А.Т. Кулаков,
Н.И. Светличный, Г.Г. Гаффаров, Р.Т. Тазеев**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ТУРБОКОМПРЕССОРОВ ТКР-7Н**

Проанализированы температурные поля и деформации элементов серийных турбокомпрессоров ТНР-7Н, а также опытных турбокомпрессоров с усовершенствованным подшипниковым узлом и теплоизоляцией. Дана оценка надежности и эффективности опытных турбокомпрессоров.

**A.S. Denisov, A.F. Malakhovetsky, A.T. Kulakov,
N.I. Svetlichny, G.G. Gaffarov, R.T. Tazeev**

**THE IMPROVEMENT OF THE EXPLOITATION RELIABILITY
OF THE TCR-7N TURBO-COMPRESSORS**

This paper analyzes the temperature fields and the deformation of the TCR-7N turbo-compressors' elements and the experimental turbo-compressors with the improved bearing unit and turbo-isolation as well. It evaluates the reliability and the effectiveness of the experimental turbo-compressors.

Турбонаддув является одним из эффективных путей повышения мощности и экономичности дизелей. ОАО «КамАЗ-Дизель» в настоящее время выпускает большую гамму моделей двигателей и на их базе различные модификации, устанавливаемые как на автомобили КамАЗ, так и на автобусы, различную сельскохозяйственную технику, а также используемые в стационарных установках. Основная масса их соответствует экологическим стандартам ЕЭК ООН EURO-1 и EURO-2. В этих двигателях используются турбокомпрессоры ТКР7-Н, ТКР7С-9 или зарубежный S2B/7624TAE/1.00D9 фирмы «Schwitzer». Турбокомпрессоры ТКН7С-9 и ТКР7Н-1 являются модификациями моделей турбокомпрессоров ТКР7С и ТКР7Н соответственно [1].

Из указанных моделей турбокомпрессоров по степени турбонаддува и возможностей ее повышения, а также по стоимости наиболее предпочтительным является ТКР7-Н. Как показал анализ надежности этих турбокомпрессоров [2], одним из частых отказов является заклинивание ротора в подшипнике из-за перегрева и недостаточного расхода масла через подшипник, а также подтекание масла из-за недостаточной герметичности сопряжения уплотнительных колец с крышкой корпуса (рис. 1).

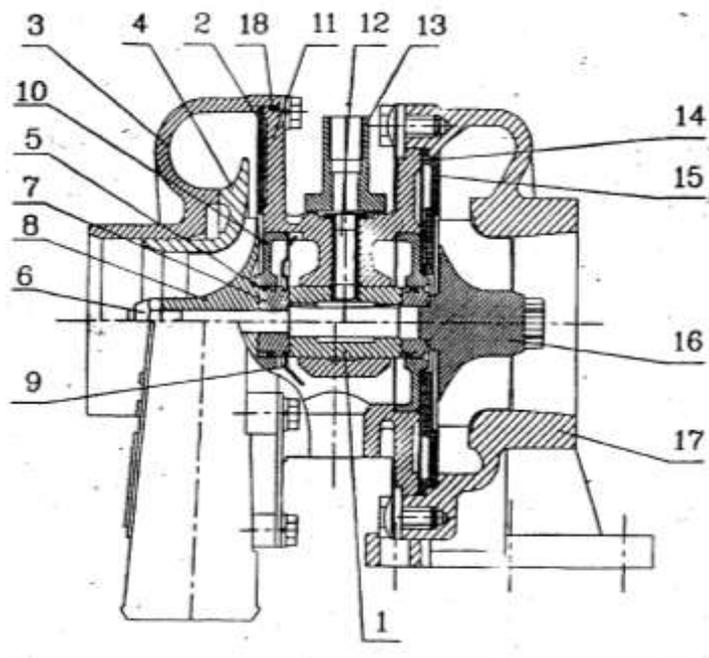


Рис. 1. Турбокомпрессор ТКР 7Н:

- 1 – подшипник; 2 – экран; 3 – корпус компрессора;
- 4 – диффузор; 5, 18 – уплотнительные кольца;
- 6 – гайка; 7 – маслоотражатель; 8 – колесо компрессора;
- 9 – маслосбрасывающий экран;
- 10 – крышка; 11 – корпус подшипника;
- 12 – фиксатор; 13 – переходник; 14 – прокладка;
- 15 – экран турбины; 16 – колесо турбины;
- 17 – корпус турбины

(рис. 2) от кольцеводержателя ротора, расположенного снизу. Это приводит к защемлению фланца корпуса подшипника в сопряжении с корпусом турбины по $\varnothing 128$ (рис. 1), а следовательно, и к заклиниванию ротора турбокомпрессора.

В результате термометрирования базового (серийного) турбокомпрессора получено температурное поле турбокомпрессора при различных режимах работы (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что температурное поле в зоне посадки крышки диск корпуса подшипников ($\varnothing 70$) превышает расчетное значение 220°C , выбранное для обеспечения герметичности соединения в процессе эксплуатации. Это превышение на экстремальном режиме $T_{T1}=680^{\circ}\text{C}$ (нештатный останов двигателя) достигает 50°C , что вызывает появление зазора, просачивание масла через этот зазор. Здесь также сказывается различный коэффициент линейного расширения корпуса и крышки.

Проведенные измерения радиального и торцового биения различных поверхностей корпуса подшипника с использованием специальных методик и приспособлений показали, что крышка перемещается снизу вверх к подводному отверстию относительно корпуса, о чем свидетельствуют следы контакта на поверхности крышки $\varnothing 26$

Таблица 1

Результаты термометрирования характерных точек серийного турбокомпрессора ТКР7Н-1

T_{T1} , $^{\circ}\text{C}$	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}
	$\varnothing 120$	$\varnothing 90$	$\varnothing 70$				$\varnothing 32$ на бобышке	$\varnothing 32$ на крышке	$\varnothing 120$ низ	T масла на входе	t масла на выходе		
600	294	262	228	251	240	233	145	148	181	190	301	112	144
650	308	274	237	260	247	243	148	150	186	196	311	111	147
680	321	285	245	270	255	251	151	153	189	199	323	113	149

Примечания: T_{T1} – температура воздуха со стороны турбины, $^{\circ}\text{C}$; t_1 и t_{11} – температуры на фланце корпуса подшипников на $\varnothing 120$ мм, $^{\circ}\text{C}$; t_2 – температура на фланце корпуса подшипников на $\varnothing 90$ мм, $^{\circ}\text{C}$; t_3, t_4, t_5, t_6 – температуры на фланце корпуса подшипников на $\varnothing 70$ мм, $^{\circ}\text{C}$; t_7, t_8 – температуры на бобышке (держателе) подшипника корпуса подшипников на $\varnothing 32$ мм, $^{\circ}\text{C}$; t_9, t_{10} – температуры на крышке 7403.1118026 корпуса подшипников на $\varnothing 32$ мм, $^{\circ}\text{C}$; t_{12} – температура смазочного масла на входе в подшипниковый узел турбокомпрессора, $^{\circ}\text{C}$; t_{13} – температура смазочного масла на выходе из корпуса подшипников, $^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2. Схема ползучести материала и смещения («дрейфа») крышки 7403.1118026 по фланцу корпуса подшипников: Δ – величина смещения крышки и металла ($A l$) вокруг крышки от центрального положения

Температура масла при прохождении через подшипник повышается на 36°C и достигает $147\text{--}149^{\circ}\text{C}$. Эта температура является для масла критической, при которой быстро теряется смазочная способность вследствие десорбции присадок. Это приводит к закоксовыванию деталей, сокращению срока службы масла и ресурса двигателя.

При подаче масла по фиксатору под давлением в пустотелую полость подшипника (рис. 1) и далее по зазорам между валом ротора и опорными поверхностями подшипника, где скорость скольжения достигает 60 м/с , часть энергии вращения ротора затрачивается на преодоление сил внутреннего трения масла, которая превращается в тепло и снижает КПД турбокомпрессора. При этом расход масла через подшипник, а, следовательно, и его охлаждение снижается, что можно видеть из рис. 3, где для сравнения приведен расход масла через турбокомпрессор «Schwitzer».

При давлении масла в системе смазки двигателя $0,5\text{ МПа}$ в пустотелой полости подшипника на длине 22 мм , как показали расчеты, на вал воздействует сжимающее усилие 380 Н , что является гидротормозом для ротора (паразитная нагрузка). На преодоление этой паразитной нагрузки затрачивается значительная часть энергии отработавших газов, что особенно актуально на неустановившихся режимах работы и при пуске холодного двигателя.

Указанные недостатки устранены в опытном турбокомпрессоре ТКР7Н, усовершенствованном в ОАО «КамАЗ-Дизель». Совершенствование проводили в направлении улучшения охлаждения подшипникового узла, уменьшения силы трения, снижения теплового потока на корпус подшипника. Конструкция усовершенствованного турбокомпрессора приведена на рис. 4.

Улучшенная теплозащита корпуса подшипника без изменений подшипникового узла существенного снижения температуры корпуса подшипника не дает, о чем можно судить по данным табл. 2.

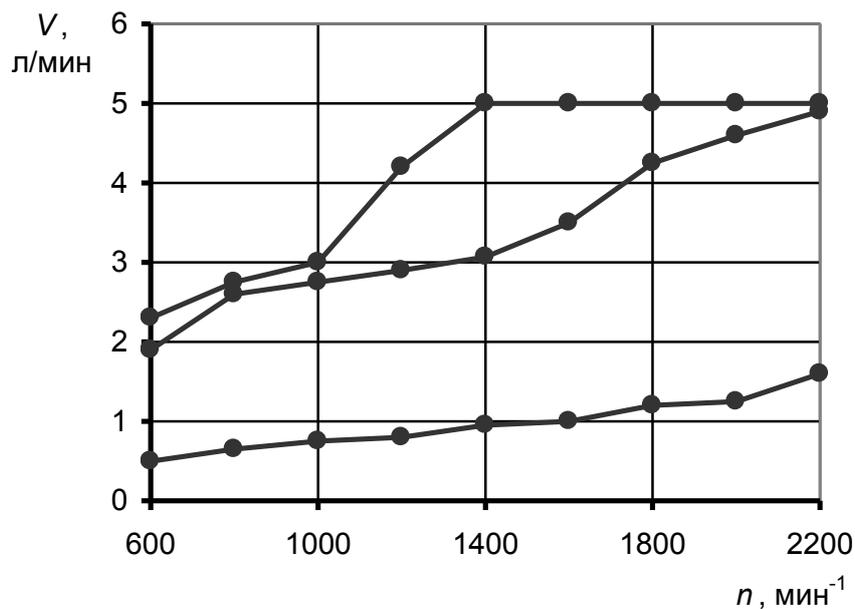


Рис. 3. Зависимость расхода масла через турбокомпрессоры: 1 – серийный ТКР 7Н-1; 2 – «Schwitzer»; 3 – опытный ТКР 7Н-1

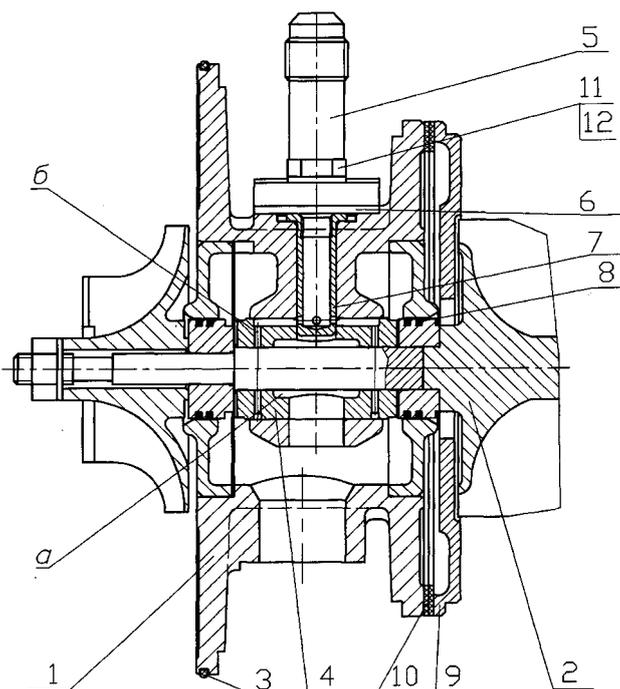


Рис. 4. Установка усовершенствованного подшипникового узла в составе турбокомпрессора ТКР7Н: 1 – подшипник; 2 – экран; 3 – корпус компрессора; 4 – диффузор; 5, 18 – уплотнительные кольца; 6 – гайка; 7 – маслоотражатель; 8 – колесо компрессора; 9 – маслосбрасывающий экран; 10 – крышка; 11 – корпус подшипника; 12 – фиксатор; 13 – переходник; 14 – прокладка; 15 – экран турбины; 16 – колесо турбины; 17 – корпус турбины

Таблица 2

Результаты термометрирования характерных точек турбокомпрессора, укомплектованного теплоизолирующим экраном из материала Меканит ГОСТ 6121-75 между торцом фланца корпуса подшипников и экраном 7403.1118176-20

T_{T1} , °C	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}
	Ø120	Ø90	Ø70				Ø32 на бобышке		Ø32 на крышке		Ø120 низ	Т масла на входе	t масла на выходе
600	196	184	169	181	179	174	133	135	178	185	207	110	136
650	205	192	176	189	187	182	136	138	185	192	216	111	141
680	210	197	180	194	191	186	137	139	188	194	222	110	141

Как видно из сравнения табл. 1 и 2, несмотря на бесспорную эффективность теплоизолирующего экрана (температура фланца корпуса подшипника по Ø120 мм снизилась с 294 до 196°С), температура масла на выходе из подшипникового узла турбокомпрессора снизилась незначительно (с 144 до 136°С). Поэтому целесообразно совершенствовать подшипниковый узел.

Усовершенствованный подшипниковый узел [3] (рис. 4) содержит подшипниковую втулку 5 с опорными поясками и радиальным отверстием 6, в котором помещен фиксатор 7, связанный с общей масляной магистралью двигателя, а также через канал 8 с кольцевыми канавками 9, выполненными на наружном диаметре подшипниковой втулки 5. Кольцевые канавки 9 оборудованы отверстиями 10 для подачи масла на опорные пояски подшипниковой втулки 5, углублениями 11 (кармашки-грязесборники) для сбора загрязнений. Между опорными поясками выполнены отверстие 12, связанное с маслоканалом 8 и смещенное от оси в сторону вращения ротора, и отверстие 13 для стекания масла. На фланцах посадочных поверхностей между корпусом турбины 14 и статором 1 установлено в канавку кондуктивное термосопротивление (кольцо из материала с меньшей теплопроводностью, чем теплопроводность материала статора 1). Между торцевой поверхностью статора 1 и элементами 16 корпуса турбины 14 установлен теплоотражающий экран 17.

При работе турбокомпрессора масло из смазочной системы двигателя через фиксатор 7 и канал 8 подается в кольцевые канавки 9 и далее по отверстиям 10 на опорные пояски для их охлаждения и смазки. Оказавшиеся в масле твердые частицы (продукты окисления масла) собираются в углублениях 11 кольцевых канавок 9. Через отверстие 12 масло подается со смещением от оси в сторону вращения ротора 2. При этом вектор скорости сравнивается с вектором линейной скорости на поверхности ротора, что улучшает теплоотдачу к ротору и снижает гидравлическое сопротивление.

Существенное снижение температуры корпуса подшипника дает увеличение гарантированного зазора в сопряжении «корпус подшипника-корпус турбины» по Ø128 мм на 0,2 мм. Это снижает вероятность таких отказов, как заклинивание ротора и течь масла через турбинную и компрессорную ступени турбокомпрессора.

Использование всех указанных мероприятий позволило существенно снизить температурное поле турбокомпрессора, что можно видеть из табл. 3.

Из сравнения табл. 3 и табл. 1 видим, что температура на фланце корпуса подшипника на Ø120 мм снизилась на 80°С, на крышке – на 27°С, температура масла на входе из корпуса подшипника – на 18°С. Эти изменения сказались и на других параметрах работы турбокомпрессоров. На первом этапе проведены измерения на испытательном стенде приемодаточных испытаний ПК «Турбодизель» (табл. 4).

Таблица 3

Результаты термометрирования характерных точек турбокомпрессора ТКР7Н-1, укомплектованного предлагаемым подшипником, теплоизолирующим экраном из окантованного асбостального листа и с тепловым зазором в сопряжении «корпус подшипников – корпус турбины» по $\varnothing 128$ мм

T_{T1} , °C	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}
	$\varnothing 120$		$\varnothing 90$		$\varnothing 70$		$\varnothing 32$ на бобышке		$\varnothing 32$ на крышке		$\varnothing 120$ низ	T масла на входе	t масла на выходе
600	214,6	193,1	170,6	177,3	170,6	177,6	126,9	126,9	163,5	163,1	205,0	108,2	126,4
650	227,7	204,4	180,6	187,6	180,7	188,2	131,0	131,5	173,0	174,5	217,0	109,4	131,8
680	237,3	212,6	187,3	194,5	187,8	194,7	133,2	133,8	179,7	179,2	226,7	110,8	133,2

Таблица 4

Результаты испытаний турбокомпрессоров ТКР7Н

Модель турбокомпрессора	P_{mk}	$P_{топ}$	t_m	$A \Sigma(g)$	t_{T1}	t_{T2}	P_{T1}	P_{k2}	t_{k2}	$n_{ткр}$
Серийный	130	0,05	70	6	560	480	0,065	0,07	75	84100
Опытный	130	0,034	71	3	460	420	0,065	0,07	74	84000
Опытный	180	0,05	71	6	530	450	0,085	0,09	95	96800

Примечания: P_{mk} – перепад давления (разрежения) воздуха на мерном коллекторе входа в компрессорную ступень, мм вод.ст.; $P_{топ}$ – давление топлива перед рабочей форсункой камеры сгорания, МПа; t_m – температура масла перед подшипниковым узлом, °C; $A \Sigma(g)$ – суммарное виброускорение корпуса компрессора, м/с²; t_{T1} – температура газов перед турбиной, °C; t_{T2} – температура газов за турбиной, °C; P_{T1} – статическое давление газов перед турбиной, МПа; P_{k2} – статическое давление газов за турбиной, МПа; t_{k2} – температура воздуха за компрессором, °C; $n_{ткр}$ – частота вращения ротора, мин⁻¹.

Как следует из табл. 4, на совершение той же работы для опытного турбокомпрессора давление $P_{топ}$ требуется в 1,475 раза меньше, а температура рабочих газов перед турбинным колесом всего 460°C. При расходе опытным турбокомпрессором того же количества топлива, как и на серийном ($P_{топ}=0,5$), перепад давления (разрежения) воздуха на мерном коллекторе входа компрессорной ступени испытательного стенда достигает 180 вместо 130 мм. вод.ст., избыточное статическое давление наддувочного воздуха за компрессорным колесом – 0,09 МПа вместо 0,07 МПа ($P_k=1,9$), частота вращения ротора турбокомпрессора 96800 мин⁻¹ вместо 84100 мин⁻¹. При этом температура газов как перед, так и за турбинным колесом остается ниже, чем у серийного турбокомпрессора, на 30°C.

Следующим этапом были сравнительные моторные испытания двигателя КамАЗ-740.11-240 в вариантах, укомплектованных серийными и опытными турбокомпрессорами на режимах внешней скоростной характеристики (табл. 5).

Таблица 5

Параметры работы двигателя КамАЗ-740.11-240

n , мин ⁻¹	N_e , л.с		M , Нм		G_T , кг/час		g_T , г/л.с.час		$t_{T2л}$, °С		$t_{T2ш}$, °С		P_H , МПа	
	с	о	с	о	с	о	с	о	с	о	с	о	с	о
1000	112	113	801	809	18,7	19,1	167	169	510	510	510	520	0,016	0,018
1200	140	142	837	849	22,8	23,1	163	162	530	500	530	510	0,024	0,026
1400	166	169	848	866	27,1	26,9	163	159	540	500	540	510	0,032	0,034
1600	187	193	837	861	30,6	30,8	164	160	540	510	540	520	0,042	0,046
1800	209	213	831	840	34,4	34,4	165	161	530	510	530	520	0,052	0,065
2000	233	238	834	852	38,4	38,7	165	163	520	500	520	510	0,062	0,070
2200	237	240	772	779	40,3	40,2	170	168	510	500	510	500	0,068	0,082

Примечания: n – частота вращения коленчатого вала; N_e – мощность; M – крутящий момент; G_T – часовой расход топлива; g_T – удельный эффективный расход топлива; $t_{T2л}$ – температура газов за турбиной левого турбокомпрессора; $t_{T2ш}$ – то же правого; P_H – давление наддува; с – серийный; о – опытный.

Как видно из табл. 5, двигатель, укомплектованный турбокомпрессором с усовершенствованными подшипниковыми узлами, имеет улучшенные усовершенствованные характеристики. На номинальном режиме: мощность выше на 3 л.с. (1,25%), чем с серийным турбокомпрессором; давление наддува выше на 0,014 МПа (20,6%). Эффективный минимальный расход топлива снизился на 4 г/л.с. ч (2,5%); максимальный крутящий момент возрос на 18 Нм (2,12%).

Это свидетельствует о том, что на двигателях КамАЗ-740.11-240, укомплектованных опытными турбокомпрессорами, имеет место более полное сгорание топлива в цилиндрах вследствие более высоких значений степени наддува цилиндров. Измерение расхода масла на выходе из подшипникового узла опытного турбокомпрессора показало, что он значительно выше, чем у серийных (рис. 3) – в 2,57 раза – и практически сравнялся с расходом по турбокомпрессору «Schwitzer».

Усовершенствование турбокомпрессора позволило существенно повысить и его надежность, а также надежность всего двигателя. Так, по подконтрольной партии автомобилей КамАЗ в 2003 году доля отказов турбокомпрессора снизилась по сравнению с 2002 годом более чем в восемь раз и составила 2,2% отказов всего силового агрегата. Об этом же свидетельствуют данные рекламационной службы ОАО «КамАЗ-Дизель» (рис. 5). Кроме то-

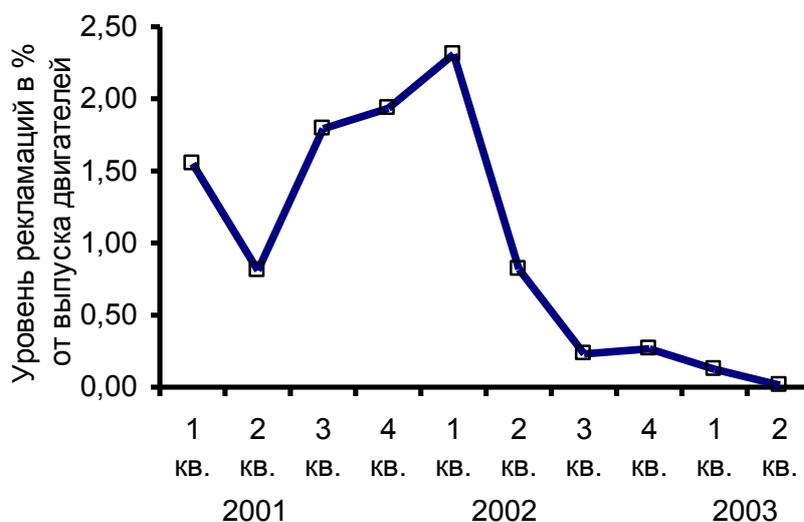


Рис. 5. Уровень рекламаций по дефектам ТКР

го, улучшение параметров турбокомпрессора позволяет увеличить диаметр турбины и компрессорного колеса с 70 до 76 мм (ТКР 7,6/7,6 «КамАЗ-Дизель»). Это позволяет поднять производительность турбокомпрессора и мощностные показатели дизеля.

Таким образом, улучшение охлаждения подшипникового узла, снижение силы трения, уменьшение теплового потока на корпус подшипника позволяет существенно повысить показатели эффективности турбокомпрессора и двигателя в целом, а также показатели надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководства по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Двигатели КамАЗ: 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30.260, 740.500-360. 740.51-320, 740.50-3901001КД. Набережные Челны: ОАО «КамАЗ», 2002. 247 с.

2. Денисов А.С., Кулаков А.Т., Малаховецкий А.Ф. Анализ надежности турбокомпрессоров ТКР7Н1 двигателей КамАЗ-740.11 // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: Материалы межгосудар. науч.-техн. семинара. Вып.15. Саратов: Сарат. гос. агр. ун-т, 2003. С.142-245.

3. Патент № 2216647 РФ. Турбокомпрессор / Р.Т. Тазеев, А.Ф. Малаховецкий, Н.А. Фархутдинов и др. Бюл. изобр. 2003. № 12.

Денисов Александр Сергеевич –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»
Саратовского государственного технического университета

Малаховецкий Андрей Федорович –

начальник представительства заказчика ОАО «КамАЗ-Дизель»

Кулаков Александр Тихонович –

кандидат технических наук,
заместитель генерального директора по развитию ОАО «КамАЗ-Дизель»

Светличный Николай Иванович –

кандидат технических наук, главный инженер ОАО «КамАЗ-Дизель»

Гаффаров Гаптелхак Габдрахманович –

начальник лаборатории надежности двигателей ОАО «КамАЗ-Дизель»

Тазеев Рафаэль Тазеевич –

инженер лаборатории надежности двигателей ОАО «КамАЗ-Дизель»

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.138:541.452:621.357.2

А.И. Финаенов, А.И. Трифонов, А.М. Журавлев, А.В. Яковлев

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

Описаны свойства терморасширенного графита, области его применения. Дана сравнительная характеристика химического способа получения и электрохимического синтеза терморасширяющихся соединений графита с кислотами. Приведены примеры анодной обработки графита, показывающие возможность получения соединений с заданными свойствами.

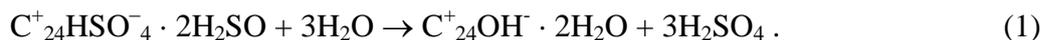
A.I. Finaenov, A.I. Trifonov, A.M. Zhuravlev, A.V. Yakovlev

THERMALLY EXPANDED GRAPHITE OBTAINING AND APPLICATION

This paper concentrates on the properties of thermally expanded graphite and spheres of its application. A comparative characteristic of a chemical method and electrochemical synthesis of thermally expanding graphite compounds with acids is given. Examples of an anodic treatment of graphite showing potentiality of obtaining of compounds with desired properties have been listed in this work.

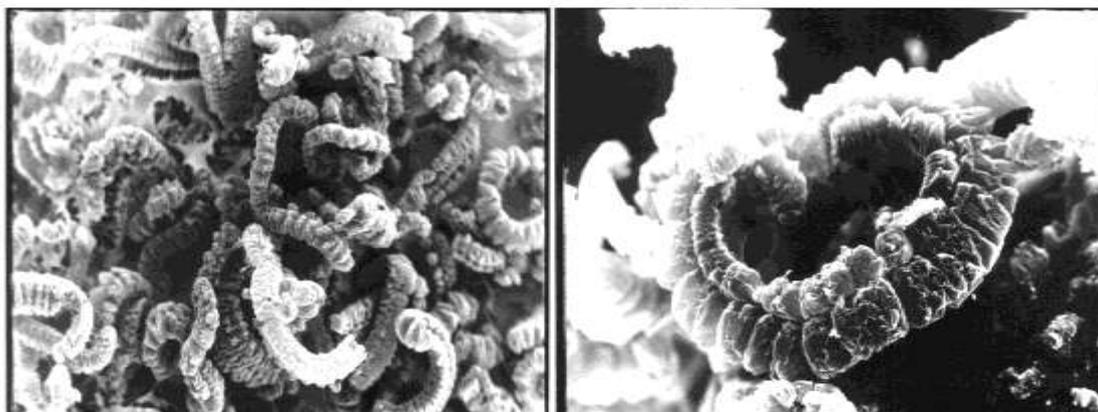
Однокомпонентные системы из углерода представлены многообразием структурных форм: алмаз; графит; угли, углеродные волокна, сажи; недавно открытые фуллерены и нанотрубки. Относительно новый материал – терморасширенный графит (ТРГ) также состоит из чистого углерода, но имеет пеноподобную структуру. Насыпная плотность ($d_{ТРГ}$) образцов ТРГ колеблется в широких пределах ($1 \div 10$ г/дм³) и определяется условиями его получения [1-3]. Пикнометрическая плотность ТРГ по воде составляет 0,4-0,9 г/см³ [4], удельная поверхность равна $15 \div 100$ м²/г углерода. Как и графит, ТРГ химически инертен, электропроводность и теплопроводность определяются поровой структурой материала и могут варьироваться в широких пределах.

Общий принцип, заложенный в основу различных методов получения ТРГ, заключается во внедрении в межслоевые пространства графита веществ или соединений, которые при быстром нагреве либо сами переходят в газообразное состояние, либо продукты их распада являются газами [5,6]. Прямому термоудару может подвергаться интеркалированный графит (ИГ) с солями, например, C_6FeCl_3 [7], C_xMoCl_5 [8]. При образовании токсичных продуктов или для получения ТРГ повышенной чистоты, ИГ предварительно до термообработки (ТО) гидролизуются. Так в ИГ с кислотами в результате гидролиза происходит полная замена интеркалата (внедренного слоя) на гидроксил-ионы и воду [9]:



Механизм преобразования ИГ в пенографит еще недостаточно понятен. Авторы [10] предполагают, что после быстрого удаления некоторого количества внедренных частиц из межслоевого пространства графитовой матрицы углеродные сетки обрушиваются, разрушая соседние плоскости. В обзоре [11] процесс терморасширения графита представляется как фазовый переход, вызванный выходом интеркалирующего агента из ИГ. Степень вспенивания зависит от условий синтеза и состава полученного ИГ, а также от структуры и размеров частиц исходного углеродного сырья. По мнению авторов [11], размер зерен исходного графита должен быть >75 мкм с размерами кристаллов не менее 75 нм. Подобные данные приводятся и в работе [12].

Согласно [13], первоначально при расширении происходит расщепление кристаллитов вдоль оси «С» на тонкие пачки-ленты из небольшого числа атомных плоскостей с одновременной их деформацией, в результате чего образуется объемная складчатая структура. Движущей силой данного процесса является стремление частиц к минимизации поверхности при данном объеме. Возникающие при этом червеобразные и цилиндрические формы частиц представляют собой закрытую поверхность, внутри которой, по-видимому, содержатся остаточные продукты разложения (рис. 1). Авторы [13] морфологию пенографита образно представляют в виде произвольно скрученных тонких листов бумаги. Они также констатируют, что при термообработке происходит уменьшение размеров кристаллитов по оси «С» и снижение степени кристаллического порядка. В работе [14] отмечается, что размеры кристаллитов по оси «С» практически не изменяются.



а

б

Рис.1. Микроструктура ТРГ:
а) увеличение $\times 20$, б) увеличение $\times 60$

Червеобразная форма частиц пенографита объясняется разворотом плоских углеродных сеток, расклиниваемых по торцевой поверхности кристаллита поверхностными группами. Влияние структуры исходного графита на процесс последующего терморасширения обсуждается в работах [12,15], в которых показано, что наличие дефектов и снижение степени упорядоченности вдоль оси «С» уменьшают степень вспенивания.

Обобщая представленные данные, можно утверждать, что при быстром нагреве ИГ или продуктов их гидролиза между слоями углеродных сеток в графите возникает давление, оказывающее диспергирующее действие. Деинтеркаляция из графитовой матрицы осуществляется как через торцы слоев, так и через имеющиеся дефекты, вызывая разрыв и подвижку слоев. При высоких скоростях нагрева это приводит к образованию пеноподобных структур.

По оценкам [16], межслоевое давление составляет несколько сотен (280÷720) атмосфер, что позволяет сравнить процесс вспенивания с межмолекулярным взрывом. Для повышения межслоевого давления весьма важна скорость нагрева. При быстром нагреве практически совмещающиеся во времени стадии термоллиза интеркалата обеспечивают высокую степень расширения, медленный нагрев приводит к выходу газов и паров без нарастания давления, не образуется пенографит с низкими насыпными плотностями.

Общая схема получения и переработки ТРГ приведена на рис. 2. В настоящее время подавляющую долю (до 50 тыс.т/год) ТРГ перерабатывают в гибкую графитовую фольгу и пресованные изделия. Фольгу получают прокаткой на системе валцов в одном цикле с ТО без введения связующего. Сцепление между частицами ТРГ и гибкость фольги обеспечивает разветвленная пенообразная структура. В результате получают рулонные материалы толщиной 0,15÷1,5 мм, плотностью 0,7÷1,2 г/см³, прочностью на растяжение 4÷7 МПа и удельным электросопротивлением 0,3÷0,7·10⁻⁴ Ом·м [17]. Спектр применения фольги и пресованных изделий из ТРГ чрезвычайно широк. Благодаря высокой инертности к агрессивным средам, термостабильности в сочетании с упругостью и пластичностью углеродные материалы на основе ТРГ повсеместно вытесняют такие традиционные уплотнительные и прокладочные материалы как асбест, поронит, фторопласт, медь, свинец. Особенно эффективно их применение в химическом, нефтегазовом машиностроении [18], в топливно-энергетическом комплексе [19, 20], коммунальном хозяйстве.

Они обеспечивают снижение аварийности, затрат на ремонт оборудования, экологическую безопасность.

В меньшей степени используют порошки ТРГ (рис. 2). Работы в этом направлении в настоящее время носят поисковый характер. Известно [21,22] применение ТРГ в качестве электропроводных и структурирующих добавок в электроды химических источников тока (ХИТ), литированием [23,24] и фторированием [24] ТРГ получают активные реагенты ХИТ, модифицированием металлами регулируют теплоэлектропроводность [25]. Согласно [26,27], порошки ТРГ являются эффективными адсорбентами нефтепродуктов и других органических соединений. Возможность применения углеродных материалов, в том числе из ТРГ, в качестве катализаторов и носителей ката-

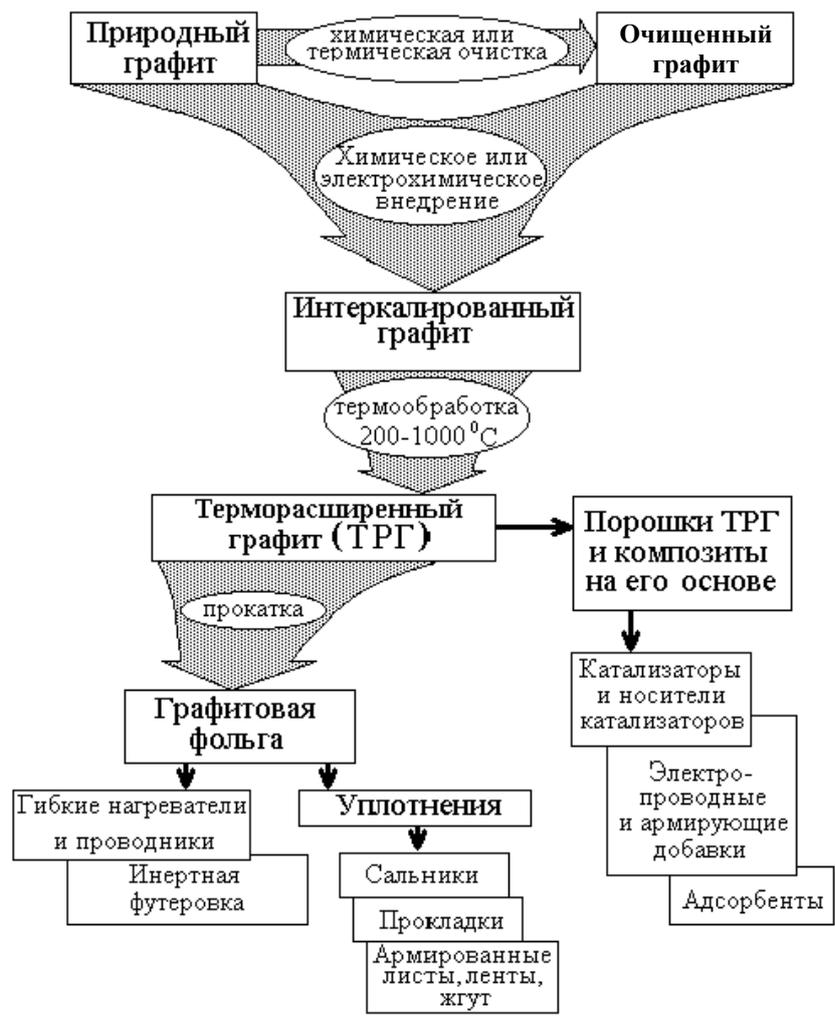


Рис.2. Общая схема получения терморасширенного графита и его последующей переработки в изделия и материалы

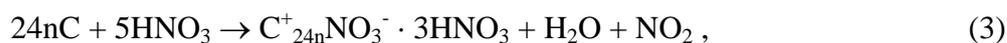
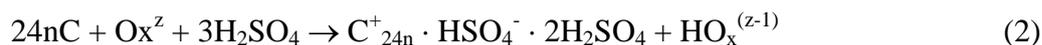
лизаторов описана в [28]. Использование порошкообразного ТРГ, представляющего собой легкокомкующиеся частицы углерода с высокоразвитой поверхностью, для изготовления изделий и введения в состав композитов представляет собой достаточно сложную технологическую задачу. Наиболее перспективным способом получения изделий из ТРГ является терморасширение интеркалированного графита в газопроницаемой форме с заданными размерами – химическое прессование (рис. 3). В этом случае за счет пространственного сцепления частиц расширяющегося графита возникает возможность изготовления изделий сложного профиля с регулированием плотности, пористости и других свойств материала. Изменение указанных свойств достигается варьированием коэффициента заполнения формы [29]. Кроме того, свойства изделий можно регулировать в широких пределах введением в ИГ до термообработки углеродных волокон и связующих (пек, фенольные смолы, оксиды металлов) [30], или после получения матрицы из ТРГ упрочнить последнюю пироуглеродом из газовой фазы [31]. Спектр использования подобных материалов достаточно широк (рис. 3) и активно завоевывает все новые области.

Особое применение находят композиты, в состав которых входит интеркалированный графит. Процесс его терморасширения под воздействием открытого пламени или нагрева приводит к образованию негорючего термоизоляционного покрытия с одновременным выделением СО и СО₂, что замедляет и подавляет процесс горения. Подобные композиты в виде рулонных материалов, паст, красок получили название активных огнезащитных материалов [32,33]. Выпускаемые в настоящее время отечественные материалы (НПО «УНИХИМТЕК») используются для защиты электрических кабелей, создания противопожарных дверей и перегородок, огнезащиты строительных конструкций.



Рис. 3. Применение изделий из ТРГ, полученных ТО в замкнутом объеме

Весьма многообразные области применения ТРГ и материалов на его основе, уникальное сочетание свойств изделий, возрастающий спрос потребителей стимулируют развитие технологии производства и переработки интеркалированного графита. Сейчас интеркалированный графит промышленно получают преимущественно по химической технологии, окисляя углеродное сырье в концентрированных серной или азотной кислотах. Для этого в H₂SO₄ вводят дополнительно окислитель (K₂Cr₂O₇, HNO₃, KMnO₇, H₂O₂ и др.), в азотной кислоте на процесс окисления графитовой матрицы тратится часть HNO₃. В общем виде образование бисульфата (БГ) и нитрата графита (НГ) осуществляется по реакциям [9]:



где n – степень внедрения интеркалированного соединения; $n=1; 2; 3; \dots$ и соответствует количеству углеродных слоев между слоями интеркалата. Для получения БГ и НГ I ступени (максимальное заполнение) потенциал окислительной среды (кислота + окислитель) должен быть не менее 1,6 В относительно нормального водородного электрода (нвэ), что возможно реализовать лишь в высококонцентрированных кислотах. Как следует из реакций (2), (3), процесс интеркалирования заключается в зарядении графитовой матрицы (C_{24n}^+) за счет поглощения электронов с углеродных сеток окислителем и электростатическим втягиванием анионов кислоты в межслоевые пространства для нейтрализации положительного заряда. За счет водородных связей с анионом совнедряются 2-3 молекулы кислоты.

Химический способ достаточно прост в технологическом плане и приборном оформлении [34]. Однако изменение концентрации кислоты, а в большей степени окислителя, в ходе процесса интеркалирования предопределяет неравномерность состава ИГ, по этой же причине синтез трудноуправляем. Кроме того, получаемые соединения загрязнены окислителем и продуктами его восстановления. Это в сочетании с концентрированными кислотами требует больших расходов воды на гидролиз и промывку конечного продукта.

В препаративном синтезе образцов интеркалированного графита широко используется и электрохимический способ, заключающийся в анодном окислении графита [31,35-38]. Способ отличается повышенной экологической безопасностью, позволяет синтезировать однородные по составу и свойствам соединения, использовать неконцентрированные растворы кислот и вести синтез в управляемом режиме. Однако сведения о применении электрохимического метода в промышленных масштабах в литературе отсутствуют. В основном это связано с трудностями создания эффективного оборудования для синтеза ИГ на основе дисперсного углеродного материала.

В цикле работ [39-42] нами показана принципиальная возможность потенциостатического анодного синтеза БГ и НГ с применением порошкового графита. Для выполнения исследований использовались малогабаритные (до 2 г графита) электролизеры с поджимом слоя графита ($0,2 \text{ кг/см}^2$) к платиновому токоотводу поршнем-диафрагмой. Противоеlectрод располагался в электролите над диафрагмой [40,41]. Конструкция электролизера по сдвигу поршня позволяла в ходе синтеза регистрировать изменение толщины слоя углеродного материала. На рис. 4 для примера приведены типичные кривые синхронного изменения тока и смещения поршня во времени при потенциостатической обработке дисперсного графита (ГСМ-1) в концентрированной серной кислоте. Участок времени I, выделенный на кривых рис. 4, характеризуется уменьшением толщины слоя графита ($-\Delta l$).

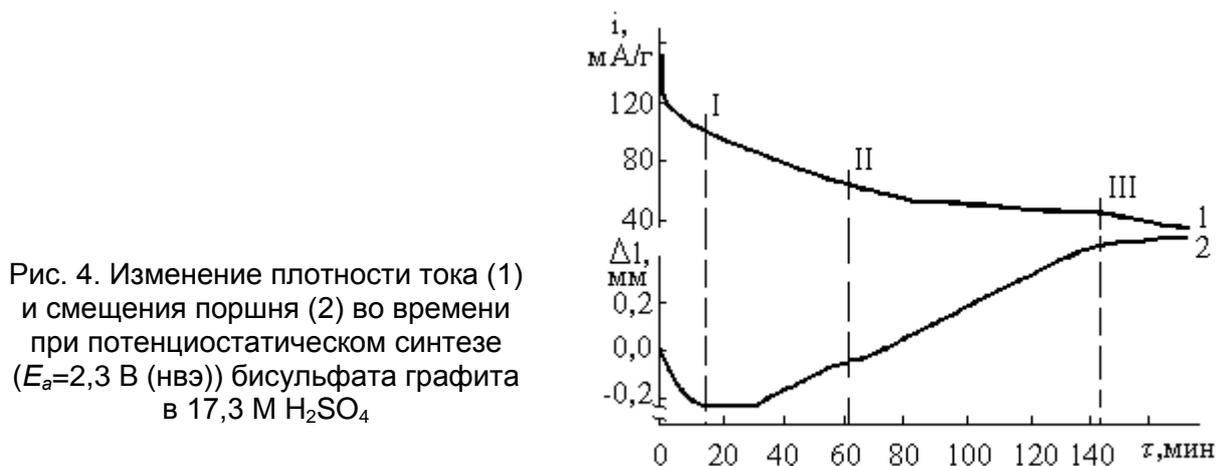


Рис. 4. Изменение плотности тока (1) и смещения поршня (2) во времени при потенциостатическом синтезе ($E_a=2,3 \text{ В}$ (нвэ)) бисульфата графита в $17,3 \text{ М H}_2\text{SO}_4$

В этот период (индукционный) пропускаемый через систему ток в анодном процессе тратится на заряд двойного электрического слоя и окисления поверхностных функциональных групп (ПФГ) на графите, в результате чего происходит ослабление межчастичных взаимодействий в слое графита и его уплотнения.

Последующее возрастание толщины слоя графита (рис. 4) обусловлено процессом электрохимического интеркалирования с образованием бисульфата графита:



где n – номер ступени БГ.

Это приводит к увеличению межслоевого пространства между углеродными сетками с $3,35 \text{ \AA}$ до $7\div 8 \text{ \AA}$ [13,43]. Переход графита в БГ соответственно сопровождается увеличением объема углеродного материала, то есть перемещением поршня в электролизере вверх.

Линия III на рис. 4, после которой Δl становится практически неизменной, свидетельствует о завершении процессов внедрения кислоты в графитовую матрицу. Так как ток в этом случае не снижается до нуля, то его наличие обусловлено либо переокислением БГ ($C_{24}^+ \rightarrow 2C_{12}^+$), либо выделением кислорода (CO, CO_2, O_2). Линия II (рис. 4), проведенная по перегибам на кривых, отображает переход БГ второй ступени в первую.

Подобные исследования были проведены и в 6-13М растворах HNO_3 , где также можно выделить три стадии анодной обработки графита: индукционный период; интеркалирование графита; переокисление соединений внедрения или выделение кислорода. Как в H_2SO_4 , так и в HNO_3 снижение концентрации кислоты сокращает время индукционного периода, так как в процессах окисления ПФГ участвует вода. Закономерно с разбавлением электролита снижается доля тока на электрохимическое внедрение и возрастает скорость процессов переокисления и выделения кислорода. Таким же образом влияет значение потенциала анода (E_a) при потенциостатическом синтезе БГ и НГ: наряду с ростом скорости процесса внедрения с увеличением E_a меняется соотношение парциальных токов целевого и побочных процессов в пользу последних.

Оценка свойств полученных образцов ИГ проводилась по степени терморасширения, для чего гидролизованные и высушенные соединения подвергались кратковременной обработке (5-8 с) при температуре $900^\circ C$, и далее определялась насыпная плотность ТРГ ($d_{ТРГ}$). Исследования выявили, что независимо от концентрации кислоты и значения потенциала потенциостатирования $d_{ТРГ}$ в основном определяется количеством электричества, пошедшего на процесс интеркалирования (рис. 5).

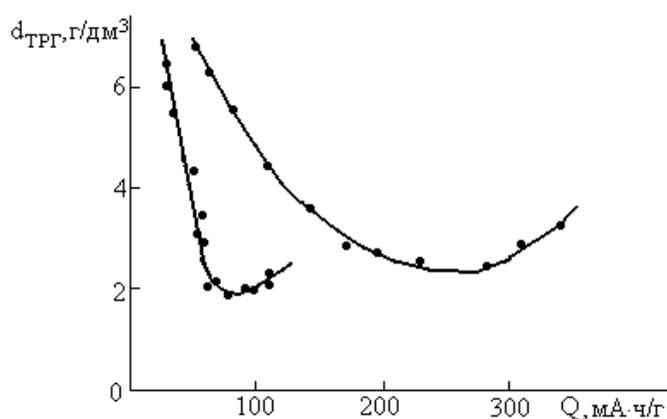


Рис. 5. Зависимость плотности ТРГ от сообщенной емкости при потенциостатической обработке графита (ГСМ-1):
1 – 17,3М H_2SO_4 , $E_a=2,27В$ (нвэ);
2 – 13,5М HNO_3 ; $E_a=2,32В$ (нвэ)

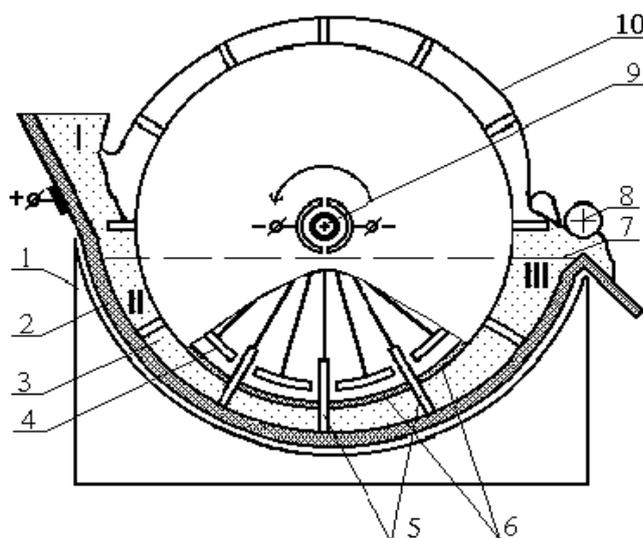
Снижение $d_{ТРГ}$ с увеличением емкости соответствует накоплению интеркалата в графитовой матрице. Увеличение плотности ТРГ с дальнейшим ростом Q (рис. 5) вызвано процессами переокисления и выделения кислорода, за счет которых образуются макродефекты в

углеродных слоях графитовой матрицы. При последующей термообработке через эти дефекты происходит выход вспенивающих агентов. Наличие дефектов мешает также распространению упругой деформации по углеродным сеткам. Все это снижает степень расширения полученных соединений.

Выполненный комплекс экспериментальных исследований выявил целесообразность получения ИГ электрохимическим способом в 17,5÷11,0 М растворах H_2SO_4 и электролитах, содержащих 13,5÷7 М HNO_3 . При этом потенциал анодной обработки графита может варьироваться от 2 до 2,5 В (нвэ) для сернокислого и от 2,3 до 2,7 В (нвэ) для азотнокислого электролитов. Для получения ТРГ с насыпной плотностью 2-2,5 г/дм³ при синтезе БГ графиту необходимо сообщить 60÷80 мА·ч/г, при синтезе НГ – 180-250 мА·ч на грамм графита. Таким образом, экспериментально подтверждена возможность получения ИГ с необходимой степенью терморасширения.

Ранее [44-46] нами были выработаны требования и сформулированы общие принципы создания электролизера непрерывного действия для синтеза ИГ с кислотами на основе дисперсного графита. Оригинальность конструкции заключается в переменном по толщине зазоре между токоотводом анода и диафрагмой, расположенной на вращающемся барабане (рис. 6).

Рис. 6. Схема электролизера барабанного типа:
 1 – корпус электролизера;
 2 – токоотвод анода;
 3 – слой графита; 4 – катод;
 5 – лопатки; 6 – диафрагма;
 7 – уровень электролита;
 8 – устройство съема ИГ; 9 – вал;
 10 – направляющая лопаток;
 I-III – соответственно зоны загрузки, поджима и выгрузки ИГ



Наименьший зазор (зона поджима) соответствует индукционному периоду реакции, дальнейшее его возрастание – синтезу ИГ, сопровождающемуся увеличением объема. Транспорт графита – ИГ по зазору осуществляется выдвигаемыми лопатками. Их выход из полости барабана достигается подпружиниванием или соединением с помощью спиц в диаметрально расположенные пары с установкой в верхней части электролизера специальной направляющей.

Для изготовления электролизера с целью апробации в виде работающей в непрерывном режиме установки были проведены коррозионные испытания ряда конструкционных и электродных материалов. Было показано, что в серной кислоте вполне обосновано применение нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, как устойчивого материала и не пассивирующегося при катодной и анодной поляризациях [47,48]. В азотнокислых электролитах в качестве конструкционного материала и в качестве катода целесообразно использование титана [49]. В качестве токоотвода анода неизбежно применение платины или платинированного титана [50]. Материалом диафрагмы могут служить фильтр-полотна из поливинилхлорида, инертные к агрессивным средам и обладающие высокими задерживающими свойствами. Коэффициент ослабления таких диафрагм не превышает 2,5÷4.

С применением выбранных материалов было изготовлено несколько электролизеров, которые были успешно апробированы на серноокислых и азотноокислых электролитах. Для примера приведем краткое описание одного из электролизеров и результаты его испытаний. Диаметр барабана – 360 мм, ширина транспортирующих лопаток – 90 мм, площадь камер по токоотводу анода – 80 см². Толщина зазора в зоне подпрессовки – 10 мм, в зоне выгрузки – 25 мм. Скорость вращения барабана – 0,25÷2 об/ч. Загрузка графита в отдельную камеру составляла 40-80 г. Реактор был снабжен системой охлаждения, рабочая температура поддерживалась в пределах 20÷80°С. Выборочные результаты испытаний электролизера приведены в таблице. Следует отметить, что данные по синтезу БГ получены с применением 93% (17,3М) H₂SO₄, а для НГ использовалась 58%-ная (13,5М) HNO₃. В азотной кислоте токоотводом анода служил титан с гальваническим платиновым покрытием (3 мкм). С каждым электролитом наработка составила более 100 часов.

Режимы синтеза, показатели электролизера и свойства соединений, полученных непрерывной анодной обработкой дисперсного графита (содерж. углерода ≥ 99,5%) в барабанном электрохимическом реакторе

Показатели	Синтезируемое соединение		
	Бисульфат графита		Нитрат графита
Скорость вращения барабана, об/ч	0,33	1	0,33
Средняя токовая нагрузка, А	15	30	50
Среднее напряжение, В	3,9	6,2	3,5
Расход электроэнергии, кВт·ч/кг графита	0,21	0,26	0,72
Производительность по графиту, кг/ч	0,28	0,71	0,24
Расход кислоты, кг/кг графита	2,1	2,3	0,8
Плотность ТРГ, г/дм ³	1,9	2,2	2,3
Зольность ТРГ, %	0,17	0,15	0,09

* – в пересчете на 100% H₂SO₄ или HNO₃.

Проведенные испытания подтвердили работоспособность, высокую надежность конструкции и возможность проведения синтеза ИГ в непрерывном автоматическом режиме. Результаты, приведенные в таблице, свидетельствуют о высоком качестве получаемых соединений ($d_{ТРГ}$, зольность ТРГ), причем повышенная чистота ТРГ характерна для азотноокислых электролитов. Меньшее напряжение на электролизере с использованием HNO₃ обусловлено большей электропроводностью электролита. Наоборот, повышенный расход электроэнергии в системе графит – HNO₃ вызван необходимостью сообщения удельной емкости до 200 и более мА·ч/г графита, в связи с применением менее концентрированного раствора кислоты.

Таким образом, комплексные исследования по электрохимическому синтезу ИГ с целью переработки в ТРГ, создание принципиально нового оборудования для непрерывной анодной обработки дисперсного углеродного материала, его апробация в виде действующих лабораторных установок создают реальные предпосылки для разработки новой высокоэффективной технологии. Широкий спектр областей применения, возрастающий спрос на данный уникальный материал определяют востребованность и необходимость внедрения данной разработки в промышленность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комарова Т.В., Пузырева Е.В., Пучков С.В. Изменение структуры и свойств природного графита при окислительной и последующей термической обработках // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1986. Т.141. С.75-83.
2. Черныш И.Г., Бурая И.Д. Исследование процесса окисления графита раствором бихромата калия в серной кислоте // Химия твердого топлива. 1990. № 1. С.123-127.
3. Технологические аспекты интеркалирования графита серной кислотой / С.Г. Бондаренко, Л.А. Рыкова, Г.А. Статюха и др. // Химия твердого топлива. 1988. № 4. С.141-143.
4. Schwab G.M., Ulrich H. Verdichtete graphite // Kolloid Z. und Z. fuer Polimere. 1963. V.190. № 2. S.108-115.
5. Чалых Е.Ф., Житов Б.Н., Королев Ю.Г. Технология углеграфитовых материалов. М.: Наука, 1981. 44 с.
6. Пузырева Е.В., Комарова Т.В., Федосеев С.Д. Влияние различных факторов на процесс получения вспученного графита // Химия твердого топлива. 1982. № 2. С.119-121.
7. Ионов С.Г., Удод Э.Б., Куликов Л.А. Синтез и физико-химические исследования гетероинтеркалированных соединений в системе графит – $FeCl_3$ – ICl , графит – $CuCl_2$ – ICl // Химия и физика соединений внедрения: Тез. докл. I Всес. конф. Ростов-н/Д: 1990. С.13.
8. Inagaki M., Nakashima M. Room temperature exfoliation of graphite under microgravity // Carbon. 1993. Vol.34. P.1349-1350.
9. К вопросу об образовании бисульфата графита в системах, содержащих графит, H_2SO_4 и окислитель / И.В. Никольская, Н.Е. Фадеева (Сорокина), К.Н. Семенов и др. // Журнал общей химии. 1989. Т.59. Вып.12. С.2653-2659.
10. Махорин К.Е., Кожан А.П., Веселов В.В. Вспучивание природного графита, обработанного серной кислотой // Химическая технология. 1985. № 2. С.3-6.
11. Chung D.D.L. Exfoliation of graphite // Proc. 7th Intern. Therm. expans. symp., Chicago 7-10 nov. 1972, Publ. 1982. P.32-44.
12. Anderson S.H., Chung D.D.L. Exfoliation of intercalated graphite // Carbon. 1984. Vol.22. № 3. P.253-263.
13. Юрковский И.М., Смирнова Т.Ю., Малей Л.С. Структурные особенности расширенного графита // Химия твердого топлива. 1986. № 1. С.127-131.
14. Фиалков А.С., Малей Л.С. Некоторые аспекты технологии изготовления расширенного графита // Электроугольные и металлокерамические изделия для электротехники: Научные труды ВНИИЭИ. М.: Энергоатомиздат, 1985. С.65-72.
15. Изучение формирования порошкообразных материалов без применения полимерных связующих / А.Н. Антонов, В.А. Тимонин, С.Д. Федосеев, Л.Ф. Макевнина // Химия твердого топлива. 1984. № 1. С.114-117.
16. Stevens R.E., Ross S., Wesson S.P. Exfoliated graphite from the intercalate with ferric chloride // Carbon. 1973. Vol.11. P.525-630.
17. Патент РФ № 2038337, С 04 В 35/52. Гибкая графитовая фольга и способ ее получения / В.В. Авдеев, И.В. Никольская, Л.А. Монякина и др. Опубл. 27.06.95.
18. Киршнек Р. Уплотнительные системы на основе графита // Химическая и нефтегазовое машиностроение. 2000. № 8. С.31-33.
19. Авдеев В.В., Уланов Г.А. Высокоэффективные уплотнительные изделия нового поколения серии «Графлекс» // Проблемы надежности эксплуатации и обновления основных фондов технологических установок НПЗ и пути их решения: Материалы семинара-совещ. Москва, 6-8 февраля 2001 г. М.: Изд-во ЦНИИТ Энефтехим, 2001. С.88-91.
20. Проблемы обеспечения герметичности фланцевых разъемов ПВД / Д.Б. Бирюков, В.П. Воронин, Н.А. Зройчиков, Г.А. Уланов // Электрические станции. 2000. № 5. С.31-34.

21. Термографенит – эффективная электропроводная и каталитически активная добавка в химических источниках тока / В.З. Барсуков, В.Г. Хоменко, Т.И. Мотронюк, П.А. Антоненко // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: Материалы I Международ. конф. Москва, 17-19 октября 2002. М.: Изд-во Ратмир-Вест, 2002. С.55.

22. Разработка углеродного материала для отрицательного электрода литий-ионного аккумулятора / А.В. Чуриков, Н.А. Гридина, Н.В. Чурикова и др. // Электрохимическая энергетика. 2001. Т.1. № 3. С.9.

23. Чуриков А.В., Гридина Н.А., Чурикова Н.В. Электроды на основе терморасширенного графита // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: Материалы I Международ. конф. Москва, 17-19 октября 2002. М.: Изд-во Ратмир-Вест, 2002. С.207.

24. Упрочнение самопрессованного расширенного графита пироуглеродом / Р.Г. Аварбэ, О.П. Карпов, Л.М. Кондрашева и др. // Журнал прикладной химии. 1996. Т.69. № 12. С.2068-2070.

25. Комплексное исследование физических свойств композиционных материалов на основе терморасширенного графита, модифицированного никелем / Л.Ю. Матцуй, Т.Л. Цареградская, Л.Л. Вовченко и др. // Перспективные материалы. 2002. № 4. С.79-83.

26. Использование пенографита в очистке сточных вод, загрязненных нефтепродуктами / В.В. Авдеев, Е.В. Власенко, И.А. Годунов и др. // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: Материалы I Международ. конф. Москва, 17-19 октября 2002. М.: Изд-во Ратмир-Вест, 2002. С.38.

27. Структурные и текстурные свойства пористых углеродных материалов из природного графита / Б.Н. Кузнецов, Н.В. Чесноков, Н.М. Микова и др. // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: Материалы I Международ. конф. Москва, 17-19 октября 2002. М.: Изд-во Ратмир-Вест, 2002. С.122.

28. Стайлс Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы. М.: Химия, 1991. 240 с.

29. Dowell M.B. // Ext. Abstr. Programm. 12th Vienn. Conf. Carbon, 1975. P.35.

30. А.с. 1515202 СССР, МКИ Н 01 В 1/04 Способ получения токопроводящего материала / Б.В. Брандт, В.А. Кульбачинский, Н.А. Ныркова и др. (СССР). № 4304718/24-07; Заявл. 09.09.87; Опубл. 15.10.89, Бюл. № 38. 217 с.

31. Metrot A., Fischer J.E. Charge transfer reactions during anodic oxidation of graphite in H_2SO_4 // Synth. Metals. 1981. Vol.3. № 3-4. P.201-207.

32. Ярошенко А.П., Савоськин М.В. Высококачественные вспучивающиеся соединения интеркалирования графита – новые подходы к химии и технологии // Журнал прикладной химии. 1995. Т.68. № 8. С.1302-1306.

33. Годунов И.А. Терморасширяющиеся огнезащитные материалы «ОГРАКС» // Пожарная безопасность. 2001. № 3. С.199-201.

34. Ярошенко А.П., Попов А.Ф., Шапранов В.В. Технологические аспекты синтеза солей графита (обзор) // Журнал прикладной химии. 1994. Т.67. № 2. С.204-211.

35. Уббелоде А.Р., Льюис Ф.А. Графит и его кристаллические соединения. М.: Мир, 1965. 256 с.

36. Фиалков А.С. Углерод. Межслоевые соединения и композиты на его основе. М.: Аспект Пресс, 1997. 718 с.

37. Investigations on the kinetics of the anodic intercalation process of graphite in 65% HNO_3 by using AC impedance measurements / P. Scharff, E. Stump, K. Barteczko et.al. // Ber. Bunsenges Phys. Chem. 1994. P.568-573.

38. Фудзи Р. Интеркалированные соединения графита // Осака когё гидзюцу сикэндзё хококу. 1978. Vol.353. P.1-66.

39. Выбор условий электрохимического синтеза бисульфата графита / С.П. Апостолов, В.В. Краснов, В.В. Авдеев, А.И. Финаенов // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1997. Т.40. № 1. С.113-117.

40. Апостолов С.П., Краснов В.В., Финаенов А.И. Электрохимический синтез гидросульфата графита в потенциостатическом режиме // Журнал прикладной химии. 1997. Т.70. № 4. С.602-607.

41. Яковлев А.В., Финаенов А.И. Электрохимический синтез соединений внедрения графита с азотной кислотой для получения пенографита // Журнал прикладной химии. 1999. Т.72. № 1. С.88-91.

42. Яковлева Е.В., Яковлев А.В., Финаенов А.И. Электрохимический синтез терморасширяющихся соединений графита в азотнокислом электролите // Журнал прикладной химии. 2002. № 10. С.1632-1638.

43. Синтез соединений внедрения в системе графит – HNO_3 – H_2SO_4 / В.В. Авдеев, Н.Е. Сорокина, И.В. Никольская и др. // Неорганические материалы. 1997. Т.33. № 6. С.699-702.

44. Выбор и обоснование конструкции электролизера для синтеза гидросульфата графита / А.И. Финаенов, С.П. Апостолов, В.В. Краснов, В.А. Настасин // Журнал прикладной химии. 1999. Т.72. № 5. С.767-772.

45. Патент № 2083723 РФ. Способ получения бисульфата графита и реактор для его осуществления / А.И. Финаенов, В.В. Авдеев, В.В. Краснов и др. Оpubл. 10.05.97. // Изобретения. 1997. № 19.

46. Патент № 2142409 РФ, МКИ 6 С 01 В 31/04, С 25 В 1/00. Реактор для электрохимического окисления графита / В.В. Авдеев, А.И. Финаенов, С.П. Апостолов и др. Заявл. 20.03.98; Оpubл. 10.12.99 // Изобретения. 1999. № 34. С.211.

47. Настасин В.А., Савельева Е.А., Финаенов А.И. О возможности применения стального токоотвода анода при синтезе бисульфата графита // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2000. Т.43. № 5.

48. Настасин В.А. Электродные процессы при электрохимическом синтезе бисульфата графита: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2001. 21 с.

49. Яковлев А.В. Разработка основ технологии и оборудования для электрохимического производства нитрата графита: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1998. 19 с.

50. Изучение электродных процессов на платине и углеродных материалов в концентрированной азотной кислоте / А.В. Яковлев, А.И. Финаенов, Л.Е. Никитина, С.П. Апостолов // ЖПХ. 1999. Т.72. № 4. С.589-593.

Финаенов Александр Иванович –

доктор технических наук,
профессор кафедры «Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

Трифонов Андрей Иванович –

аспирант кафедры «Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета.

Журавлев Алексей Михайлович –

аспирант кафедры «Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета.

Яковлев Андрей Васильевич –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическая и органическая химия»
докторант кафедры «Технология электрохимических производств»,
Энгельсского технологического института
Саратовского государственного технического университета

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.365.5.

Ю.С. Архангельский, С.Г. Калганова

РАБОЧАЯ КАМЕРА СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

Рассмотрены особенности расчета рабочей камеры при проектировании СВЧ электротехнологической установки модифицирующего воздействия на полимерные волокна. Показаны варианты компоновки СВЧ рабочей камеры для разных технологических схем модификации волокон.

Yu.S. Arkhangelskiy, S.G. Kalganova

THE WORKING CHAMBER OF THE MICROWAVE ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATION FOR UPDATING POLYMERIC FIBRES

This paper concentrates on the specific features of calculation of the working chamber at designing the MICROWAVE of electrotechnological installation of modifying influence on polymeric fibres. The variants of configuration of the MICROWAVE of the working chamber for different technological circuits of fibres modification are demonstrated.

Установлено наличие нетеплового модифицирующего воздействия СВЧ электромагнитного поля на ряд полимерных материалов разного технического назначения, в том числе на химические волокна, имеющие большое практическое значение при производстве таких технических средств, как изоляционные, пленочные материалы, фильтрующие ткани, медицинские принадлежности, бумага, а также в создании текстильных и композиционных материалов, которые превратились в самостоятельный класс материалов с широкой сферой применения. Так, например, кратковременное воздействие СВЧ электромагнитных колебаний на волокнистый поликапроамид (ПКА), не вызывающее повышения температуры объекта, приводит к модификации его физико-механических свойств, что может быть использовано в практических целях [1].

Рабочая камера СВЧ электротехнологической установки для обработки тонких пластин или волокон должна удовлетворять следующим требованиям:

– камера должна обеспечивать наиболее эффективное взаимодействие объекта обработки с СВЧ электромагнитной волной: вектор напряженности электрического поля должен лежать в плоскости пластины или пучка нитей;

- распределение напряженности электрического поля E по объему объекта должно быть равномерным;
- объект должен размещаться в зоне максимальной напряженности электрического поля E .

При проектировании рабочей камеры СВЧ электротехнологической установки для модификации полимерных волокон задаются: длина волны λ СВЧ генератора, на которой обнаружено модифицирующее воздействие (обычно речь идёт об одной из частот, разрешённых к применению в СВЧ электротехнологических установках – 2450, 915 или 433 МГц), амплитуда напряжённости электрического поля E_0 электромагнитной волны, при которой наблюдается максимально благоприятное изменение контролируемого технологического параметра, допустимое отклонение $\pm\Delta E_0$ от E_0 , при котором не превышает допустимое отклонение значения контролируемого параметра от его максимального значения, время τ_0 пребывания обрабатываемого материала в СВЧ электромагнитном поле и допустимые отклонения $\pm\Delta\tau_0$ от него, ориентация обрабатываемого материала относительно вектора E электромагнитного поля (для волокна, например, по направлению вектора E), производительность G_0 установки (например в м/с).

Рабочая камера для модификации нити может быть собрана на отрезке стандартного прямоугольного волновода, работающего на волне H_{10} , сечением $a \times b$, соответствующего заданной длине волны СВЧ генератора (рис. 1). Волокно через волновод протягивается параллельно узким стенкам рабочей камеры через щели, прорезанные в серединах широких стенок вдоль оси волновода. Тонкая нить практически не искажает волну H_{10} , находится в пучности электрического поля этой волны и перемещается по направлению E .

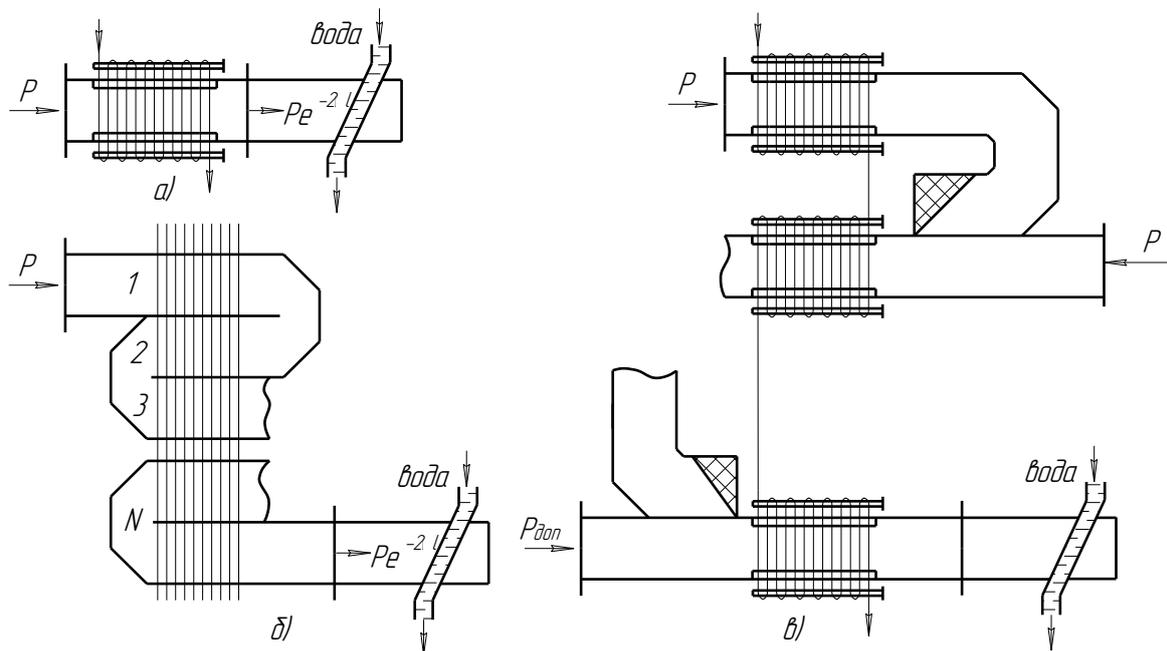


Рис. 1. Варианты компоновки рабочей камеры для модификации полимерных волокон

Для обеспечения E_0 к входному фланцу камеры от СВЧ генератора должна быть подана СВЧ мощность, равная [2]

$$P = \frac{ab}{4} E_0^2 \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}, \quad (1)$$

где ϵ_0 , μ_0 — диэлектрическая и магнитная проницаемость (постоянные) вакуума.

Если a, b, λ в см, E_0 в В/м, P в кВт, то (1) примет вид

$$P = \kappa E_0^2 b, \quad (2)$$

где $\kappa = 665 \cdot 10^{-10} a \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}$.

Время пребывания нити в волноводе равно $\tau = b/G_0$. Если $\tau > \tau_0 + \Delta\tau_0$, то время пребывания в волноводе может быть уменьшено за счет уменьшения ширины b узкой стенки волновода. Уменьшение b согласно (2) потребует уменьшения мощности P СВЧ генератора, то есть в источнике питания СВЧ генератора должна быть предусмотрена регулировка СВЧ мощности. При этом не следует опасаться СВЧ пробоя волновода, так как $E_0 < E_{проб}$, где $E_{проб} = 3 \cdot 10^6$ В/м – амплитуда напряжённости электрического поля, при которой наступает пробой волновода, заполненного воздухом, а потому при любых b $P < P_{проб}$, где $P_{проб}$ – пробивная мощность при волне H_{10} . Для согласования волновода рабочей камеры с СВЧ генератором в этом случае потребуется на её входе поставить четвертьволновой согласующий переход.

Если $\tau < \tau_0 - \Delta\tau_0$, то требуется увеличить время пребывания нити в СВЧ электромагнитном поле. Это можно обеспечить, протягивая нить сквозь те же щели в волноводе n раз, используя направляющие ролики (рис. 1,а), причём n определяется из условия $\tau_0 = n \tau$, то есть

$$n = \frac{\tau_0 G_0}{b}. \quad (3)$$

Длина щели в этом случае определяется по соотношению

$$l_0 \approx n d, \quad (4)$$

где d – диаметр нити.

Разумеется, на длине l из-за затухания электромагнитной волны амплитуда напряжённости E уменьшается, то есть

$$E = E_0 - \Delta E_0 = E_0 e^{-\alpha l}, \quad (5)$$

где коэффициент затухания α равен [3]

$$\alpha = \frac{\pi^2 d \varepsilon' \operatorname{tg} \delta}{2 a \lambda \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 a}\right)^2}}. \quad (6)$$

Здесь ε' и $\operatorname{tg} \delta$ – диэлектрические параметры материала волокна.

Тогда из (5) при $\frac{\Delta E_0}{E_0} \ll 1$

$$l = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{E_0}{E_0 - \Delta E_0} = \frac{1}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{\Delta E_0}{E_0} \right) \approx \frac{\Delta E_0}{\alpha E_0}. \quad (7)$$

Если рассчитанные по (4) и (7) l_0 и l соотносятся, как $l > l_0$, то схема протягивания нити через рабочую камеру, показанная на рис. 1,а, возможна. При $l > l_0$ необходима другая схема. Если соединить N отрезков волноводов меандром (рис. 1,б), подобно тому, как это делается в СВЧ сушилках [3], то, пренебрегая толщиной стенки волновода, общей между секциями, можно обеспечить заданное время обработки τ_0 при числе секций

$$N = \frac{\tau_0 G_0}{b}. \quad (8)$$

Общая длина СВЧ тракта в N секциях, на которой происходит затухание электромагнитной волны, равна $L=N l$, тогда по аналогии с (7) с учётом (8) получим

$$l = \frac{\Delta E_0}{\alpha N E_0} = \frac{\Delta E_0 b}{\alpha \tau_0 G_0 d E_0} . \quad (9)$$

Через щель длиной l можно пропустить плоский пучок n нитей, причём с учётом (9)

$$n = \frac{l}{d} = \frac{\Delta E_0 b}{\alpha \tau_0 G_0 d E_0} . \quad (10)$$

Так как через рабочую камеру протягивается одновременно n нитей, то общая производительность установки будет $G=n G_0$.

Однако расчеты показывают, что при больших G_0 число секций, рассчитанное по (8), велико, и длина установки по направлению протягивания нити может достигнуть нескольких десятков метров. При этом длина щели камеры l , определяемая по (9), оказывается столь малой, что $l \leq d$.

Задачу можно решить, используя рабочую камеру, схема которой показана на рис. 1,в. Расчет такой камеры можно провести следующим образом.

1. По соотношению (3) определяется число n протяжек нити через щель камеры при транспортировке нити по схеме рис.1,а.
2. По соотношению (7) определяется допустимая длина l щели в первой секции рабочей камеры.
3. По соотношению $n_1=l/d$ определяется число протяжек нити через щель в первой секции.
4. Находится число протяжек $n_2=n-n_1$, которые надо осуществить во второй секции.
5. Если $n_2 < n_1$, то в рабочей камере будет две секции, если $n_2 > n_1$, то количество секций будет равно $N=n / n_1$ с округлением в сторону большего числа секций.
6. Находится дополнительная мощность $P_{дон}$, которую необходимо подать на вход второй секции, чтобы в ней амплитуда напряжённости E была в пределах от E_0 до $(E_0-\Delta E_0)$

$$P_{дон} = P \left[1 - \frac{(1 - e^{-2\alpha l}) e^{-0,23C}}{1 + e^{-0,23K}} \right] , \quad (11)$$

где C, K – переходное затухание и направленность ответвления.

Проиллюстрируем применение приведённых соотношений для расчета рабочей камеры для модификации полимерной нити при следующих условиях: $d=0,1$ см; $\varepsilon'=5$; $\text{tg } \delta=0,01$; $\lambda=12,24$ см ($a \times b=9 \times 4,5$ см), $\Delta E_0/E_0=0,01$; $\tau_0=5$ с; $\Delta \tau_0=0,5$ с; $G_0=500$ см/с.

В этом случае время протягивания нити в волноводе $\tau=b/G_0=9 \cdot 10^{-3}$ с, что меньше $\tau_0-\Delta \tau_0=4,5$ с, то есть нить надо протягивать в первой секции волновода n раз, причём по (3) $n=560$. Тогда по (4) $l_0=56$ см. По (6) $\alpha=3 \cdot 10^{-4}$ 1/см, а по (7) допустимая длина щели $l=33$ см, то есть $l_0 > l$, и рабочую камеру необходимо строить по схеме, указанной на рис. 1,в. Число протяжек в первой секции $n_1=330$, тогда во второй секции их должно быть $n_2=230$. Так как $n_2 < n_1$, в рабочей камере достаточно двух секций, причём от дополнительного СВЧ генератора нужно подать мощность, рассчитываемую по (11) с учётом заданного E_0 .

Если же при всех тех же условиях $G_0=100$ см/с, то $\tau=4,5 \cdot 10^{-2}$ с, то есть меньше 4,5 с, а потому нить надо протягивать в первой секции n раз, причём $n=112$, то есть $l_0=11,2$ см, а так как по-прежнему $l=33$ см, то $l > l_0$, и рабочая камера состоит из одной секции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калганова С.Г., Морозова М.Ю., Слепцова С.К. Влияние СВЧ электромагнитных колебаний на свойства поликапроамидных нитей // Электромеханика, электротехнологии и

электроматериаловедение: Труды V Междунар. конф. МКЭЭЭ-2003. Крым. Алушта, 2003. Ч.1. С.62-66.

2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ: В 3 т. М.: Высшая школа, 1970. Т.1. 208 с.

3. Архангельский Ю.С. СВЧ-электротермия. Саратов: СГТУ, 1998. 408 с.

Архангельский Юрий Сергеевич –

заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автоматизированные электротехнологические установки и системы»
Саратовского государственного технического университета

Калганова Светлана Геннадьевна –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы»
Саратовского государственного технического университета УДК 621.314.58

УДК 621.314.58

И.И. Аршакян, И.И. Артюхов, С.Ф. Степанов

**КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АППАРАТОВ
ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА**

Рассмотрены особенности переходных процессов в системах электроснабжения аппаратов воздушного охлаждения газа с приводом от многополюсных асинхронных двигателей. Показана возможность снижения токовых нагрузок на источник питания при пуске электродвигателя вентилятора за счет динамической компенсации реактивной мощности.

I.I. Arshakyan, I.I. Artyukhov, S.F. Stepanov

**COMPENSATION OF REACTIVE POWER
IN THE SYSTEMS OF POWER SUPPLY DEVICES
OF AIR COOLING OF GAS**

The peculiarities of the transitional processes in the systems of power supply of the devices of air cooling of natural gas with a drive from multipolar non-synchronous engines are shown in this paper.

Неотъемлемой частью технологического процесса, реализуемого при трубопроводном транспорте газа, является охлаждение компримированного газа. Для этого на компрессорных станциях применяют установки охлаждения газа, состоящие из определенного числа аппаратов воздушного охлаждения (АВО) с электроприводными вентиляторами. Широкое распространение получили, в частности, АВО нагнетательного типа с приводом от тихоходных асинхронных двигателей [1].

Для систем электроснабжения АВО такого типа существует ряд проблем, требующих комплексного решения. Одна из них обусловлена тем, что из-за своих конструктивных особенностей тихоходные электродвигатели имеют низкий коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (1)$$

где S – полная мощность, потребляемая электродвигателем из сети; P , Q – активная и реактивная составляющие полной мощности.

В частности, для электродвигателей с 7 парами полюсов характерным является значение $\cos \varphi = 0,73 \div 0,75$. С увеличением числа пар полюсов увеличивается ток намагничивания. Поэтому электродвигатели, у которых синхронная частота составляет 250 об/мин (число пар полюсов $p=12$), имеют еще меньший $\cos \varphi = 0,65 \div 0,68$.

В процессе передачи электродвигателям АВО активной и реактивной мощности по кабельным линиям и трансформаторам происходят потери активной мощности. Если через k -й элемент трехфазной системы электроснабжения с сопротивлением R_k протекает ток I , то потери активной мощности составляют

$$\Delta P_k = 3 \cdot R_k \cdot I^2. \quad (2)$$

Ток, потребляемый электродвигателем АВО, определяется по формуле

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}, \quad (3)$$

где U_n – линейное напряжение сети.

Подставляя (3) в (2), после преобразований получим

$$\Delta P_k = R_k \cdot \frac{P^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что потери активной мощности обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности. При указанных выше значениях $\cos \varphi$ ток электродвигателя АВО на 33÷54 % больше величины, которая необходима для совершения полезной работы. Это делает обязательным применение компенсирующих устройств в системах электроснабжения АВО газа, так как в противном случае потери мощности будут в 1,7÷2,4 раза больше. Кроме того, работа электродвигателей АВО без компенсирующих устройств снижает нагрузочную способность трансформаторов и других элементов системы электроснабжения.

Применяют два подхода к решению задачи компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения АВО. Первый из них состоит в том, что параллельно статорным обмоткам каждого двигателя наглухо присоединяют конденсаторную батарею, параметры которой рассчитывают исходя из условия компенсации реактивной мощности двигателя при работе в номинальном режиме. Второй подход к решению задачи компенсации реактивной мощности предусматривает изменение набора конденсаторов на общей шине питания электродвигателей АВО в зависимости от суммарной нагрузки секции.

Существующие схемы электроснабжения АВО газа представлены на рис. 1. Необходимо отметить, что в этих схемах требуемый баланс реактивной мощности может быть достигнут только в установившихся режимах. В процессе пуска двигателя всегда существует дефицит реактивной мощности емкостного характера, который обусловлен разностью между током конденсаторной батареи и индуктивной составляющей тока двигателя.

В схеме с индивидуальной компенсацией (рис. 1,а) одновременно с подключением двигателя к сети начинается генерация реактивной мощности конденсаторной батареей. Однако величина этой мощности оказывается явно недостаточной для того, чтобы в процессе пуска двигатель с вентилятором на валу потреблял только активный ток.

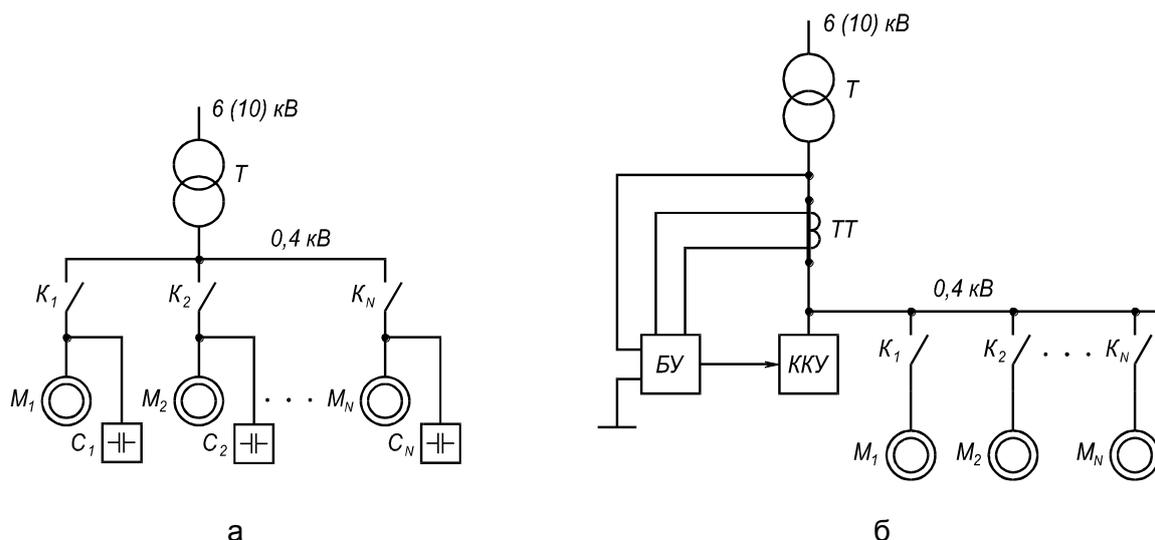


Рис.1. Схемы электроснабжения АВО газа с индивидуальной (а) и централизованной (б) компенсацией реактивной мощности

В схеме электроснабжения с централизованной компенсацией (рис. 1,б) управление конденсаторами осуществляется автоматически по одному из параметров, характеризующих режим работы системы электроснабжения, например, по углу сдвига фаз между питающим напряжением и суммарным током секции.

Однако в такой системе всегда существует запаздывание в срабатывании коммутаторов, переключающих секции конденсаторной батареи. Оно может быть как обусловлено задержкой в обработке информации при формировании управляющего воздействия, так и специально назначено для того, чтобы исключить ложное срабатывание коммутаторов при кратковременных всплесках контролируемых параметров.

Другая проблема систем электроснабжения АВО состоит в том, что при прямом пуске электродвигателя потребляется ток, который в $4,5 \div 5$ раз превышает номинальное значение. Это приводит к перегрузкам источника питания, провалам напряжения, потерям электрической энергии в линиях электропередачи, трансформаторах и коммутационных элементах. Характерной особенностью электропривода АВО газа с нагнетательной тягой является большая инерция вращающихся масс. Пуск электродвигателей в этих установках является затяжным, на изменение кинетической энергии мехатронной системы затрачивается большое количество электроэнергии. Одновременное включение нескольких вентиляторов, например, после перерыва электроснабжения оказывается невозможным, так как происходит перегрузка источника электроснабжения и срабатывание защиты.

Один из вариантов решения задачи снижения нагрузок на источник электроснабжения в переходных процессах состоит в применении устройств, которые позволяют плавно изменять напряжение на статорных обмотках двигателя в процессе пуска [2]. Результаты проведенных исследований показали, что такое решение является эффективным в тех случаях, когда вентиляторы АВО газа приводятся в движение асинхронными двигателями с небольшим количеством полюсов. Если привод вентиляторов осуществляется от многополюсных двигателей, то применение устройств плавного пуска (УПП) позволяет, в основном, решить задачу снижения ударных моментов в переходном режиме. Уменьшение тока в $1,5-2$ раза достигается увеличением длительности пуска, поэтому ожидаемого эффекта снижения потерь электроэнергии не наблюдается.

Необходимо также отметить, что применение УПП на установках охлаждения газа предусматривает существенное изменение топологии схемы электроснабжения. УПП явля-

ются последовательными силовыми элементами, поэтому модернизация системы электро-снабжения предполагает изменение алгоритма функционирования электропривода и требует существенных затрат на ремонт оборудования.

Исследованию переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой посвящено большое количество работ. В [3,4] и других работах показано, что асинхронный двигатель может быть представлен активно-индуктивной схемой замещения, параметры которой зависят от скольжения. Отмечается, что при скольжении $s=1$, соответствующем начальному моменту пуска двигателя коэффициент мощности, как правило, меньше, чем при работе двигателя в номинальном режиме. Это приводит к тому, что величина тока двигателя в пусковом режиме определяется, в значительной степени, реактивной составляющей.

На рис. 2 показаны расчетные схемы для систем электроснабжения АВО с индивидуальной и централизованной компенсацией реактивной мощности.

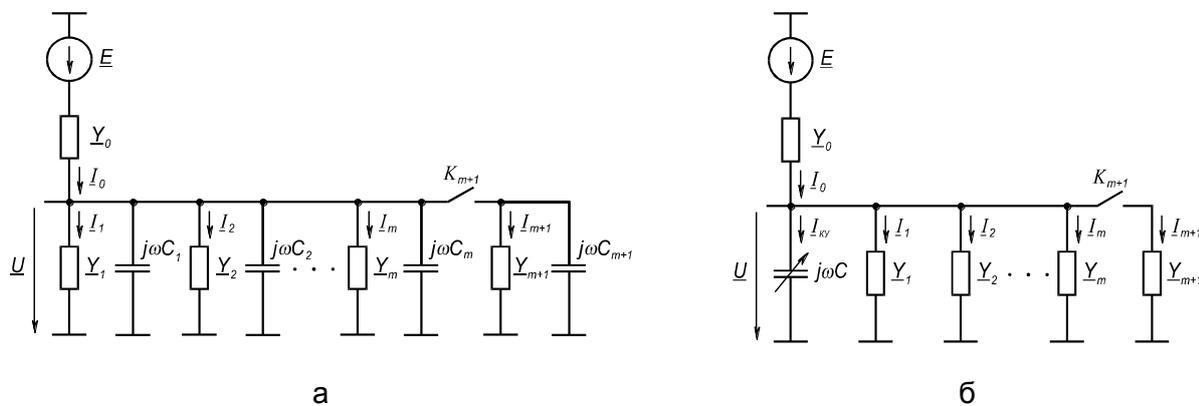


Рис.2. Расчетные схемы для систем электроснабжения АВО газа с индивидуальной (а) и централизованной (б) компенсацией реактивной мощности

На этих схемах:

\underline{Y}_k – эквивалентная проводимость цепи, включающей в себя фазу двигателя, соединительные кабели и коммутационные аппараты;

\underline{Y}_0 – эквивалентная проводимость трансформатора и высоковольтного кабеля;

\underline{E} – ЭДС источника питания.

С помощью указанных схем может быть промоделирована ситуация, когда в установленном режиме работают m двигателей и происходит включение $(m+1)$ -го двигателя.

Эквивалентная проводимость цепи с запускаемым двигателем обозначена \underline{Y}_{m+1} . Ее составляющие $g(t), b(t)$ определяются по формуле Эйлера

$$g(t) = Y_{m+1}(t) \cos \varphi(t) ; \quad b(t) = Y_{m+1}(t) \sin \varphi(t) . \quad (5)$$

В начальный момент пуска двигателя

$$g(0) = g_{\text{пуск}} ; \quad b(0) = b_{\text{пуск}} . \quad (6)$$

Для обеих схем рис. 2 может быть записано следующее выражение для расчета тока источника питания непосредственно перед включением $(m+1)$ -го двигателя

$$\underline{I}_{01} = (\underline{E} - \underline{U}) \cdot \underline{Y}_0 . \quad (7)$$

Напряжение \underline{U} на шине питания определим на основании метода узловых потенциалов.

Для схемы с индивидуальной компенсацией (рис. 2,а)

$$\underline{U} = \frac{\underline{E} \cdot \underline{Y}_0}{\underline{Y}_0 + \sum_{k=1}^m (\underline{Y}_k + j\omega C_k)} , \quad (8)$$

где C_k – емкость компенсирующего конденсатора на фазу при соединении «звездой».

В схеме с централизованной компенсацией (рис. 2,б)

$$\underline{U} = \frac{\underline{E} \cdot \underline{Y}_0}{\underline{Y}_0 + j\omega C + \sum_{k=1}^m Y_k} , \quad (9)$$

где C – емкость батареи компенсирующих конденсаторов перед включением $(m+1)$ -го двигателя.

При выполнении условия

$$C = \sum_{k=1}^m C_k$$

значения напряжения, определенные формулами (8) и (9), получаются идентичными.

Если $Y_0 \gg Y_k$, то на основании (7), (8) и (9) можно записать

$$\underline{I}_{01} = \underline{U} \cdot \sum_{k=1}^m (\underline{Y}_k + j\omega C_k) = m \cdot \underline{U} \cdot (\underline{Y}_{н.м.} + j\omega \tilde{C}) .$$

Здесь принято, что все конденсаторы имеют одинаковую емкость $C_k = \tilde{C}$, а цепи с двигателями, работающими в номинальном режиме, – одинаковую проводимость $\underline{Y}_{н.м.}$.

После подключения $(m+1)$ -го двигателя ток источника питания в схеме рис. 2,а будет определяться выражением

$$\underline{I}_{02} = \underline{U} \cdot \sum_{k=1}^{m+1} (\underline{Y}_k + j\omega C_k) = \underline{U} \cdot (m \underline{Y}_{н.м.} + (m+1) j\omega \tilde{C} + \underline{Y}_{m+1}) .$$

С учетом формул (5) и (6) в начальный момент пускового интервала

$$\underline{I}_{02} = \underline{U} \cdot (m \underline{Y}_{н.м.} + (m+1) j\omega \tilde{C} + g_{пуск.} - j b_{пуск.}) .$$

Таким образом, изменение тока источника питания составит

$$\underline{I}_{02} - \underline{I}_{01} = \underline{U} \cdot (\underline{Y}_{m+1} + j\omega \tilde{C}) = \underline{U} \cdot (g_{пуск.} - j(b_{пуск.} - \omega \tilde{C})) .$$

Модуль приращения тока определим по формуле

$$\Delta I = U \sqrt{g_{пуск.}^2 + (b_{пуск.} - \omega \tilde{C})^2} . \quad (10)$$

В схеме с централизованной компенсацией реактивной мощности (рис. 2,а) ток источника питания в начальный момент запуска $(m+1)$ -го можно найти по формуле

$$\underline{I}_{02} = \underline{U} \cdot (m \underline{Y}_{н.м.} + \underline{Y}_{m+1} + j\omega C) = \underline{U} \cdot (m \underline{Y}_{н.м.} + g_{пуск.} - j b_{пуск.} + j\omega C) .$$

Приращение тока источника питания в комплексной форме составит

$$\underline{I}_{02} - \underline{I}_{01} = \underline{U} \cdot \underline{Y}_{m+1} = \underline{U} \cdot (g_{пуск.} - j b_{пуск.}) .$$

Модуль приращения тока

$$\Delta I = U \sqrt{g_{пуск.}^2 + b_{пуск.}^2} . \quad (11)$$

Сравнение величин, рассчитанных по формулам (10) и (11), показывает, что начальный бросок тока при пуске двигателя в системе электроснабжения с индивидуальной компенсацией меньше, чем в системе с централизованной компенсацией. Однако величина реактивной проводимости $b_{\text{пуск}}$ в формуле (10) значительно меньше, чем емкостная проводимость $\omega\tilde{C}$. Поэтому эффект снижения пускового тока оказывается незначительным.

В процессе пуска электродвигателя АВО составляющие $g(t)$, $b(t)$ проводимости Y_{m+1} изменяются от начальных значений $g_{\text{пуск}}$, $b_{\text{пуск}}$ до установившихся значений $g_{\text{уст}}$, $b_{\text{уст}}$.

Ток, потребляемый электродвигателем АВО, определяется из выражения

$$I(t) = U(t) \cdot \sqrt{g^2(t) + b^2(t)}, \quad (12)$$

где $U(t)$ – действующее значение фазного напряжения сети в момент времени t .

Активная $g(t)$ и реактивная $b(t)$ проводимости могут быть определены по формуле

$$g(t) = z^{-1}(t) \cdot \cos \varphi(t); \quad b(t) = z^{-1}(t) \cdot \sin \varphi(t), \quad (13)$$

где $z(t)$ и $\varphi(t)$ – модуль и аргумент полного сопротивления цепи, состоящей из фазы электродвигателя по схеме замещения, соединительного кабеля и коммутационной аппаратуры.

Данные о закономерностях изменения параметров $z(t)$, $\varphi(t)$ в процессе пуска многополюсных асинхронных двигателей с вентиляторной нагрузкой в литературе отсутствуют. Для их получения было проведено экспериментальное исследование переходных процессов в системах электроснабжения АВО различных типов с помощью цифрового запоминающего осциллографа *Fluke 196C*.

Для нахождения графиков изменения модуля $z(t)$ и аргумента $\varphi(t)$ полного сопротивления фазы электродвигателя по схеме замещения исследуемый процесс был разделен на интервалы Δt_k , состоящие из m периодов сетевого напряжения. Для каждого j -го периода из массива данных, которые экспортировались с программного обеспечения *FlukeView*[®] в приложение *Excel*, определялись амплитуды напряжения $U_m[k, j]$ и тока $I_m[k, j]$, а также интервал времени $\Delta t[k, j]$ между моментами перехода через нулевое значение кривых напряжения и тока. На основании этих данных для k -го интервала переходного процесса рассчитывались усредненные значения модуля и аргумента полного сопротивления по формулам

$$z[k] = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{U_m[k, j]}{I_m[k, j]}; \quad \varphi[k] = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\Delta t[k, j]}{T} \cdot 360^\circ, \quad (14)$$

где T – период сетевого напряжения.

На объектах магистрального транспорта газа широкое распространение получили АВО типа 2АВГ-75. В этих аппаратах привод вентиляторов с диаметром рабочего колеса 5000 мм осуществляется электродвигателями ВАСО-16-14-24, номинальная мощность которых составляет 37 кВт, $\cos \varphi = 0,67$. Пусковой ток двигателя превышает номинальное значение в 4,5 раз.

Исследование двигателей ВАСО-16-14-24 дало следующие результаты. Длительность переходного процесса при пуске составляет примерно 18 с. Амплитуда тока электродвигателя в пусковом режиме достигает 600 А, после разгона вентилятора она снижается до 132 А. Если двигатель запускается с параллельно подключенной батареей компенсирующих конденсаторов мощностью 38 квар, то сетевой ток уменьшается в переходном режиме на 10-15%.

При проведении экспериментов исследуемый электродвигатель был соединен с клеммами магнитного пускателя кабелем АВВГ 3×70+1×25, у которого при температуре +20°C удельные сопротивления жил имеют следующие значения: активное $R_0 = 0,443$ Ом/км и индуктивное $X_0 = 0,0612$ Ом/км. При длине кабеля 50 м активное сопротивление жилы составляет 0,022 Ом, индуктивное сопротивление пренебрежимо мало. Вентилятор АВО был осна-

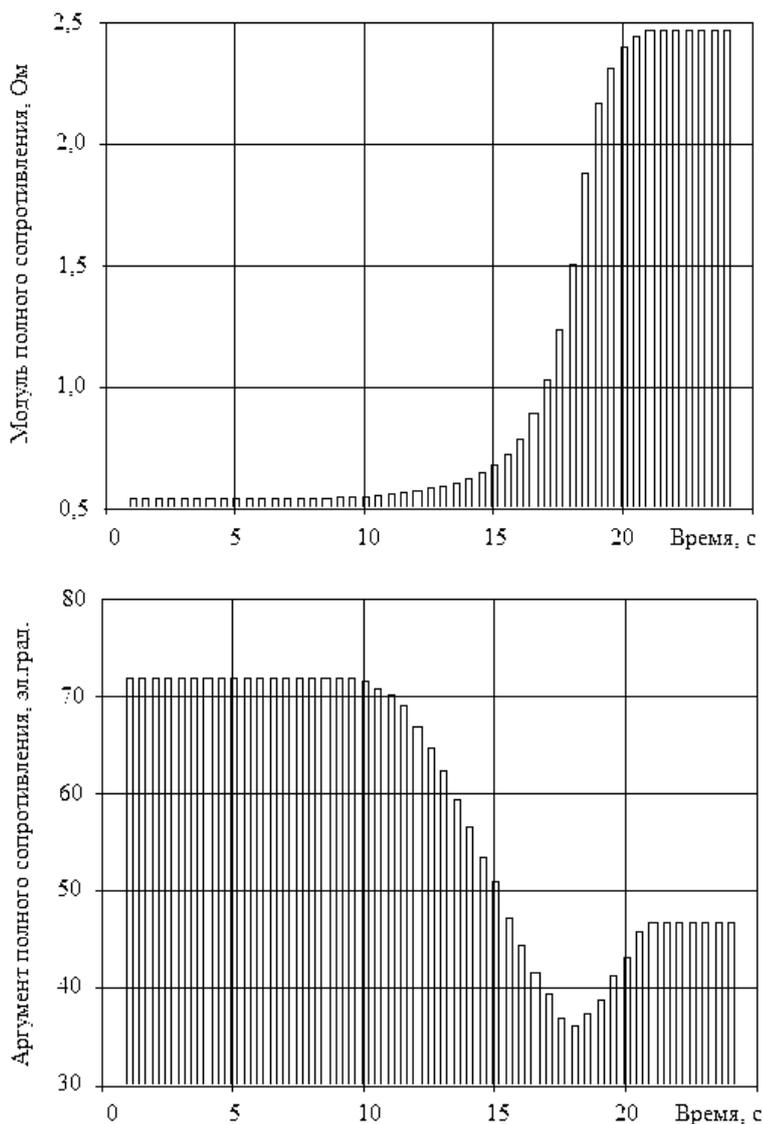


Рис.3. Изменение параметров схемы замещения при пуске электродвигателя ВАСО-16-14-24 с вентилятором на валу

шен лопастями типовой конструкции. Электроснабжение осуществлялось от трансформатора ТМЗ-1000/10.

Графики функций $z[k]$ и $\varphi[k]$, рассчитанные по формулам (14) в ходе обработки данных о переходном процессе при пуске электродвигателя ВАСО-16-14-24 с вентилятором на валу, приведены на рис. 3. При расчете указанных функций интервал усреднения принимался в размере $m=25$ периодов сетевого напряжения.

Модуль полного сопротивления в начальный момент пуска равен 0,54 Ом и на протяжении 10 секунд практически не изменяется. В последующем происходит увеличение сопротивления до установившегося значения 2,46 Ом.

Фазовый угол в первые 10 секунд пуска составляет 72 эл.град. ($\cos \varphi=0,31$). Затем по мере увеличения частоты вращения ротора фазовый сдвиг между напряжением сети и током двигателя сначала уменьшается, достигая минимального значения 36 эл.град., после чего увеличивается до установившегося значения 48 эл.град. ($\cos \varphi=0,67$).

Так как в первые 10 секунд пускового режима $\varphi(t)=72^\circ$,

то реактивная проводимость $b(t)=b_{\text{пуск}}$ больше активной проводимости $g(t)=b_{\text{пуск}}$ фактически в 3 раза. В соответствии с выражениями (13) это означает, что существующая кратность пускового тока рассматриваемого электродвигателя на 68% обусловлена реактивной составляющей.

На основании полученных данных рассчитаны зависимости изменения активной $P(t)$ и реактивной $Q(t)$ составляющих полной мощности $S(t)$ двигателя в пусковом режиме. Соответствующие графики показаны на рис. 4.

При расчете использованы следующие формулы:

$$S(t) = 3 \cdot U^2(t) \cdot z^{-1}(t) ; P(t) = S(t) \cos \varphi(t) ; Q(t) = S(t) \sin \varphi(t) ,$$

где $U(t)$ – действующее значение фазного напряжения, зафиксированное в момент времени $t=k\Delta t$.

Из графиков на рис. 4 отчетливо видно, что в первые 10 секунд пуска электродвигателя из сети потребляется активная мощность 82,3 кВт. Примерно на 15-й секунде потребление активной мощности достигает максимального значения 135,4 кВт, после чего снижается до установившегося значения 41,3 кВт. Реактивная мощность в начальный интервал пуска равна 253,3 квар. После 10-й секунды ее потребление плавно уменьшается до 42 квар. Таким образом, в исследуемой системе в процессе разгона электродвигателя имеет место дефицит реактивной мощности емкостного характера, генерация которой является существенным фактором снижения тока источника питания при пуске двигателя.

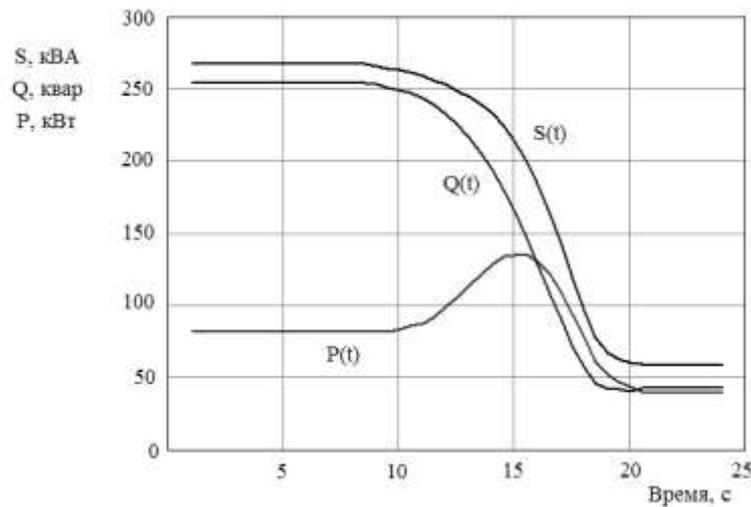


Рис. 4. Графики изменения активной $P(t)$, реактивной $Q(t)$ и полной $S(t)$ мощностей в процессе пуска электродвигателя ВАСО-16-14-24 с вентилятором на валу

На рис. 5 показана схема электроснабжения, в которой обеспечивается динамическая компенсация реактивной мощности в процессе пуска электродвигателя АВО газа. Блок управления (БУ) формирует сигнал, который пропорционален реактивной составляющей тока шины. Под действием этого сигнала происходит изменение эквивалентной проводимости $b_{KV}(t)$ устройства динамической компенсации (УДК).

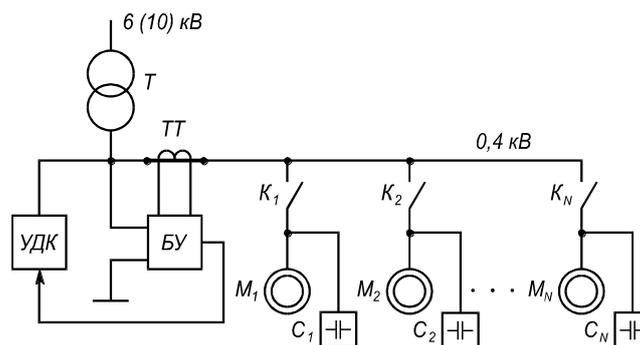


Рис. 5. Схема электроснабжения АВО газа с УДК

Из выражения (12) следует, что если в процессе пуска двигателя в любой момент времени обеспечить выполнение условия

$$b_{KV}(t) = z^{-1}(t) \cdot \sin \varphi(t) ,$$

то сетевой ток будет иметь минимальную величину.

Техническая реализация УДК определяется способом изменения эквивалентной проводимости $b_{KY}(t)$. Один из них состоит в том, что параллельно конденсаторной батарее подключается тиристорно-реакторный регулятор [5], например, в виде встречно-параллельно соединенных тиристорov. Другое решение предусматривает подключение на шины двигателей источника реактивной мощности инверторного типа [6]. Возможны другие варианты построения схемы УДК.

Выбором параметров УДК можно достигнуть режима полной компенсации реактивной мощности при пуске электродвигателя вентилятора. Очевидно, что затраты электроэнергии на пуск двигателя в этом случае будут минимальными, а установленная мощность УДК – максимальной. Если ограничить сетевой ток на уровне максимума активной составляющей пускового тока двигателя, то установленная мощность может быть существенно снижена. При этом обеспечивается снижение тока в 1,8–2 раза в переходных процессах, обусловленных пуском электродвигателей АВО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кунтыш и др.; Под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.
2. Артюхов И.И., Аршакян И.И., Крылов И.П. Автоматическое управление аппаратами воздушного охлаждения на объектах магистрального транспорта газа // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. № 1. С.33-36.
3. Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цырук С.А. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой. М.: Изд-во МЭИ, 1997. 424 с.
4. Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Яризов А.Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 2000. 487 с.
5. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / В.А. Веников, Л.А. Жуков, И.И. Карташев и др. М.: Энергия, 1975. 136 с.
6. Солоухо Я.Ю. Состояние и перспективы внедрения в электроприводах статических компенсаторов реактивной мощности. Обобщение отечественного и зарубежного опыта. М.: Информэлектро, 1981. 89 с.

Аршакян Игорь Ишханович –

аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»
Саратовского государственного технического университета

Артюхов Иван Иванович –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий»
Саратовского государственного технического университета

Степанов Сергей Федорович –

кандидат технических наук,
докторант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»
Саратовского государственного технического университета

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 620.178.53

А.А. Игнатьев, В.А. Добряков, С.А. Игнатьев**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СТАНКОВ КАК ОДИН ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Рассматриваются автоматизированный контроль и идентификация динамических характеристик шлифовальных станков в системе мониторинга технологического процесса. Приводятся результаты экспериментального исследования взаимосвязи качества обработки колец подшипников и динамического состояния станков.

A.A. Ignatiev, V.A. Dobryakov, S.A. Ignatiev**AUTOMIZED MONITORING OF DYNAMIC PERFORMANCES
OF MACHINES AS ONE OF THE DEVICES OF THE SYSTEMS OF MONITORING
OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS**

This paper concentrates on the automatized monitoring and identification of dynamic responses of grinders in the system of monitoring of the technological process. The results of an experimental research of correlation of quality of handling of rings of bearings and of the dynamic state of machines are given here.

В процессе функционирования в автоматизированных металлорежущих станках (МРС) протекает множество процессов различной скорости: технологические, реализующие основную функцию станка, колебательные и тепловые, вызываемые внутренними и внешними источниками возмущений, трибологические, упругодеформационные и ряд других, определяющих реальное состояние процесса обработки и оборудования [1,2]. Важным этапом в обеспечении параметрической надежности МРС является мониторинг, включающий контроль, диагностирование, прогнозирование и управление качеством обработки на основе анализа результатов измерений определяющих параметров технологического процесса и оборудования [3,4]. В качестве одного из наиболее значимых элементов мониторинга рассматривается контроль динамических характеристик МРС [5,6].

Качество колец подшипников после операции шлифования, определяемое макро- и микрогеометрическими параметрами точности и физико-механическим состоянием поверхностного слоя дорожек качения, зависит от многих факторов (рис.1), в том числе и таких как

режим резания и динамическое состояние станка. Активный контроль осуществляется средствами, встроенными в технологическое оборудование для непосредственного воздействия на технологический процесс с целью обеспечения заданного качества продукции. Развитие активного контроля с использованием микропроцессорной техники позволяет за счет увеличения числа контролируемых параметров, по которым оптимизируется процесс шлифования, расширить функции приборов активного контроля. Это приводит, с одной стороны, к усложнению приборов контроля, но, с другой стороны, получаемая измерительная информация о величине и направлении изменения параметров деталей и технологического процесса позволяет осуществить оперативный контроль режима обработки и обеспечить высокое качество поверхностного слоя дорожек качения колец. Автоматическое распределение режимов шлифования по припуску, осуществляемое приборами активного контроля, может быть более или менее эффективным в зависимости от набора контролируемых параметров и способов

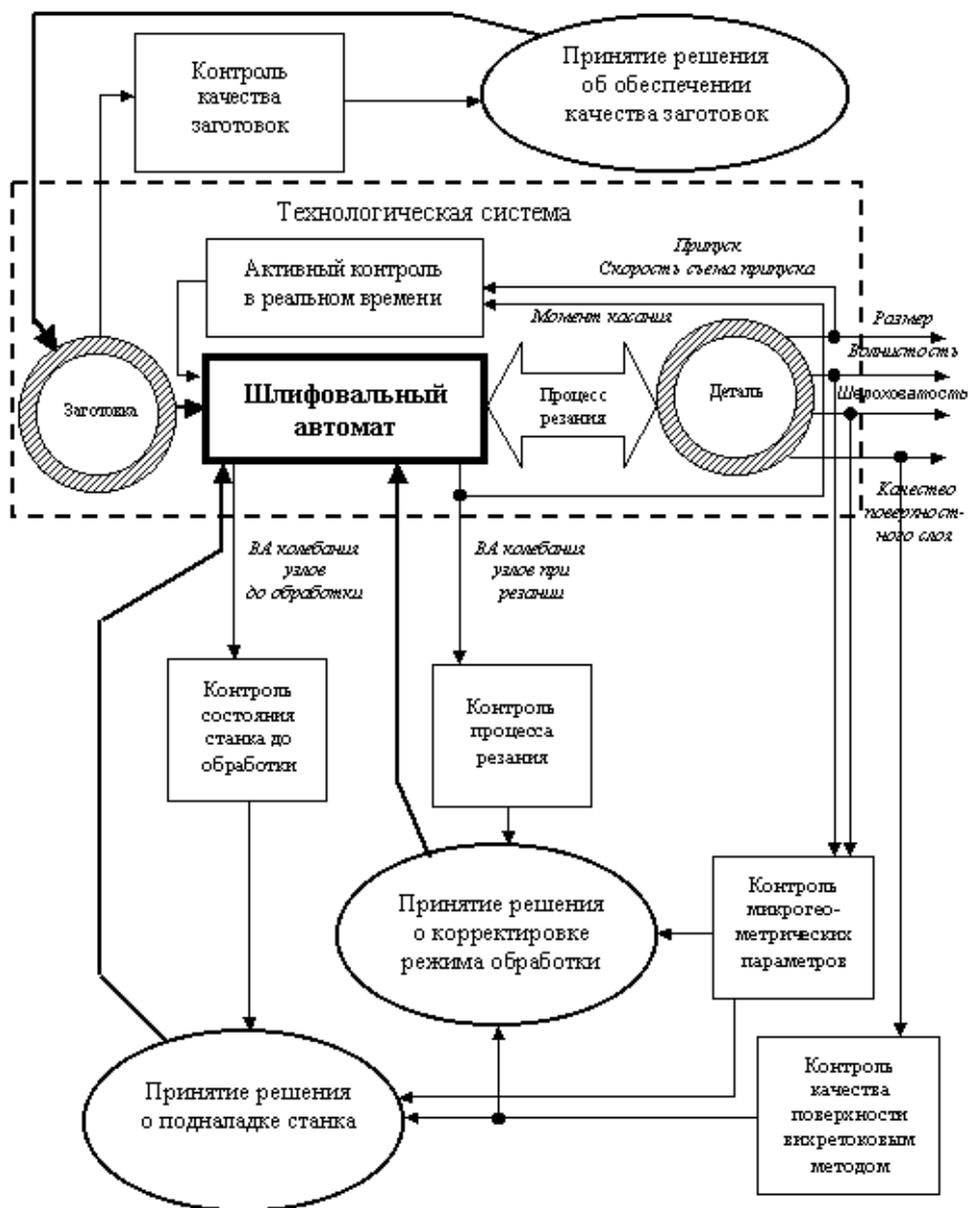


Рис. 1. Управление процессом шлифования с использованием дополнительных информационных параметров

обработки информации о процессе и о результатах шлифования. К числу дополнительных контролируемых параметров следует отнести уровень вибраций в динамической системе (ДС) и скорость съема припуска. Измерение вибрации ДС позволяет контролировать не только собственно процесс шлифования, но и правку круга, а также сократить время «шлифования воздуха».

Для оценки динамического состояния МРС используется измерение уровня виброакустических (ВА) колебаний узлов формообразующей подсистемы, которые существенно влияют на некруглость и волнистость обработанной поверхности качения, а также способствуют изменению структуры поверхностного слоя, что снижает надежность подшипников [6].

При идентификации динамического состояния станка возникает необходимость в построении его достоверной математической модели. Шлифовальный станок является сложной динамической системой (ДС), состоящей из нескольких подсистем, взаимодействие между которыми осуществляется как при резании, так и без резания (на холостом ходу). В процессе шлифования взаимодействуют силовые и тепловые процессы, связанные с резанием и пластическими деформациями металла, процессы износа шлифовального круга и изменения его режущих свойств, динамические процессы в формообразующей подсистеме, включая колебательные процессы в шпиндельных узлах (ШУ) круга и детали, процессы трения, процессы в электро- и гидроприводах рабочих движений станка, а также некоторые другие процессы, влияние которых несущественно или их учет весьма затруднителен. В качестве математической модели ДС станка целесообразно рассмотреть передаточную функцию [7,8]. Ее построению предшествует составление функциональной схемы ДС (рис. 2), наиболее целесообразной с точки зрения удобства представления входных и выходных величин и возмущающих воздействий, а также организации контроля параметров, позволяющих оценить динамическое состояние станка. Так, например, в производственных условиях измеряемыми являются уровни колебаний уровни колебаний ШУ круга $x_d(t)$ и ШУ детали $x_u(t)$, что позволяет использовать их в системе мониторинга [9].

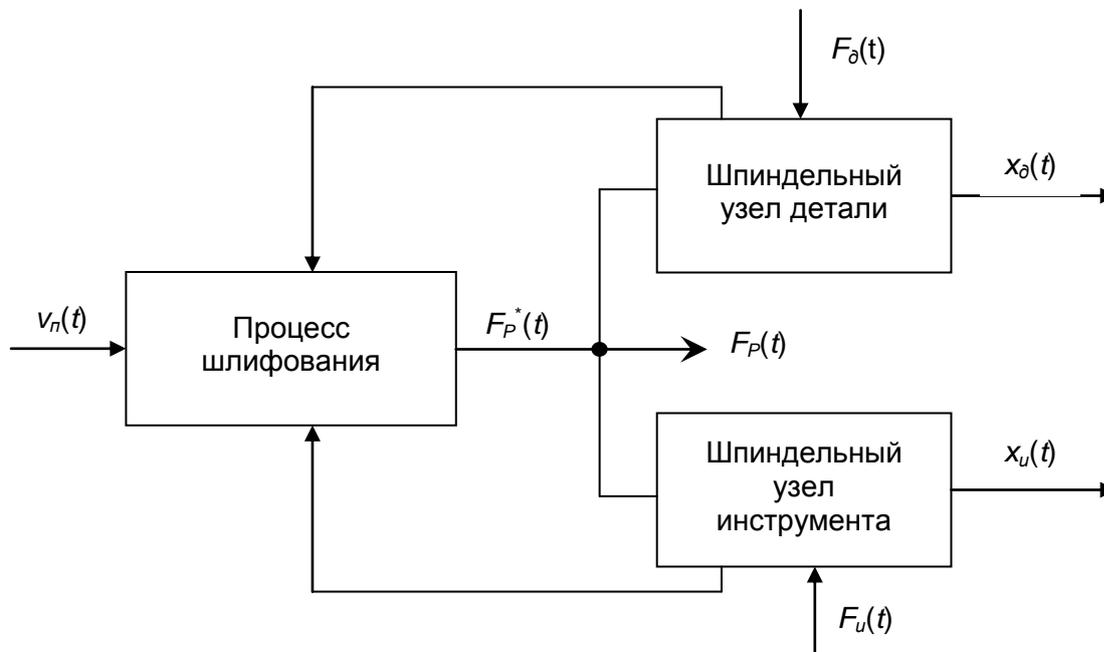


Рис.2. Функциональная схема ДС шлифовального станка: $v_n(t)$ – скорость подачи круга; $F_P(t)$ – сила резания; $F_d(t)$, $F_u(t)$ – возмущающие воздействия; $x_d(t)$, $x_u(t)$ – приведенные к плоскости резания смещения ШУ детали и ШУ инструмента

При построении модели ДС необходимо учитывать стохастические свойства параметров и процессов в технологической системе (ТС) при абразивной обработке. В качестве основы принята модель, разработанная В.Н. Михелькевичем [8], однако в нее внесены важные изменения, учитывающие динамические характеристики основных формообразующих узлов [10]. За регулирующее воздействие на процесс принята скорость суппорта поперечной подачи шлифовального круга v_c , а за выходную переменную объекта – радиальная составляющая силы резания F_p .

Принимая во внимание схему ДС станка, приведенную в работе [10], можно заключить, что упругая система состоит из параллельно соединенных ШУ детали и ШУ инструмента, следовательно, $W_{yc}(p) = W_u(p) + W_o(p)$. Тогда передаточная функция процесса резания по аналогии с моделью из работы [8] будет иметь вид

$$W_p(p) = \frac{1}{p} \left(1 - e^{-p\beta\tau_d} \right) \frac{K_{PE3}}{1 + K_{PE3} \left(1 - e^{-p\tau_d} \right) [W_d(p) + W_{II}(p)]}, \quad (1)$$

где K_{PE3} , β – коэффициенты, определяющие процесс резания; τ_d – время оборота детали.

Передаточные функции ШУ детали $W_d(p)$ и ШУ инструмента $W_{II}(p)$ в общем случае имеют сложную структуру, образованную совокупностью колебательных звеньев [8]. Выражения для них имеют вид

$$W_d(p) = \sum_{i=1}^n \frac{h_{di}}{T_{di}^2 p^2 + 2\gamma_{di} T_{di} p + 1}, \quad W_{II}(p) = \sum_{j=1}^m \frac{h_{Ij}}{T_{Ij}^2 p^2 + 2\gamma_{Ij} T_{Ij} p + 1}, \quad (2)$$

где h_{di} , h_{Ij} – коэффициенты, обусловленные статической жесткостью отдельных элементов ШУ; T_{di} , T_{Ij} – постоянные времени, обусловленные собственными частотами отдельных элементов ШУ; γ_{di} , γ_{Ij} – относительные коэффициенты демпфирования отдельных элементов ШУ.

Анализ формулы (1) с учетом выражений (2) достаточно сложен, поэтому с целью упрощения передаточной функции $W_p(p)$ ШУ рассматриваются как колебательные звенья с одной основной частотой, тогда имеем:

$$W_p(p) = \frac{K_{PE3} \tau_d (T_{II}^2 p^2 + 2\gamma_{II} T_{II} p + 1)}{(T_{II}^2 p^2 + 2\gamma_{II} T_{II} p + 1) + K_{PE3} p \tau_d h_d (T_{II}^2 p^2 + 2\gamma_{II} T_{II} p + 1) + K_{PE3} p \tau_d h_{II}}. \quad (3)$$

В первом приближении после пренебрежения слагаемыми с коэффициентами третьего и четвертого порядка малости, получаем

$$W_p(p) = \frac{K_{PE3} \tau_d}{T_{II}^2 p^2 + 2[\gamma_{II} + K_{PE3} \tau_d (h_d + h_{II})] T_{II} p + 1}. \quad (4)$$

Необходимо отметить, что реально сила резания $F_p(t)$ является суммой детерминированной составляющей $\tilde{F}_p(t)$, определяемой подачей круга, и стохастической составляющей $\overset{\circ}{F}_p(t)$, определяемой совокупностью различных факторов, к числу которых относятся неравномерность скорости подачи круга, неравномерность припуска заготовки, колебания в ДС и ряд других [8,10]. Это позволяет рассматривать составляющую $\overset{\circ}{F}_p(t)$ как «белый шум» с постоянной спектральной плотностью S_0 . Стохастический характер процессов в ДС станка требует для детального анализа применения соответствующих методов теории случайных процессов, в частности, корреляционного и спектрального анализа. Соответственно, указанный характер сил резания обуславливает детерминированную и стохастическую составляющие колебательных процессов в ДС, определяющих динамическое состояние станка.

Модель ДС для врезного шлифования, представленная на рис. 2, наиболее удобна для последующего анализа с точки зрения организации контроля ВА колебаний основных формообразующих узлов, в частности, ШУ детали и ШУ инструмента (абразивного круга), непосредственно влияющих на микрогеометрию поверхности качения кольца. Выходные измеряемые величины, если не учитывать возмущающие воздействия на ШУ детали и ШУ инструмента, выражаются формулами [10]:

$$x_{д}(p) = \frac{W_{д}(p) F_p(p)}{1 + W_p(p) [W_{д}(p) + W_{и}(p)]}, \quad x_{и}(p) = \frac{W_{и}(p) F_p(p)}{1 + W_p(p) [W_{д}(p) + W_{и}(p)]}. \quad (5)$$

Если измерения ВА колебаний осуществляются на опоре кольца, то воздействия со стороны ШУ детали и ШУ инструмента суммируются, следовательно, имеем

$$x_0(p) = \frac{[W_{д}(p) + W_{и}(p)] F_p(p)}{1 + W_p(p) [W_{д}(p) + W_{и}(p)]}. \quad (6)$$

Составляющая $\tilde{F}_p(t)$ устанавливает закономерность съема припуска, задаваемую от подсистемы управления, а составляющая $F_p(t)$ определяет формирование микрогеометрии поверхности. Из теории управления известно, что спектр сигнала на выходе ДС с частотной функцией $W(j\omega)$ связан со спектром входного сигнала соотношением

$$S_{ВЫХ}(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_{ВХ}(\omega). \quad (7)$$

В рассматриваемом случае предполагается, что $S_{ВХ}(\omega) = S_0$, тогда $S_{ВЫХ}(\omega)$ целиком определяется частотной функцией ДС и, следовательно, этот спектр содержится в регистрируемом сигнале, связанном с величиной $x_0(t)$. Передаточная функция ДС получается из формулы (6) в виде

$$W_{ДС}(p) = \frac{W_{д}(p) + W_{и}(p)}{1 + W_p(p) [W_{д}(p) + W_{и}(p)]}. \quad (8)$$

При выполнении условия (2) и справедливости формулы (4) из последнего выражения после ряда упрощений получаем

$$W_{ДС}(p) = \frac{h_{д} T_{и}^2 p^2 + 2 h_{д} \gamma_{и} T_{и} p + h_{д} + h_{и}}{T_{и}^2 p^2 + 2 \gamma T_{и} p + 1}, \quad (9)$$

где $\gamma = \gamma_{и} + 0,5 K_{РЕЗ} \tau_{д} (h_{д} + h_{и}) T_{и}^{-1}$.

Соответственно, выражение для $|W(j\omega)|^2$ получается из (9) в виде

$$|W(j\omega)|^2 = \frac{(h_{д} + h_{и} - h_{д} T_{и}^2 \omega^2)^2 + 4 h_{д}^2 \gamma_{и}^2 T_{и}^2 \omega^2}{(1 - T_{и}^2 \omega^2)^2 + 4 \gamma^2 T_{и}^2 \omega^2}. \quad (10)$$

Моделирование на компьютере в среде Matlab 5.3 позволило получить спектр процесса $x_0(t)$ при воздействии типа «белый шум» (рис. 3).

В реальных условиях эксплуатации на ДС могут воздействовать возмущения в различных диапазонах спектра, например, низкочастотное возмущение из-за дисбаланса круга. В этом случае моделирование осуществляется введением в формулу (9) дополнительной составляющей:

$$x_{0В}(p) = \frac{[W_{д}(p) + W_{и}(p)] F_p(p) + F_{иВ}(p) W_{и}(p)}{1 + W_p(p) [W_{д}(p) + W_{и}(p)]}. \quad (11)$$

Возмущение из-за дисбаланса круга описывается выражением

$$F_{IB}(t) = F_D \sin \omega_k t, \quad (12)$$

где ω_k – угловая частота вращения круга.

Вклад указанного возмущения в спектр частот колебаний проявляется в появлении составляющей на частоте ω_k , амплитуда которой зависит от величины дисбаланса (рис. 4).

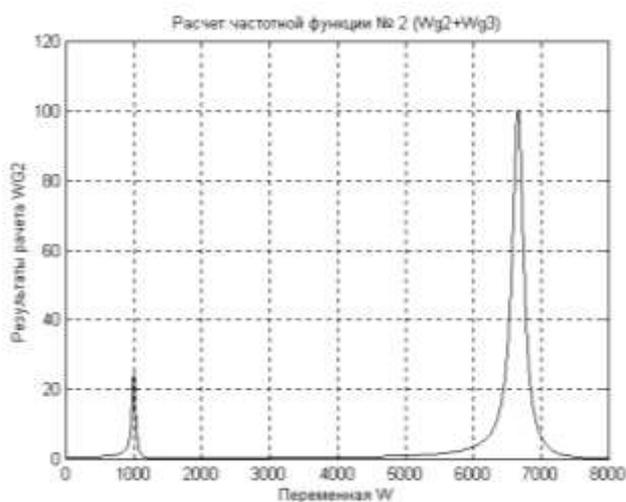


Рис.3. Спектр выходного процесса ДС при учете по одной существенной частоте ШУ инструмента и ШУ детали

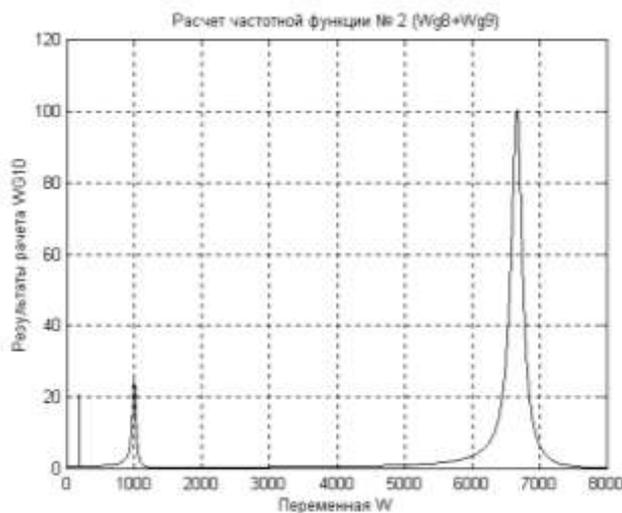


Рис.4. Спектр выходного процесса ДС при учете по одной существенной частоте ШУ инструмента и ШУ детали и возмущения от дисбаланса круга

Характер спектров соответствует экспериментальным данным, представленным в работе [6]. Реальная ДС станка содержит большое количество звеньев, чьи частоты колебаний необходимо учитывать при возбуждении сигналом типа «белый шум», поэтому регистрируемый спектр имеет более сложный состав. Следовательно, для оценки динамического состояния станка результаты измерений колебаний $x_0(t)$ и $x_{OB}(t)$ необходимо обрабатывать методами теории случайных процессов. При этом можно вычислить авто- и взаимные корреляционные функции (АКФ и ВКФ), авто- и взаимные спектральные функции (АСФ и ВСФ) [10].

Разработанная модель позволяет для конкретного станка рассчитать возможный спектр колебаний ДС для номинального состояния с учетом реальных частотных характеристик ШУ детали и ШУ инструмента, а затем сравнить его с измеренным спектром вибраций в условиях эксплуатации и на основе численных значений некоторых функционалов сделать вывод о динамическом состоянии шлифовального станка. Выбор информативных параметров связан с моделью формирования ВА колебаний. Для принятой стохастической модели такими параметрами могут быть спектральные и корреляционные функции, биспектры, кепстры, моментные функции, интегральные оценки спектров и корреляционных функций.

В качестве численных оценок динамического состояния целесообразно рассмотреть интегральные оценки от спектральных функций, причем предлагается использовать как АСФ, так и ВСФ колебаний основных узлов формообразующей подсистемы. Вид интегральной оценки, адекватно отображающей динамическое состояние и коррелированной с качеством обработанных деталей, определяется экспериментально.

На ОАО «Саратовский подшипниковый завод» при анализе качества обработки колец подшипников различных типов выполнены измерения ВА колебаний на круглошлифовальных автоматах модели SWaAGL-50. Для измерений использовались: два виброизмерителя

ВШВ-003М2 с датчиками ДН-3, осциллограф С1-55 и компьютер. Вибродатчики устанавливались с помощью магнитных опор на элементы конструкции станков, в частности, на узле крепления обрабатываемого кольца и ШУ инструмента. Сигналы датчиков регистрировались в режиме линейного усиления (диапазон частот 1...4000 Гц) или на октавных фильтрах, частоты которых соответствовали скорости вращения шпинделя круга. Результаты обрабатывались на компьютере в среде Matlab 5.3. Установлен характер изменения спектра ВА колебаний в процессе технологического цикла и выявлены наиболее информативные составляющие. Для подсистемы «инструмент-деталь» установлен информативный диапазон частот 1...2 кГц, связанный с процессом шлифования колец и используемый для управления режимом обработки. Большая амплитуда составляющей 30 Гц свидетельствует, например, о значительном дисбалансе круга на станке № 166 в отличие от станка № 436, у которого эта составляющая в пять раз ниже.

Помимо анализа уровня ВА колебаний станков, проводилось исследование волнистости и некруглости колец подшипников на кругломере Talyond-73 после предварительной обработки на станках модели ЛЗ и после окончательной обработки на станках модели SWaAGL-50 (см. таблицу).

Из таблицы видно, что у станка № 166 после окончательной обработки значение некруглости стало выше, а значение волнистости уменьшилось незначительно, что подтверждает вывод о несбалансированности шлифовального круга.

Для оценки физико-механических свойств поверхностного слоя дорожек качения колец использовалась автоматизированная установка вихретокового контроля [11]. Вихретоковые образы деталей с указанных станков показывают, что качество поверхностей качения коррелирует с результатами виброизмерений, так как погрешности обработки колец подшипников на станке № 436 выше, чем на станке № 166.

Точность обработки колец на станках модели SWaAGL-50

№ станка	Тип кольца	Волнистость, мкм		Некруглость, мкм	
		предварительная обработка	окончательная обработка	предварительная обработка	окончательная обработка
436	208.02	3,44	0,68	1,22	0,92
166	308.02	3,24	2,87	1,68	3,20

При анализе качества обработки колец шарикоподшипников выполнены измерения вибраций на четырех станках модели SWaAGL-50. В качестве информативных характеристик использовались уровень виброускорения на частоте вращения круга, общий уровень вибраций (ОУВ), спектры колебаний и интегральные оценки спектров (рис. 5,6).

Сопоставительный анализ динамических характеристик станков показал, что их уровень достаточно сильно влияет на качество дорожек качения. Данные с установки вихретокового контроля отражают различия в состоянии поверхностного слоя колец с дефектом и колец без дефектов и коррелируют с динамическим состоянием станков.

Проведенные исследования явились основой для разработки методики мониторинга процесса шлифования в рамках системы управления качеством продукции и способствовали реализации комплекса организационно-технических мероприятий, что позволило практически исключить прижоги на поверхностях качения колец подшипников.

На основании результатов измерений и идентификации динамических характеристик шлифовальных станков можно сделать следующие выводы:

1. Автоматизированный контроль уровня вибраций шлифовальных станков как элемент системы мониторинга технологического процесса обеспечивает получение достоверной информации о динамическом состоянии станков, существенно влияющем на качество обработки колец подшипников.

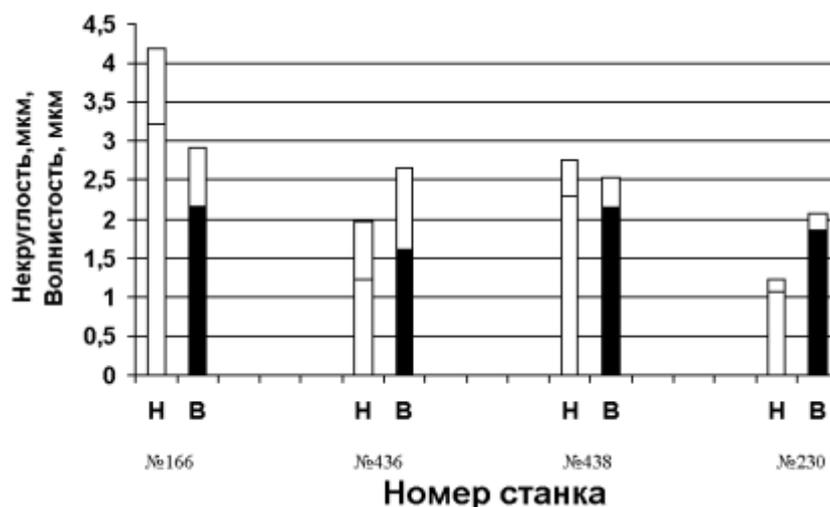


Рис. 5. Значения некруглости (Н) и волнистости (В) колец, обработанных на станках SWaAGL-50 (цветом в столбиках выделены минимальные и максимальные значения)

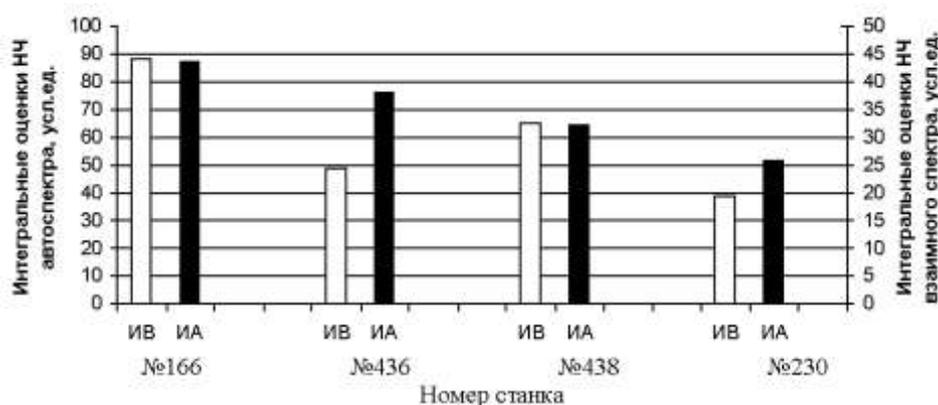


Рис. 6. Значения интегральных оценок низкочастотного спектра колебаний станков SWaAGL-50: ИА – интегральная оценка автоспектра колебаний опоры кольца, ИВ – интегральная оценка взаимного спектра колебаний опоры кольца и ШУ круга

2. Построенная модель частотной функции ДС станка, учитывающая динамические характеристики ШУ круга и ШУ детали, позволяет осуществить моделирование спектров процессов на выходе системы при условии воздействия силы резания со стохастическим компонентом типа «белый шум» и возмущающего гармонического воздействия от дисбаланса круга.

3. Для оценки динамического состояния в качестве информационных целесообразно использовать как детерминированные, так и стохастические характеристики колебаний основных формообразующих узлов, наиболее чувствительные к изменению их уровня и взаимосвязанные с параметрами качества обработки колец подшипников: без резания – уровень вибраций на ШУ круга на частоте вращения и ОУВ, при резании – интегральные оценки НЧ автоспектра вибраций опоры кольца и НЧ взаимного спектра вибраций опоры кольца и ШУ круга, коррелирующих, соответственно, с волнистостью и некруглостью.

4. Результаты измерений в производственных условиях ВА колебаний шлифовальных автоматов и качества деталей позволили обосновать целесообразность использования информации о динамическом состоянии станков для управления процессом резания и реализовать комплекс мероприятий по повышению качества обработки колец подшипников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
2. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков. Ч.1 / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, В.В. Мартынов. Саратов: Саратов. политехн. ин-т, 1992. 160 с.
3. Салениекс Н.К., Упитис Г.В. Мониторинг автоматизированного производства // Точность и надежность механических систем: Сб. науч. тр. Рига: Риж. политехн. ин-т, 1989. С.5-10.
4. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков и станочных систем // СТИН. 2000. № 9. С.12-20.
5. Бржозовский Б.М., Мартынов В.В. Динамический мониторинг гибких станочных модулей // Динамика технологических систем: Тр. VI Междунар. конф. Ростов-н/Д: ДГТУ, 2001. Т.2. С.220-223.
6. Добряков В.А., Игнатъев С.А., Горбунов В.В. Повышение качества обработки колец подшипников на основе оценки динамического состояния шлифовальных станков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С.85-88.
7. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 360 с.
8. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. М.: Машиностроение, 1975. 304 с.
9. Повышение надежности шлифования деталей подшипников путем мониторинга процесса и оборудования / А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, М.В. Виноградов, С.А. Игнатъев // Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин: Материалы Междунар. конф. М.: Машиностроение, 2003. Т.1. С.281-286.
10. Бржозовский Б.М., Игнатъев С.А. Модель динамической системы шлифовального станка с учетом стохастичности процессов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С.31-34.
11. Игнатъев А.А., Горбунов В.В., Чистяков А.М. Автоматизированная вихретоковая дефектоскопия деталей подшипников // СТИН. 2002. № 4. С.17-19.

Игнатъев Александр Анатольевич –

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического университета

Добряков Владимир Анатольевич –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического университета

Игнатъев Станислав Александрович –

кандидат технических наук,
ассистент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического университета

В.М. Таран, С.М. Лисовский, Н.В. Протасова, Н.А. Гусев

**ГИБКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ РЕСУРСОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Предложены алгоритм и математическая модель для адаптивного управления распределением ресурсов в процессе решения научно-технических задач проектирования.

V.M. Taran, S.M. Lisovsky, N.V. Protasova, N.A. Gusev

**FLEXIBLE CONTROL SYSTEM OF DISTRIBUTION OF RESOURCES
FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS SOLUTIONS**

The algorithm and mathematical model for adaptive management of distribution of resources at the process of scientific and technical problems solutions are offered in this paper.

Повышение эффективности процесса проектирования технических систем в первую очередь связано с совершенствованием методов управления ресурсами, необходимыми для решения проектных задач.

Необходимость данного подхода обусловлена, с одной стороны, усилением возмущающих воздействий на процесс проектирования, а с другой – все более жесткими требованиями к качеству проектной продукции и сроком выполнения проектных работ. Среди наиболее существенных возмущающих факторов можно выделить объективно возникающие изменения целей, задач и критериев в процессе решения научно-технической проблемы, а также нечеткость информационного потока, поступающего в распоряжение проектировщика для решения проектных задач. Очевидно, что внешняя среда в условиях рыночных отношений предъявляет высокие требования к качеству научной продукции, срокам выполнения проектных работ и эффективности использования выделенных ресурсов.

Традиционный способ распределения ресурсов для решения проектных задач состоит в одноразовом выделении ресурсов на весь цикл решения проектной задачи.

При этом управление процессом проектирования осуществляет административный орган, который решает организационно-плановые и ресурсные задачи процесса проектирования. Проектировщик, решающий научно-технические задачи, как правило, в процессе распределения ресурсов не участвует.

Однако одноразовое распределение ресурсов на весь цикл решения проектных задач не обеспечивает объективных оценочных характеристик для эффективного управления процессом проектирования. При наличии возмущающих воздействий необходимо многократное гибкое (адаптивное) распределение ресурсов на протяжении решения проектной задачи, обеспечивающее оптимальный результат такого распределения.

В работе предлагается рассматривать задачу гибкого управления процессом распределения ресурсов как задачу, конечная цель которой достигается через ряд промежуточных целей (частных проектных задач) в соответствии с этапностью их выполнения. При этом распределение ресурсов на этапах проектирования выполняется человеко-машинной системой, включающей проектировщика и ЭВМ.

Под проектировщиком понимается специалист или группа специалистов, занятых решением проектных задач.

Задачу распределения ресурсов по этапам представим в виде следующего алгоритма:

1. Производится декомпозиция глобальной задачи на частные задачи (ЧЗ) и деление на этапы (τ) (рис. 1).

Декомпозицию глобальной задачи на частные задачи и деление общего периода решения задачи на этапы проектировщик выполняет исходя из своего опыта, а также с учетом необходимости моделировать этот опыт на ЭВМ.

2. В процессе решения глобальных задач проектировщик формирует информационно-справочные модели (рис.2) и логические экспертные высказывания о признаках решаемых частных задач и величинах ресурсов, необходимых для решения этих задач.

ЧЗ1							
ЧЗ2							
ЧЗ3							
ЧЗ4							
ЧЗ5							
ЧЗ6							
ЧЗ7							
ЭТАП (τ)	1	2	3	4	5	6	7

Рис. 1. Схема декомпозиции частных задач

3. Реализация пунктов 1, 2 позволяет проектировщику создать базу знаний для распределения ресурсов. В процессе решения текущей глобальной задачи при помощи логических операторов среди ранее сформированных логических экспертных высказываний отыскиваются такие, у которых величины признаков наиболее близки решаемой задаче. Эти высказывания считаются эталонными для решаемых задач.

4. На первом этапе решения частных задач величины ресурсов для их решения назначаются на основании данных эталонных высказываний.

5. На каждом последующем этапе производится пересчет назначенных на предыдущем этапе ресурсов по всем оставшимся этапам решения глобальной задачи. При этом учитываются возможные изменения представлений проектировщика о признаках решаемой задачи, а также статистические данные по ресурсам.

Ниже излагается математическая постановка задачи гибкого управления ресурсами для реализации предложенного алгоритма в человеко-машинной системе.

Множество видов ресурсов для решения научно-технических задач обозначим

$$R = \{R_i\}, i = \overline{1,4}, \quad (1)$$

где R_1 – кадровый ресурс; R_2 – информационный ресурс; R_3 – финансовый ресурс; R_4 – материально-технический ресурс.

Позиции	Справочник С1 Цели решения проектных задач
П1	Изучение физико-химических явлений
П2	Определение существенных факторов явлений
П3	Проверка соответствия между факторами
П4	Изучение вероятностных распределений между факторами
П5	Получение функциональных зависимостей
П6	Изучение (анализ) поведения функциональных зависимостей
П7	Получение числовых значений факторов
П8	Разработка технологических процессов
П9	Оптимизация технологических процессов
П10	Совершенствование технологического оборудования и его систем
П11	Автоматизация технологий и оборудования
П12	Совершенствование методов проектирования
	Справочник С2 Методы решения проектных задач
П1	Математическое моделирование
П2	Экспериментальные исследования
П3	Экспертные методы
П4	Комбинирование
	Справочник С3 Признаки задач относительно ресурсных затрат по ее решению
П1	Сложность
П2	Трудоемкость
П3	Срочность
П4	Важность

Рис. 2. Информационно-справочные модели

Балансовую модель распределения ресурсов по этапам решаемых задач представим в следующем виде

$$R_i^{ocm} = R_i^{nl} - \sum_{\tau=1}^k r_{ij}(\tau), \quad (2)$$

где R_i^{nl} – плановый ресурс i -го типа, выделенный административным органом на решение глобальной научно-технической задачи; R_i^{ocm} – остаточный ресурс i -го типа после выполнения работ на K -м этапе; $r_{ij}(\tau) = \sum_{j=1}^b Z_{ij}(\tau)$ – расчетная величина реально израсходованного ресурса i -го типа на этапе τ ; $Z_{ij}(\tau)$ – затратная статья j -го типа для i -го ресурса на этапе τ ; b – количество затрат статей ресурса.

Сформируем нечеткую модель распределения ресурсов на основе нечеткой информации проектировщика

$$R_i^{ocm}(\tau) \rightarrow \tilde{L} \cup A, \quad (3)$$

где $\tilde{L} = \{\tilde{L}_i\}$, $i = \overline{1, n}$ – множество логических высказываний проектировщика относительно признаков решаемых научно-технических задач, их оцифровки и ресурсов для их решения; A – информация, необходимая для распределения ресурсов; « \rightarrow » – символ отношений между ресурсами и информационной моделью.

Информацию для формирования логических высказываний проектировщика представим формулой

$$A = (\tilde{A}_1 \rightarrow \tilde{A}_2), \quad (4)$$

где $\tilde{A}_1 = (X_1, \tilde{F}_1)$ – входная информация нечеткой модели; $\tilde{A}_2 = (X_2, \tilde{F}_2)$ – выходная информация нечеткой модели; $X_1 = \{P_n\}$, $n = \overline{1, K} \in \{C_m\}$, $m = \overline{1, l}$ – шкала наименований признаков; $\tilde{F}_1 = \{\mu(X_1)\}$ – множество функций принадлежности для оцифровки признаков задач; $X_2 = \{P_j\}$, $j = \overline{1, n} \in \{C_l\}$, $l = \overline{1, K}$ – множество наименований ресурсов; $\tilde{F}_2 = \{\mu(X_2), r(X_2), R(X_2)\}$ – множество шкал ресурсов; $\mu(X_2)=[0 \div 1]$ – шкала функции принадлежности для оцифровки ресурсов; $r(X_2)=[0 \div 100]$ – шкала ресурсов в условных единицах (у.е.); $R(X_2)$ – шкала ресурсов в абсолютных величинах.

Логические экспертные высказывания представим в виде:

Если <наименование задачи> И
 $\langle P_n(C_m) = \mu_1(X_1) \rangle$ И $\langle P_k(C_l) = \mu_2(X_1) \rangle$ И ...
 то <ресурсы $r_1(X_2), r_2(X_2), r_3(X_2), r_4(X_2)$ >.

где $P_n(C_m)$, $P_k(C_l)$ – множество признаков решаемых задач, формируемых на основе информационно-справочных моделей C_m , C_l и др.

На основе логических экспертных высказываний формируется база знаний, содержащая эталонные правила распределения ресурсов.

Применение логического оператора нечеткого включения дает возможность отыскать среди эталонных правил аналоги для текущих решаемых задач и по данным аналогов обоснованно распределить ресурсы

$$O(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \wedge [\mu_{A_2}(X_1) \rightarrow \mu_{A_2}(X_2)] > t_{nop}, \quad (5)$$

где $\mu_{A_1}(X_1), \mu_{A_2}(X_2)$ – функции принадлежности нечетких множеств \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 ; « \rightarrow » – знак импликации, определяется согласно логике Лукасевича, как

$\mu_{A_1}(X) \rightarrow \mu_{A_2}(X) = 1 \cup (1 - \mu_{A_1}(X) + \mu_{A_2}(X))$, или согласно логике Заде в виде

$\mu_{A_1}(X) \rightarrow \mu_{A_2}(X) = (1 - \mu_{A_1}(X)) \vee \mu_{A_2}(X)$; t_{nop} – пороговый критерий.

Рассмотрим математическую модель оптимизации процедуры распределения ресурсов по этапам решаемой глобальной задачи. В качестве целевой функции будем рассматривать достоверность распределения ресурсов на отдельных этапах решаемых задач. Под достоверностью $D[R_i(\tau)]$ будем понимать вероятность правильного распределения ресурсов на i -м этапе решения проектной задачи

$$D[R_i(\tau)] \rightarrow \max. \quad (6)$$

В соответствии с вероятностным подходом достоверность распределения ресурсов будем оценивать по формуле Байеса, в которой учитываются априорная составляющая вероятности, полученная на основании предыдущего опыта проектировщика, и апостериорная – полученная в результате эксперимента на каждом этапе распределения ресурсов

$$D[R_i(\tau)] = P\left[\frac{H_i}{A(\tau)}\right] = \frac{P(H_i) P\left[\frac{A(\tau)}{H_i}\right]}{\sum_{i=1}^4 P(H_i) P\left[\frac{A(\tau)}{H_i}\right]}, \quad (7)$$

где H_i – гипотеза о достоверности распределения i -го ресурса; $P(H_i)$ – априорная вероятность достоверности распределения i -го ресурса; $A(\tau)$ – событие, состоящее в окончании работ, связанных с решением задач на этапе τ ; $P[H_i/A(\tau)]$ – апостериорные вероятности распределения ресурсов; $P[A(\tau)/H_i]$ – условные вероятности события $A(\tau)$.

Условную вероятность $P[A(\tau)/H_i]$ предлагается определять по следующей формуле

$$P\left[\frac{A(\tau)}{H_i}\right] = \frac{\left| \tilde{r}(\tau) - r(\tau) \right|}{\max \left[\tilde{r}(\tau), r(\tau) \right]}. \quad (8)$$

В процессе решения научно-технических задач проектировщик должен, с одной стороны, добиваться достоверного распределения ресурсов по этапам, а с другой – оценивать достаточность остаточных ресурсов для выполнения работ на всех оставшихся этапах. При этом необходимо учитывать, что научно-технические задачи решаются всегда в условиях неопределенности, а на неопределенность надо выделять дополнительный ресурс. Правда, этот дополнительный ресурс может остаться неиспользованным, но для гарантированного решения задачи он должен учитываться.

Расчет дополнительного ресурса на неопределенность предлагается проводить по статистической формуле доверительной вероятности

$$\Delta R_i^{ocm} = \left[m(R_i) - t_\alpha \sqrt{\frac{d(R_i)}{\tau}} \right]; \quad (9)$$

$$m(R_i) = \sum_{\tau=1}^{\tau} \frac{\tilde{r}_i(\tau)}{\tau}; \quad (10)$$

$$d(R_i) = \frac{\sum_{\tau=1}^{\tau} [\tilde{r}_i(\tau) - m(R_i)]^2}{\tau - 1}, \quad (11)$$

где $m(R_i)$ – оценка математического ожидания случайной величины R_i ; $d(R_i)$ – оценка дисперсии случайной величины R_i ; t_α – табличное значение для заданного уровня вероятности α .

Предложенные алгоритмы и математическая модель позволяют проектировщику при помощи ЭВМ гибко (адаптивно) управлять процессом распределения ресурсов в течение всего периода решения научно-технических задач, что обеспечивает повышение качества и увеличение производительности проектных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран В.М. Адаптивное управление процессами вакуумно-плазменной обработки // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С.129-131.
2. Малышев Н.Г., Мицук Н.В. Основы оптимального управления процессами автоматизированного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 1990. 224 с.
3. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 376 с.

Таран Владимир Маркович –

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

Лисовский Сергей Михайлович –

кандидат технических наук, профессор,
заместитель председателя правительства Саратовской области

Протасова Наталья Владимировна –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»
Саратовского государственного технического университета

Гусев Николай Александрович –

аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»
Саратовского государственного технического университета

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 666.1.01

В.А. Гороховский, Ю.Г. Саксонова, Г.Ф. Повитков

О МИКРОТВЁРДОСТИ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Предложена методика использования такого параметра листового стекла как микротвёрдость его поверхностей, для сравнения условий выработки стекла. Установлено, что методика достаточно полно отражает изменения технологического процесса и может использоваться в системе управления качеством при производстве листового строительного стекла.

V.A. Gorokhovsky, Y.G. Saksonova, G.F. Povitkov

MICROHARDNESS OF SHEET GLASS

This paper describes the procedure of using such a parameter of sheet glass as microhardness of its surfaces needed for comparison with conditions of manufacturing glass. It's determined that the change of the technological process is representatively reflected with this procedure and can be used in control qualitative system in manufacturing sheet glass for construction.

Проблемы управления качеством производимой продукции становятся всё более актуальными и для производства строительных материалов. Важным является расширение контролируемых параметров. Для этого привлекают известные методы оценки свойств, создают новые. Другой стороной управления качеством продукции является использование статистических методов анализа и регулирования [1].

Цель данной работы – оценить качество листового стекла, выработанного в разных технологических условиях, с помощью прибора для измерения микротвёрдости ПМТ-3 и такого метода статистического анализа как сравнение выборок.

Микротвёрдость определялась на образцах шириной 50-100 и длиной 80-120 мм. На образце выбирались произвольно 2-3 участка, на каждом из которых производились 8 уколов по одной линии через 2 мм, а затем – также 8 в перпендикулярном направлении. Нагрузка на иглу изменялась по условиям исследований от 20 до 100 г. Время приложения нагрузки всегда одинаковое – 8 секунд.

Для используемого прибора нами ранее была рассчитана зависимость

$$M = \frac{J \cdot P}{D^2},$$

где M – микротвёрдость, ГПа; $J=412,279$ – константа прибора; P – нагрузка на иглу в граммах; D – деления барабана измерительного микроскопа.

В одном из исследований сравнивались две группы образцов: в первой – 1) правая сторона ленты (после отбортовки), 2) середина, 3) левая сторона ленты; соответственно во второй группе – 4) правая сторона, 5) середина, 6) левая сторона ленты. Микротвёрдость измерялась на верхней стороне ленты – (в) и нижней стороне – (н). Нагрузка составляла 50 г. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика сравниваемых групп образцов (в ГПа)

№ образца	Среднее, \bar{X}	Размах, R	Стандартное отклонение, S
1 в	4,42	3,71 – 4,80	0,180
1 н	4,04	3,76 – 4,52	0,110
2 в	4,35	3,97 – 4,66	0,102
2 н	4,45	3,87 – 5,19	0,220
3 в	4,56	4,21 – 4,88	0,100
3 н	4,65	4,21 – 5,19	0,147
4 в	5,22	4,39 – 5,82	0,213
4 н	5,25	4,73 – 5,82	0,148
5 в	5,23	4,80 – 6,13	0,213
5 н	5,63	4,39 – 6,34	0,296
6 в	4,06	3,81 – 4,66	0,200
6 н	4,73	4,03 – 5,19	0,179

Проведено сравнение выборок (измерений на каждом образце): сначала по дисперсиям (с помощью F -критерия – частного несмещённых оценок дисперсий), затем по средним значениям (с помощью t -критерия) [2]. Результаты расчётов представлены в табл. 2. Дисперсии сравниваемых выборок оказались все равны.

Из табл. 2 видно: какие стороны и каких образцов имеют равные средние значения микротвёрдости $\bar{X} =$ или соответственно неравные $\bar{X} \neq$.

Определялись средние значения микротвёрдости верхней и нижней поверхностей по образцам и по группам образцов, а также по участкам ленты стекла.

Было установлено:

В первой группе образцов микротвёрдость верхней и нижней поверхностей одинакова ($в=н$); во второй – микротвёрдость нижней поверхности больше, чем у верхней ($н>в$).

Во второй группе образцов общая микротвёрдость ($в+н$) больше, чем у образцов первой группы.

И в первой, и во второй группах микротвёрдость левой стороны меньше, чем у правой стороны.

Микротвёрдость образцов из середины ленты во второй группе больше, чем у образцов в первой группе. Причём эта разница больше, чем разница по сторонам ленты.

Таблица 2

Результаты сравнения групп образцов

№ обр.	1 в	1 н	2 в	2 н	3 в	3 н	4 в	4 н	5 в	5 н	6 в	6 н
1 в		$\bar{X} \neq$										
1 н												
2 в				$\bar{X} =$								
2 н												
3 в						$\bar{X} =$						
3 н												
4 в	$\bar{X} \neq$							$\bar{X} =$				
4 н		$\bar{X} \neq$										
5 в			$\bar{X} \neq$							$\bar{X} =$		
5 н				$\bar{X} \neq$								
6 в					$\bar{X} \neq$							$\bar{X} \neq$
6 н						$\bar{X} =$						

В следующем исследовании оценивалась микротвёрдость только нижней поверхности, но зато более глубоких слоёв ленты стекла. Для этого применили нагрузку в 100 г. Образцы отбирались в разные дни. Результаты измерений сведены в табл. 3.

Таблица 3

Оценка микротвёрдости при повышенной нагрузке (100 г)

№ образца	М, ГПа	№ образца	М, ГПа
1	5,497	5	4,787
2	4,967	6	4,957
3	6,253	7	5,034
4	5,829	8	4,978

Установленная разница в микротвёрдости образцов свидетельствует о существенном влиянии тех технологических изменений процесса, при которых отбирались данные образцы стекла.

Вторая часть этого исследования заключалась в оценке «хрупкости» стекла. На каждом образце проводилась серия измерений при разной нагрузке (нарастающей от 25 г) до тех пор, пока в углах отпечатка иглы не появлялась микротрещина. Результаты представлены в табл. 4. Если трещинка была нечёткой, результат фиксировался как (тр.?) и соответственно при чёткой трещинке – (тр.!).

Вариант оценки качества стекла через его «хрупкость» представляется нам недостаточно точным и показательным.

Таблица 4

Результаты исследования «хрупкости» образцов стекла

№ обр.	Нагрузка, г	M, ГПа	№ обр.	Нагрузка, г	M, ГПа
9	25	4,38	11	50	4,21
	30	4,85		55	4,43
	35	4,14		60 (тр.?)	4,39
	40	4,99		65 (тр.!)	4,52
	45	4,83		70 (тр.!!)	4,87
	50	3,81	12	45	4,01
	55	4,50		50 (тр.?)	4,52
	60 (тр.?)	4,40		55 (тр.!)	4,03
	65 (тр.!)	4,83	13	40	3,90
10	50	4,59		45 (тр.?)	4,01
	55	4,90		50 (тр.!)	4,52
	60 (тр.?)	4,71	14	40	4,52
	65 (тр.!)	4,46		45 (тр.?)	4,46
				50 (тр.!)	4,27

Проведённые исследования подтверждают известный вывод об оценке микротвёрдости с помощью прибора ПМТ-3, как о структурно чувствительном методе. Кроме того, они показывают, что среднее значение микротвёрдости, определяемое на участке площадью в 1,5-2 см² при 15-16 «уколах», является достаточно представительным лабораторным показателем, хорошо отражает изменение технологических параметров и может эффективно использоваться в системе управления качеством листового строительного стекла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ: Учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М; Новосибирск: Сибирское соглашение, 2002. 241 с.
2. Кнотек М., Войта Р., Шефц Й. Анализ металлургических процессов методами математической статистики: Пер. с чеш. М.: Металлургия, 1968. 211 с.

Гороховский Владилен Александрович –

доктор технических наук,
профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций»
Саратовского государственного технического университета

Саксонова Юлия Геннадьевна –

соискатель учёной степени кандидата технических наук,
менеджер СКБ строительных конструкций ОАО «Саратовский институт стекла»

Повитков Геннадий Фёдорович –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций»
Саратовского государственного технического университета

ГУМАНИТАРНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

УДК 316.42

О.Н. Долинина

СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ

Компьютерные технологии значительно изменили все сферы человеческой деятельности. В статье рассматриваются социальные аспекты применения современных информационных технологий в управлении. Компьютерные технологии, в том числе Интернет, оказывают влияние на формирование новых инфраструктур управления, мотивацию персонала. Отдельно рассматриваются вопросы управления ИТ-персоналом, приводится сравнительный анализ мотивации сотрудников ИТ-служб.

O.N. Dolinina

SOCIAL ASPECTS OF USING INFORMATION TECHNOLOGIES IN MANAGEMENT

Computer technologies have greatly changed all spheres of human activities. Here are considered social aspects of using IT in management. Computer technologies, including Internet, influenced creation of new management infrastructure, staff motivation. The problems of IT-staff management and comparative analysis of IT- personnel are also given here.

Проблема организации и становления современного информационного общества на основе доступных и эффективных технологий электронной коммуникации в настоящее время является одной из актуальных тем отечественных социологических исследований. Окружающая повседневность показывает, насколько сильно в нашу жизнь проникает все, что связано с информационными технологиями: компьютеры, базы данных, образовательные компьютерные программы, Интернет, компьютерные игры. Информационные технологии не только являются технологическим феноменом, но и отражают структуру социальных процессов и одновременно влияют на эти процессы. Процессы объединения человечества в едином информационном пространстве, формирование нового общественного устройства, фундаментом которого является

информационная инфраструктура, а основным ресурсом – информация, не позволяют относиться к проблеме отечественной информатизации как к второстепенной.

Сегодня уже не подвергается сомнению, что внедрение информационных технологий (ИТ) в управление значительно повышает эффективность управления. Наша страна уже миновала этап «первоначального накопления компьютерной техники» и активно вошла в следующую стадию: автоматизации информационных процессов. В практике управления в последние годы наблюдаются значительные изменения. Длительное время управленческие усилия были направлены на процессы оптимизирования, администрирования, системного анализа различных ситуаций в организациях. Считалось, что правильно выстроенные процессы управления практически исключают возможность совершения крупных ошибок. Однако в настоящий момент возросли объемы информации, перерабатываемой организациями, требования к скорости и качеству ее обработки, и в результате прежние управленческие подходы оказались недостаточно эффективны. Уровень менеджмента в некой критической точке принятия решения из важного фактора успеха организации превратился в определяющий [1, с.21].

Современный уровень информатизации бизнеса предопределяет использование новейших технических и программных средств в различных социально-экономических системах. Сегодня предприятия ориентируются на разработку и внедрение комплексных информационных систем (КИС), которые представляют собой совокупность программных и аппаратных средств, предназначенных для хранения и/или управления данными и информацией для производства вычислений [2]. Создание и функционирование систем в управлении экономикой связаны с развитием информационной технологии, которая является главной составляющей автоматизированной информационной системы. Интегрированные информационные системы создаются с учетом того, что они должны осуществлять согласованное управление данными в пределах предприятия (организации), координировать работу отдельных подразделений, автоматизировать операции по обмену информацией как в пределах отдельных групп пользователей, так и между несколькими организациями, отстоящими друг от друга на десятки и сотни километров. Основой для построения подобных систем служат распределенные вычислительные сети, характерной чертой которых является предоставление возможности пользователям работать в универсальной информационной среде с функциями коллективного доступа к данным.

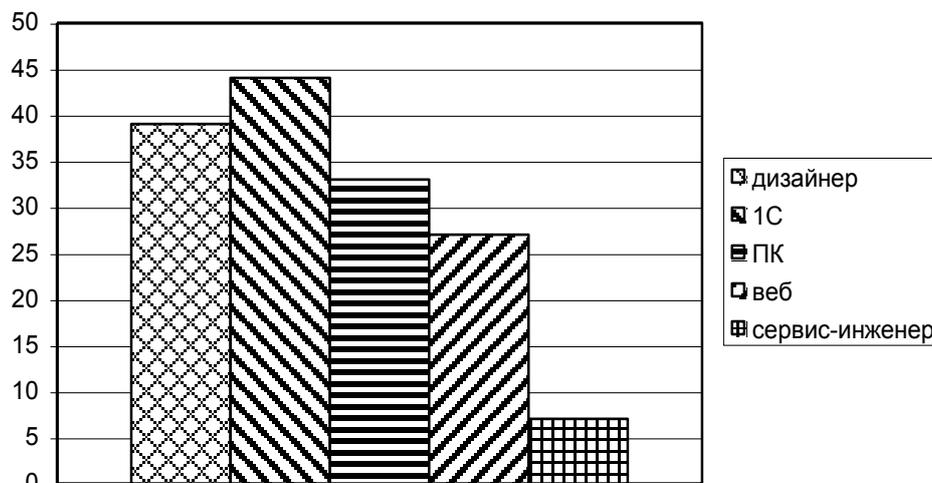
В зависимости от степени централизации вычислительных ресурсов роль пользователя и его функции меняются. При централизованных формах, когда у пользователя нет непосредственного контакта с ЭВМ, его роль сводится к передаче исходных данных на обработку, получению результатов, выявлению и устранению ошибок. При непосредственном общении пользователя с ЭВМ его функции в информационной технологии расширяются. Он сам вводит данные, формирует информационную базу, решает задачи, получает результаты, оценивает их качество. У пользователя открываются реальные возможности решать задачи с альтернативными вариантами, анализировать и выбирать с помощью системы в конкретных условиях наиболее приемлемый вариант и все это реализуется в пределах одного рабочего места [3].

Однако, предприятие, ориентирующееся на внедрение комплексных информационных систем, то есть рассматривающее ИТ не только как средство повышения производительности, но и как основную идеологию, рано или поздно встает перед проблемой управления непосредственно ИТ-персоналом. Директорам информационных служб сегодня нередко предлагают места в совете директоров компаний, тем самым определяя приоритетное отношение ко всем процессам информатизации компании. Информационную службу предприятия относят к числу подразделений, деятельность которых не связана непосредственно с получением доходов. Однако это подразделение необходимо для решения основных задач предприятия, поскольку оно либо непосредственно разрабатывает информационные системы, либо обеспечивает поддержку реализации проектов при их выполнении, либо выполняет

все функции, касающиеся разработки и внедрения ИТ-проектов. Работники этой службы – прежде всего ответственные исполнители внутреннего заказа функциональных подразделений. В то же время они должны обладать неординарными способностями для эффективного выполнения своих обязанностей. Это определяет необходимость учитывать в управлении персоналом как особенности функциональных обязанностей информационной службы, так и социально-психологические особенности ее работников [4].

Говоря о мотивации сотрудников информационной службы, надо иметь в виду, что речь идет о достаточно немногочисленной группе работников, в руках которых сосредоточено большое количество разнородных функций, то есть эти специалисты должны обладать универсальными способностями выполнять эти функции, причем выполнять регулярно. Отметим, что по сравнению с прошлым десятилетием значительно изменилось отношение наемных работников к ценностям своего предприятия. Ослабла их готовность поддерживать свою организацию. Это проявляется в зафиксированном российской индустриальной социологией падении мотивации труда. Таким образом, проблема мотивации очень сложна, и было бы ошибкой рассчитывать, что ее можно решить лишь за счет нестандартных приемов менеджеров, стремящихся пробудить у сотрудников заинтересованность в работе. Рассмотрим данные социологических исследований персонала компании, являющейся одним из крупнейших в РФ системных интеграторов, проведенных издательством «Открытые системы» [5]. Основным мотивом для работников компании является достижение признания и уважения. На втором месте – обеспечение будущего, то есть мотив, связанный с материальным обеспечением, профессиональным развитием, повышением уровня мастерства и компетентности. На последнем месте у опрошенных сотрудников – стремление избежать неприятностей, что свидетельствует о наличии мотива достижения успеха. Большое влияние на продуктивность и качество работы ИТ-персонала оказывает осознание смысла и важности реализуемых проектов. Можно отметить высокий уровень стремления работников компании к свободе и независимости. Об этом свидетельствует желание принимать участие в выборе проекта и недовольство, если их включение в проектную группу осуществляется без согласования с ними. Проведенный автором социологический опрос сотрудников ИТ-предприятий Саратовского региона, а также сотрудников информационных или компьютерных служб предприятий другого профиля показал, что имеется различие лишь в определении первых двух видов мотивации: для нашего региона на первом месте – получение высокого стабильного дохода, то есть материальное обеспечение, на втором, соответственно, повышение профессионализма. По данным опроса 500 учащихся международного образовательного центра (МОЦ) АРТЕСН Саратовского государственного технического университета (СГТУ), пришедших для получения профессионального ИТ-образования, являющегося вторым образованием у 95% учащихся, этот же мотив преобладает и у респондентов, чей возраст лежит в диапазоне 18-30 лет, для более старшей возрастной группы, уже имеющей значительный практический опыт, на первое место выходит мотив, связанный с карьерным ростом и, соответственно, достижением признания и уважения. Для сравнения, по данным подобного опроса, проведенного в 1999 году, первое место среди видов мотивации занимал страх быть уволенным в связи с отсутствием навыков работы за компьютером. Причем только 10% женщин по всем возрастным группам на первое место в желании получить ИТ-образование поставили получение признания, для 80% основным мотивом была возможность повысить свой материальный доход, для 10 оставшихся процентов – желание самореализации. Среди 150 безработных, пришедших на профессиональную переподготовку в МОЦ АРТЕСН по направлению центров занятости населения, 145 человек определили основной мотив выбора ИТ-специальности как возможность повысить свой материальный уровень на будущей работе после окончания обучения. Рейтинг выбираемых безработными специальностей и специализаций представлен на рисунке. Условные обозначения: дизайнер – дизайнер компьютерной графики, 1С – специалист по 1С бухгалтерии, ПК – пользователь персонального

компьютера, веб – специалист по разработке Интернет-приложений, сервис-инженер – сервис-инженер по обслуживанию и ремонту персональных компьютеров и офисной техники.



Рейтинг специальностей ИТ-направления, выбираемых безработными в 2000-2003 гг.

По данным опроса поступающих в СГТУ (возраст 16-18 лет) для получения высшего образования на ИТ-специальности: «Информационные системы и технологии», «Программное обеспечение вычислительных систем», «Прикладная информатика», проведенного в 2002, 2003 гг., основным мотивом выбора специальности также является возможность высокого стабильного дохода после окончания обучения.

Переход к информационному обществу накладывает особый отпечаток на структурирование регионального пространства – на смену иерархии территорий приходит так называемая «сетевая организация». По мнению Мануэля Кастельса, сетевые структуры являются одновременно и средством и результатом глобализации общества [6, с.15]. В условиях масштабных трансформаций социальных и экономических отношений актуализируется необходимость повышения эффективности управленческих решений в сфере труда и менеджмента современных российских организаций, повышается роль информационных технологий.

Проблемы, которые предстоит решать новой генерации менеджеров, уже сейчас могут быть осознаны как ориентиры для обучения и создания обучающих программ. Неоднократная смена карьеры, занятие «новых ниш», регулирование собственных навыков и умений – к этим процессам должен быть готов менеджер уже сегодня. Знание реальных нужд организации и потребителей, участие в бизнес-процессах, а не только в управленческой (распорядительно-контролирующей) деятельности, потребует изменения менеджерских компетенций. Эти изменения могут быть охарактеризованы следующим образом: от специализации – к комплексу умений и навыков; от специфичных производственных процессов – к клиент/сервис-ориентированному процессу; от иерархической структуры – к вертикальной конвергенции; от копирования – к управляемым инновациям [7, с.3].

Еще одной ключевой компетенцией менеджера нового столетия становится умение работать в сфере электронной коммерции, в электронном бизнесе. В первом приближении под электронной коммерцией понимается ведение дел с потребителями с помощью электронных средств. Перевод внутрифирменных процессов на сетевую основу (интранет) дает возможность сотрудникам любой организации лучше использовать накопленную базу данных, осуществлять активный обмен знаниями со своими коллегами и более эффективно выполнять свои обязанности. Экстранет – операции с партнерами с помощью электронных

средств, – дает возможность оптимизировать сотрудничество, позволяет снизить издержки и повысить эффективность.

Уровень информатизации российского общества, несмотря на высокие темпы роста, все же отстает от развитых стран. В настоящий момент Россия находится в четвертом десятке стран с очень серьезным количественным отставанием от лидеров по основным показателям информационного общества [8, с.39]. Отметим, что отставание в распространении Интернета может серьезно сказаться на производительности и конкурентоспособности российской экономики, а также на качестве образования и обработке информации. Компания Intel заказала Comcon исследование рыночного потенциала информационных технологий. Исследователи опросили менеджеров по информационным системам в различных секторах российской экономики, включая финансы, информационные технологии и телекоммуникации. Согласно результатам исследования, был выявлен факт того, что устаревшее компьютерное оборудование существенно затрудняет работу менеджеров и снижает производительность работников. 80% российских менеджеров по информационной технологии выразили недовольство по поводу траты значительного количества времени из-за низкой работоспособности компьютеров. 88% менеджеров считают Интернет очень важным инструментом для работы, повышающим конкурентоспособность компании; однако, при этом они отмечали единичное и неэффективное использование Интернета на своих фирмах. 85% менеджеров утверждали, что имеют доступ в Интернет, однако 84% считали, что используют его неэффективно. Треть опрошенных менеджеров отметили в качестве основного фактора, препятствующего более эффективному использованию Интернета, низкую скорость подключения и передачи информации. Хотя 82% респондентов считали Интернет-сайт важным активом компании, только 50% сообщили о наличии Интернет-сайта у своих фирм. Другими словами, хотя российские менеджеры по информационным системам кажутся осведомленными о потенциале Интернета и проявляют желание использовать его, несовершенные телекоммуникации, отсутствие обучения персонала и устаревшие структуры компаний, по видимому, мешают потенциальному росту производительности, который может принести Интернет [9].

Развитие рыночных отношений привело к появлению новых видов предпринимательской деятельности, и прежде всего, к созданию фирм, занятых информационным бизнесом, разработкой информационных технологий, их совершенствованием, распространением компонентов информационных систем. На российском рынке появилось несколько десятков видов новых услуг сотовой, пейджинговой и транковой связи, сетей передачи данных и мультимедиа, цифрового спутникового вещания, созданы цифровые линии волоконно-оптической связи, замкнувшие мировое телекоммуникационное кольцо через Россию. Эти процессы способствовали быстрому распространению и эффективному использованию информационных технологий в управленческих и производственных процессах, практически к повсеместному их применению и большому многообразию.

Новая информационная технология основывается на применении компьютеров при активном участии пользователей-непрофессионалов в области программирования в информационном процессе, высоком уровне удобного пользовательского интерфейса (способа общения с вычислительной системой), широком использовании пакетов прикладных программ общего и проблемного назначения, доступе пользователя к удаленным базам данных и программам благодаря вычислительным сетям ЭВМ.

Об автоматизации деятельности по управлению персоналом в России начали говорить сравнительно недавно. Последние пять лет производители программного обеспечения начали в массовом порядке переориентироваться с систем кадрового учета на системы управления персоналом. Пользователю стали предлагаться все новые и новые средства из хорошо проработанного за рубежом арсенала «human resources management» [10, с.61].

Распространение в различных сферах человеческой деятельности персональных компьютеров позволяет сформировать прочную технологическую базу по автоматизации системы управления персоналом. Служба управления персоналом, являясь неотъемлемой частью единого процесса управления предприятием, призвана вносить значительный вклад в улучшение результативности деятельности предприятия в целом. Однако в начале третьего тысячелетия, в век Интернета и мобильных технологий, электронных цифровых подписей встречаются организации и предприятия, специалисты управления персоналом которых по-прежнему занимаются ручной, неавтоматизированной обработкой бумажных документов. Сегодня всевозрастающие требования к оперативности, повышению качества выполнения поставленных перед службой управления персоналом задач, с одной стороны, и степень готовности службы к нововведениям, связанным с массовой компьютеризацией, – с другой, приводят к необходимости обучения работе на персональном компьютере как сотрудников службы, так и ее руководства. Современный руководитель должен быть не только квалифицированным организатором, специалистом по межличностным отношениям, но и грамотным пользователем в области современных информационных компьютерных технологий, способным заменить традиционную технологию работы на автоматизированную, основанную на использовании персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения [11, с.63].

Программное обеспечение руководителя и специалистов по персоналу сегодня должно содержать базу данных, постоянно пополняемую достоверной информацией, обеспечивать оперативность поиска необходимой информации, наглядность предоставления информации из базы данных. Что касается программных средств, то они должны включать программы, регулирующие организаторскую деятельность руководителя, обеспечивать принятие решений по конкретным ситуациям, осуществлять оперативность связи, то есть обеспечивать деловую деятельность, коммуникативность и принятие решений. Как справедливо отмечает М. Черныш, руководитель может принимать эффективные решения, если умеет использовать всю информационную базу информационной структуры [11]. Совершенно очевидно, что для уверенной и грамотной работы с автоматизированными системами руководителям и специалистам по управлению персоналом необходимо освоить основные приемы работы с офисными программами фирмы Microsoft.

В чем же преимущества офисных программ для современного руководителя? Прежде всего, офисные программы помогают выполнять руководителям наиболее типичные виды работ в любой организации: обрабатывать различную текстовую документацию; производить расчет данных, представленных в табличной форме, в графическом виде; составлять расписание встреч, телефонных переговоров; обеспечивать оперативную связь между сотрудниками; оказывать помощь в подготовке к совещаниям, выступлениям руководителя (например, с помощью текстового редактора Word, электронной таблицы Excel, органайзера (планировщика) Outlook и электронной почты Интернет, презентационного пакета PowerPoint, системы управления базами данных (СУБД) Access [10, с.60].

Г. Серова, рассматривая многообразие функций по управлению персоналом, выделяет наиболее значимые: оперативное и полное удовлетворение потребности предприятия в трудовых ресурсах; формирование и поддержание комплекса организационных условий, необходимых для исполнения работниками возложенных на них функций; обеспечение оптимального уровня взаимодействия кадровых служб с другими структурными подразделениями предприятия [10, с.60].

Необходимо отметить, что в большинстве своем в службе управления персоналом имеется развитая информационная структура сервиса, включающая методологическое, техническое и программное обеспечение, о чем свидетельствует большой спрос на автоматизированные кадровые системы, разработкой которых занимаются многие известные отече-

ственные фирмы, позволяющие реализовывать основные функции по кадрам и делопроизводству. Эти системы обеспечивают оперативность контроля и гибкость управления; возможность получения полных данных о структуре предприятия; позициях штатного расписания и сотрудников; контроль за деятельностью дочерних предприятий; разработку отчетной документации; переход на новые технологии и методы работы, улучшение условий труда.

Существующие в настоящее время подходы к разработке систем управления персоналом можно разделить на два направления. Первое ориентируется на разработку систем автоматизации учетных кадровых функций, включающих следующие задачи: учет и хранение первичных документов, входящих в личное дело; формирование, проведение и хранение приказов по личному составу; подготовка и предоставление статистических и прочих отчетов; хранение копий приказов по основной деятельности; возможность получения полных данных о структуре предприятия, позициях штатного расписания и сотрудниках. Второе направление включает в себя разработку экспертных систем по анализу и принятию решений в области управления персоналом; анализ и управление мотивацией, построение карьерограмм, психологическое тестирование, планирование расходов на персонал [10, с.61].

Отметим, что значимую роль в повышении эффективности, оперативности управления персоналом играют автоматизированные системы по делопроизводству, которые предоставят информацию, находящуюся в базе данных системы. При интеграции системы кадрового учета в систему автоматизации делопроизводства, когда внутренняя инструкция по делопроизводству допускает визирование документов в электронном виде, система документооборота сама обеспечивает проведение процесса визирования. При необходимости визирования на бумажном носителе система по делопроизводству позволит проконтролировать доставку документа всем визирующим лицам, отследить сроки согласования и подписания, что крайне важно для подготовки приказов по персоналу.

При использовании системы по делопроизводству все изменения, внесенные в документ визирующим, фиксируются в электронной карточке. При утверждении документа руководитель может (при желании) просмотреть этапы внесения изменений в документ на стадии визирования. При наличии в организации специализированных служб, отвечающих за внутренний документооборот, специалисту по проведению приказов службы управления персоналом остается только контролировать прохождение документа.

Особо следует отметить, что с выполнением вышеописанных функций может справиться далеко не каждая система документооборота. Кадровые приказы специфичны тем, что они обязаны быть бумажными. К сожалению, большинство систем, позиционируемых как системы документооборота, скорее, обеспечивают рассылку информации, нежели управляют реальным бумажным документооборотом, что при большом количестве приказов по личному составу может привести к существенным проблемам.

Отдельный вопрос – передача в службу управления первичных документов из подразделений. Ведь очевидно, чем больше доля документов, приходящих в службу в электронном виде, тем меньше усилий необходимо затратить на их обработку. Традиционно для доставки документов пытаются использовать электронную почту, но функционал стандартных почтовых систем, как правило, не удовлетворяет административным требованиям. Использование системы делопроизводства для приема первичных данных из подразделений позволяет решать все административные проблемы передачи. Система не только поможет разослать запросы на документы по подразделениям, но и проверит подлинность электронных цифровых подписей на документах, а также автоматически загрузит их в банк данных. Процесс бумажной передачи данных (вместо электронной) необходим лишь для подтверждения подписи ответственного лица. Использование электронной подписи позволит доверять автоматической загрузке внутренней отчетности и серьезнейшим образом снизит трудозатраты работников управления [10, с.62].

Появление виртуальных офисов, основанных на использовании Интернет-технологий, открыло возможность работы с документами, материалами, базами данных конкретной организации в домашних условиях, в гостинице, в транспортных средствах. Такие АИТ основываются на работе локальной сети, соединенной с территориальной или глобальной сетью. Благодаря этому абонентские системы сотрудников учреждения независимо от того, где они находятся, оказываются включенными в общую для них сеть [12].

В основе управленческой деятельности лежит работа с документами, делопроизводство, документооборот. Традиционная интерпретация терминов «делопроизводство» и «документооборот» практически идентична и сводится к формальным процессам создания и движения документов в организации. В более обыденной трактовке многие понимают под делопроизводством канцелярские функции по учету документов, а под документооборотом – бизнес-процессы, связанные с функциональной деятельностью организации. Однако, как отмечает В. Баласанян, при более внимательном рассмотрении очевидно, что невозможно построить эффективную систему управления на основе двух систем управления документационной деятельностью: формальной и функциональной. Они должны быть неразрывно связаны и едины в масштабе всего предприятия. Это означает, что правила учета и контроля за движением документов должны распространяться на все подразделения и рабочие места персонала, работающего с документами. В то же время при решении различных функциональных задач и обработке связанных с ними документов должны использоваться специализированные правила работы с документами и содержащейся в них информацией [13, с.22].

Следствием неэффективной организации работы с документами является фактическая неуправляемость организации, которая выражается в том, что руководители не в состоянии ответить на многие ключевые вопросы, связанные с деятельностью организации. Например, какие решения принимались организацией, какие документы находятся в работе, каковы предыстория и состояние решения конкретных вопросов, чем занимались и занимаются конкретные исполнители и подразделения.

Нельзя не согласиться с В. Баласаняном [13, с.22], что источник большинства возникающих проблем – изначальное противоречие между потребностью в централизации управления и децентрализованной технологией учета. Традиционный картотечно – журнальный учет работы с документами, естественно, ведется автономно в каждом подразделении. Для того же, чтобы обеспечить эффективный контроль за документационной деятельностью в целом, необходимо централизованно отслеживать и фиксировать сведения о каждом шаге рассмотрения и исполнения документа в подразделениях. Это требует огромных накладных расходов: нужны строго регламентированные и трудоемкие технологии сбора и анализа распределенной информации, детально проработанные нормативно-методические документы и соответствующим образом подготовленный персонал. В настоящий момент ни одна организация не может позволить себе в полном объеме поддерживать такие технологии. В лучшем случае контроль осуществляется не систематически, а «по отклонению». То есть при возникновении вопросов по конкретному документу приходится повторять весь маршрут его движения по организации.

Альтернативный путь решения проблемы – максимальное делегирование прав управленческому персоналу и, как результат, максимальная децентрализация и упрощение управленческих функций. Такой подход к делопроизводству до последнего времени был широко распространен во многих промышленно развитых странах. Однако усложнение задач управления в современном мире и появление сетевых компьютерных технологий явилось предпосылкой к бурному развитию во всем мире централизованных технологий управления документационной деятельностью организаций независимо от степени делегирования прав и ответственности в принятии и исполнении решений [13, с.23].

Иными словами, децентрализация учета и контроля за документационной деятельностью не только вступает в противоречие с отечественными нормами и традициями, но и с сегодняшними мировыми тенденциями, поскольку ведет к снижению качества управления организацией в условиях роста масштабов и взаимосвязанности задач управления. Компьютерные сети, охватывающие весь персонал государственного учреждения или компании независимо от их территориального размещения, являются основой для создания более эффективных методов управления. Использование отдельных автономных компьютеров на рабочих местах делопроизводителей или даже компьютерной сети в канцелярии вышеперечисленных проблем принципиально не решает, фактически это просто меняет способ ведения картотеки или журнала [13, с.24].

Отметим, что если же существует сеть, объединяющая компьютеры, установленные на рабочих местах в различных подразделениях организации, то данные о работе с документами на рабочих местах могут автоматически собираться и накапливаться на сервере сети, формируя информационную базу для управления деятельностью. Кроме того, появляется возможность использовать сеть не только для пересылки данных о работе с документами, но и самих документов, то есть возможность перехода на электронный документооборот в полном смысле слова. Для организации такого сетевого управления документационной деятельностью необходимо специальное программное обеспечение – системы автоматизации делопроизводства и документооборота (САДД). Чем большее число рабочих мест сотрудников, связанных с обработкой документов, охватывается такой системой, тем эффективнее может осуществляться контроль. В идеале система должна распространяться на все рабочие места, в этом случае – при минимизации дополнительных трудозатрат – обеспечивается полный контроль над документационной деятельностью организации в реальном масштабе времени [13, с.24]. Необходимо отметить, зарубежные поставщики программного обеспечения работы с документами предлагают целые наборы подобных продуктов, комплексное применение которых позволяет создавать полнофункциональные решения для управления работой с документами в организации. При использовании этих продуктов, как правило, предполагается, что создание комплексного решения осуществляется индивидуально для каждой конкретной организации.

Традиционные же российские термины – «делопроизводство» и «документооборот» – относятся к общему порядку и системе правил работы с документами персонала организации, независимо от используемых при этом технологий. При этом важной особенностью отечественного делопроизводства является то, что сложившаяся в течение столетий система работы с документами и связанная с нею управленческая культура были тиражированы в национальном масштабе, закреплены в традициях, нормативных документах, кадрах и системе их подготовки.

Отметим, что в настоящий момент возможны различные пути создания САДД для отечественных предприятий. Практический опыт последнего десятилетия показал, что на российских предприятиях реальную перспективу имеют САДД, построенные на основе отечественных традиций и стандартов документационной деятельности. При этом, конечно, в качестве основы или отдельных компонент этих САДД могут использоваться (и используются) те или иные зарубежные программные компоненты, обеспечивающие реализацию различных технологических функций работы с документами.

Важнейшим вопросом при принятии организацией решения о создании или приобретении САДД является вопрос их реальной эффективности. Попытаемся проанализировать основные составляющие эффекта, получаемого при вводе в действие САДД в масштабе организации. В организации в целом вводится единая и строго регламентированная технология делопроизводства и при этом уменьшается зависимость организации от персонала как носителя технологических знаний по работе с документами. Организация становится управляемой, появляется возможность ответить на любой вопрос по документам и исполнителям, осуществ-

лять анализ и управление документационной деятельностью. Поскольку компьютерная сеть может охватывать не только центральный офис организации, но и ее территориально-удаленные подразделения, то управляемость может распространяться на всю территориально-распределенную структуру организации. Создаются условия для существенного ускорения прохождения документов по организации, особенно при реализации электронного документооборота. Минимизируется трудоемкость делопроизводственных операций. При этом нужно, конечно, иметь в виду, что необходимость ввода полной и точной информации о документе, скажем, при его первичной регистрации, может потребовать дополнительных усилий на рабочих местах, тогда как трудоемкость работы на других рабочих местах, использующих эту информацию, сокращается, как показывает опыт, в несколько раз. Но, самое главное, сокращение трудозатрат операторов само по себе не может являться целью использования САДД. Качественный выигрыш во времени и трудозатратах достигается при организации взаимоувязанного электронного документооборота внутри организаций и между ними, поскольку полностью отпадают проблемы, связанные с изготовлением и пересылкой бумажных документов, а затем в повторном вводе реквизитов и текстов полученных документов.

Подведем некоторые итоги. Автоматизированные системы делопроизводства и документооборота позволяют реализовать любую степень децентрализации управления при одновременном обеспечении централизованного учета и контроля, вплоть до того, что каждый специалист может самостоятельно регистрировать документы и управлять их дальнейшим прохождением (в пределах своей компетенции, конечно), находясь при этом под полным контролем соответствующих руководителей. Таким образом, организация может динамично перестраивать свою управленческую структуру без потери управляемости. Для отечественных предприятий это наиболее реальный путь перехода к более эффективной децентрализации управления. В настоящий момент создаются предпосылки к реализации более эффективных схем документационного управления. Отметим, что правильно построенная автоматизированная система позволит направлять документы непосредственно лицам, которые будут исполнять поручения, руководители же при этом сохраняют полный контроль как за прохождением самого поручения, так и за его исполнением. Автоматизированная система должна работать как с данными о прохождении и исполнении документов (независимо от того, бумажные они или электронные), так и самими электронными документами, к которым эти данные относятся. Включение электронных документов в делопроизводственный процесс позволяет достичь качественно нового уровня эффективности работы с документами, поскольку технологии работы с электронными документами (редактирование, перемещение, тиражирование и др.) принципиально более эффективны. Снимается часть проблем, связанных с территориальной удаленностью подразделений организации или индивидуальных рабочих мест ее сотрудников. САДД позволяет организовать нормальную работу с документами всех сотрудников, независимо от местонахождения их офисов и даже отдельных рабочих мест, вплоть до мобильных (конечно, при наличии линий связи). Они создают основу для интеграции всех документационных технологий в единый комплекс, включая средства сканирования документов и распознавания текстов, средства обработки и пересылки электронных документов, приема и передачи факсимильной информации, печати и тиражирования документов. Отметим некоторые приоритетные направления формирования информационного общества в России. Необходимо развитие информационной экономики, включая информационные технологии, коммуникации и средства массовой информации, стимулирование частных инвестиций, формирование информационной инфраструктуры российского рынка. Представляется важным совершенствование правового регулирования создания и использования информационных ресурсов и технологий, реализации прав граждан на информацию и интеллектуальную собственность. Кроме того, необходимо обеспечение информационной безопасности и защиты информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косячков Р. Инструмент управления // Компьютерра. 2001. № 11. С.21-23.
2. Русско-английский глоссарий по информационному обществу: Сто базовых терминов // Совместный проект Британского Совета в России, Института развития информационного общества и проекта «Российский портал развития». 2001. <http://www.iis.ru/glossary/index.html>. Обращение к ресурсу 11.02. 2004.
3. <http://www.ovsem.com>. Обращение к ресурсу 15.02. 2004.
4. Смакотина Н. О проблеме мотивации в информационной службе предприятия // Директор ИС. 2003. № 1. С.21-23.
5. Смакотина Н., Фридман А., Харитоновна Е. Мотивация отечественного ИТ-персонала под микроскопом // Директор ИС. 2003. № 5. С.16-18.
6. Кастельс М. Информационная эпоха. Экономика, общество, культура. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 148 с.
7. Инновационная методика бизнес-образования в области Интернет-технологий: Учеб. пособие / А.А. Большаков, А.А. Бороздюхин, О.Н. Долинина и др.; Под ред. О.Н. Долининой, Ю.А. Корсакова. Саратов: СГТУ, 2002. 150 с.
8. Яковлев И.П. Социология. СПб.: Знание, 2000. 39 с.
9. Кастельс М., Киселева Э. Россия и сетевое общество // Мир России. 2000. № 1. Статья опубликована на информационном портале «История Интернета в России» <http://www.NetHistory.ru>. Обращение к ресурсу 19. 02.2004.
10. Серова Г. Компьютеризация службы управления персоналом // Управление персоналом. 2003. № 4. С.61.
11. Черныш М. Новая социальная группа – «информационные» работники // Социологические исследования. 2002. № 11. С.63-67.
12. Чернов В. Информационные технологии // Коммерческий вестник. 2000. № 7-8. С.25-27.
13. Баласанян В. Электронный документооборот – основа эффективного управления современным предприятием // Управление персоналом. 2002. № 2. С.22-24.

Долинина Ольга Николаевна –

кандидат технических наук,
заведующая кафедрой «Прикладные информационные технологии»,
начальник управления международного сотрудничества
Саратовского государственного технического университета

УДК 330.322+347.77:621.797

Е.В. Олейникова

**УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ ФИРМЕННОГО РЕМОНТА**

Статья посвящена широкому кругу проблем состояния и регулирования инновационного процесса производственной инфраструктуры предприятий. Излагается комплекс вопросов по формированию системы фирменного ремонта оборудования, предопределяющих решение проблемы физического и морального старения оборудования, разработки инструментария при создании сервисных центров на базе предприятия-производителя.

E.V. Oleynikova

**ENTERPRISE INNOVATIONS DEVELOPMENT MANAGEMENT
BY FIRM'S REPAIR SYSTEM APPLICATION**

This article describes the wide range of problems of researching and regulation of the innovation process of an enterprise production infrastructure. Problems of guaranteed repair system formation are considered in the text. Solution of which can bring certain datas in the decision-making, connected with the problems of moral and physical wear of machines, and may be used in the creating of service-centers based on enterprises-producers.

Инновационный тип развития, ориентированный на максимальное использование достижений научно-технического прогресса, предполагает развитие и использование многообразных форм экономической деятельности, их постоянное обновление и развитие. Материальная база при инновационном типе развития характеризуется высокоразвитым производственным аппаратом, наукоёмкостью выпускаемой продукции, автоматизацией производства, интеллектуализацией производственных процессов, при этом развитие производства, ориентируясь на качественные характеристики и потребительский спрос, должно максимально использовать инновационные технологии, охватывающие всю организационно-хозяйственную структуру предприятия.

В этих условиях эффективность изготовления и выпуска продукции высокого качества с минимальными затратами достигается не только совершенной организацией менеджмента и маркетинга, основных производственных процессов, но и высоким уровнем их обеспечения и обслуживания.

Возрождение и дальнейшее развитие российского машиностроения и станкостроения, состояние которых можно сегодня рассматривать как критическое, немислимо без надлежащих инновационных технологий, охватывающих инфраструктуру производства. Деграция производства во многом связана с недопустимой недооценкой факторов обслуживающего производства, непониманием новой роли инфраструктуры в развитии материального производства. Это подтверждается долгим предшествующим периодом развития отечественной машиностроительной отрасли, когда крупномасштабные инвестиции осуществлялись только в основное производство. Отказ от выявления роли и влияния инфраструктурных факторов в развитии конкурентного производства – это скорее не «вина» науки, а беда практики управления и бедность финансирования. Для преодоления этой недооценки необходима переориентация в развитии всех процессов производства. Инфраструктура выступает средством, создаёт условия для нормального хода воспроизводственного процесса на инновационной основе; изменение её роли в обслуживании производства влияет на качество и характер самого труда.

В развитых странах перечень производственных услуг включает более 160 позиций, что отражает развитость и важность этой сферы деятельности, поскольку все услуги имеют различные формы экономической реализации, потребляются в момент производства, приобретают неодинаковую форму экономического движения. По мнению отечественных исследователей, прорыв в экономической зависимости могут обеспечить инновационные и инвестиционные процессы, связанные не только с использованием техники и технологий, но и с их обслуживанием. В этих условиях актуально использование факторов производства, максимально связанных с услугами производства всех сфер производственной деятельности, особенно в плане переориентации производства на развитие процессов, обеспечивающих конкурентное развитие промышленности и её отраслей. На практике это означает, что по-

вышение конкурентоспособности продукции должно идти по пути производства новых средств производства при одновременном развитии процессов их обслуживания (см. табл. 1).

Таблица 1

Процессы в производстве для развития конкурентных преимуществ предприятия

Процессы в производстве	Варианты конкурентной стратегии		
	Существующая оргструктура управления и инфраструктура рынка	Ориентация на экспорт сырьевых ресурсов и полуфабрикатов и обслуживание остального рынка	Ориентация на рынок национальных изделий, вывоз капитала, контролируемый экспорт
1. Процессы в производстве			
Инвестиционные и инновационные процессы	Тупиковый путь, усиление отставания	Ослабленная конкуренция и усиление экономической зависимости	«Прорыв» в развитии, ускоренное формирование конкурентных преимуществ, преодоление экономической зависимости страны
Использование существующих технологий и техники	-----«-----	-----«-----	-----«-----
Ремонт и техническое обслуживание	-----«-----	-----«-----	-----«-----
2. Процессы в потреблении			
Процессы производства в сфере потребления (ремонт, технический монтаж, техническое обслуживание, послепродажное обслуживание процессов производства)	-----«-----	-----«-----	-----«-----

По мере развития экономики и роста доходов на душу населения повсеместно наблюдается такая закономерность – теряет свою роль сельскохозяйственный сектор, уступая ее сначала промышленности, а затем сектору услуг. Эта тенденция получила название – аутсорсинг. В настоящее время многие промышленные компании западных стран предпочитают фокусировать внимание на вопросах, составляющих стержень их бизнеса, передавая функции своих вспомогательных подразделений специализированным сторонним сервисным организациям. Это всеобщая экономическая тенденция выступает в современном мире как экономическая стадия индустриализации и постиндустриализации или деиндустриализации. В её основе лежит целый ряд важнейших организационных причин и экономических факторов.

Любой товар, особенно высокотехнологичный, создает потребности в услугах. В историческом плане оказание услуг являлось источником дополнительных доходов для изготовителей и дистрибьюторов техники, в том числе заводского оборудования, так как доходы от послепродажного обслуживания можно получать годами.

Создание принципиально новых видов техники не только позволяет вносить существенные изменения в технологический процесс, но и объективно способствует росту и усо-

вершенствованию систем сервиса технических объектов. Для повышения объема продаж, конкурентоспособности своей продукции и имиджа фирмы многие продуценты высокотехнологического оборудования пытаются сейчас наверстать упущенное, сосредоточивая свои усилия на создании комплексов услуг, требующих большой компетенции и профессионализма. При обосновании привлекательности своих продуктивных предложений многие фирмы-изготовители стараются подчеркнуть свои возможности, осуществляя ремонт производимого оборудования и его гарантийное обслуживание. Такие услуги не только могут приносить дополнительный доход, но и позволяют им рассматривать других производителей как возможных партнеров и помощников по созданию совместных проектов (продуктов), в реализации новых или модифицированных изделий, а потребителей – как контрагентов.

Экономической наукой и практикой выработан определенный понятийный аппарат, характеризующий содержание процессов обслуживания. Широкое толкование слова «сервис» подразумевает качественное обслуживание. Применительно к продукции производственно-технического назначения этот термин следует рассматривать как эксплуатационный сервис сложных технических устройств, осуществляемый не ремонтными службами предприятий, эксплуатирующих данную технику, а предприятием-изготовителем промышленного оборудования. Учитывая, что оборудование в процессе эксплуатации подвергается физическому износу и необходимо его восстанавливать, обеспечение его нормальной работоспособности осуществляется с помощью ремонтного обслуживания, что можно рассматривать как послепродажное обслуживание.

Сервисный рынок услуг в развитых странах становится обязательным элементом любого рынка товаров длительного пользования. Создание рынка качественного фирменного ремонта производственного оборудования силами предприятий-продуцентов для России сегодня очень актуально, так как техника в процессе эксплуатации подвергается износу, следовательно, всегда нуждается в восстановлении утраченных свойств. В 1999-2000 годах основные фонды обновлялись лишь на 3% предприятий, на всех предприятиях очень высок процент физически и морально устаревшего оборудования, в отдельных случаях износ составляет до 80%. В машиностроении находится 76% предприятий со средним возрастом фондов более 15 лет, в среднем среди них 60,3% – оборудование отечественных предприятий.

Невозможность национальной экономики в ближайшее время осуществить существенные инвестиции на переоснащение промышленности заставляет искать новые технологии и организационные формы в обслуживании и ремонте, требует изменения их роли, места и способов конкурентного сотрудничества с другими субъектами инфраструктурного рынка, совершенствования менеджмента и маркетинга, следовательно, развития инноваций в инфраструктуре предприятия.

Все это служит основой мотивации создания необходимых условий для развития эксплуатационного сервиса, обеспечивающего предприятию бесперебойную работу на данном оборудовании в течение всего срока жизненного цикла этого оборудования.

Отличительной особенностью переходного периода российской экономики являются институциональные изменения, призванные привести общественные институты в соответствие с новыми требованиями технологической эволюции. В стране формируются новые модели инновационной политики и политической культуры: создаются институты, меняющие роль и функции структур управления производством, разрабатывается новый порядок координации действий различных субъектов инновационной деятельности, наконец, меняются и сами субъекты. С развитием рыночных механизмов в экономике предприятий появляется необходимость специализированного вида деятельности по удовлетворению новых видов потребностей, отражающих цели деятельности предприятий. Появление потребностей в качественном ремонте и восстановлении активной части основных производственных фондов обусловило возникновение новых организаций, учреждений, обеспечивающих этот спрос и

цивилизованное функционирование таких центров. Эти функции с течением времени изменяются, и все более обособливаются от функций основного производства.

Проведение фирменного ремонта промышленного оборудования представляет собой часть маркетинговой политики в хозяйственной деятельности предприятия. В определенной степени он представляет собой выход из создавшейся ситуации, когда и производитель и потребитель одинаково заинтересованы в его проведении. Инновационный аспект фирменного ремонта предприятия-производителя связан с тем, что в условиях, когда производственные мощности предприятий станкостроения простаивают из-за отсутствия заказов и финансирования на техническое перевооружение предприятия, он призван отразить особенности отношений купли-продажи и направления деятельности в нетрадиционной для предприятия сфере. Из этого вытекает специфика работы в области предоставления сервисных услуг, затрагивающая проблему диверсификации, товарной политики, создания специализированных служб и филиалов, дочерних предприятий, осуществляющих ремонт оборудования у предприятий, обеспечивая тем самым сохранение кадров и накапливая определенную информацию о запросах потребителей. Именно работники, занятые вопросами эксплуатационного сервиса, имеют все возможности для выявления и определения потребностей потребителей, способствуют переработке их желаний в конструкторские идеи, а затем активно участвуют в разработке новых моделей с необходимым для потребителя уровнем качества.

Предприятию-потребителю машиносервис можно понимать как систему производственно-технического обслуживания, видя его назначение в обеспечении качественного функционирования основного производства. Имея постоянные и долгосрочные связи с фирмой, знающей организационно-технические условия производства, особенности выпускаемой продукции, такие контакты позволяют осуществлять модернизацию оборудования силами таких служб и поддерживать требуемый уровень качества работы оборудования.

Фирменный ремонт служит элементом обратной связи с потребителем. В основе такого подхода лежит предвидение, угадывание потребностей потребителя, предложение услуг со стороны изготовителя, что несколько отличается от общепринятого подхода к обеспечению качества. Такой подход предполагает, что конечной целью создания системы фирменного ремонта являются разработка и производство машин и оборудования в соответствии с потребностями в них и заказами потребителей при тесной связи с ними сервисной службы.

Нельзя отрицать того факта, что идеи о разработке новых конструкций оборудования идут от научно-исследовательских, конструкторских, технологических, производственных подразделений предприятия-изготовителя в первую очередь. Однако определяющими, с точки зрения комплексного подхода к обеспечению уровня качества у потребителя, должны быть точка зрения и мнение работников службы сервиса, что объясняется их постоянным контактом с оборудованием в эксплуатации и постоянным взаимодействием с ремонтниками и наладчиками этого оборудования у потребителя. Эта служба обеспечивает разработчиков оборудования подробным перечнем требований и претензий пользователей, предъявляемых к качеству и особенностям эксплуатации оборудования. Все это должно постоянно отслеживаться конструкторами и разработчиками при изготовлении новых изделий и моделей станков.

Фирменный ремонт не может быть отделен от системы исполнителя и от системы заказчика, он существует одновременно с ними, он проводится специалистами по определенным правилам или требованиям; он рождается в результате взаимодействия обеих сторон. С этих позиций такая услуга рассматривается как социотехническая система, органически включает в себя элементы каждого из них и существует как производное от взаимодействия систем, производящей (фирма-производитель) и потребляющей (фирма-потребитель) данную услугу. Схематично этот процесс представлен на рис. 1.

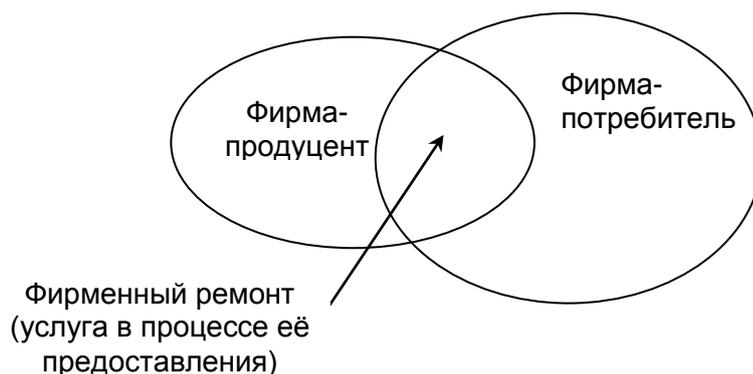


Рис. 1. Фирменный ремонт в межсистемных связях

При формировании системы сервисного обслуживания клиентов предприятие-производитель стремится создать имидж фирмы и марку своей продукции, и здесь акценты делаются на достижениях или особенностях своей продукции. Можно выделить несколько этапов развития сервисных услуг и расширения сферы деятельности в этой области, сущность которых представлена в табл. 2. Поэтапный анализ развития системы ремонтов показывает, что содержание процесса ремонта идет параллельно с развитием маркетинговой деятельности, повышением сложности техники и совершенствованием организационно-правовых форм хозяйствования.

Таблица 2

Сущность и этапы перехода предприятия на фирменный ремонт

№	Название этапа	Сущность этапа и содержание работ
1.	Традиционный ремонт	Продажа оборудования покупателю без дальнейшего сопровождения товара. Производитель (продавец) оборудования несет ответственность перед покупателем только до момента продажи и поставки и, как правило, не интересуется дальнейшей судьбой проданной техники
2.	Единичные сервисные услуги	Изготовитель собирает и систематизирует информацию об эксплуатации своего оборудования на предприятиях (у покупателей) и приспособливает свое производство под требования этого рынка. При этом изготовитель исследует этот рынок постоянно и пытается контролировать весь путь своей продукции до доставки и эксплуатации на протяжении ее жизненного цикла
3.	Сервисные услуги как вид деятельности	Изготовитель оборудования выявляет проблемы в работе оборудования и использует весь набор инструментов и формы деятельности для качественного выполнения договорных обязательств по выполнению ремонтных работ
4.	Сервисные услуги как обязательный вид деятельности (проведение фирменного ремонта)	Изготовитель оборудования глубоко исследует рынок и использует для его завоевания весь набор инструментов, обеспечивающих имидж предприятию и конкурентоспособность продукции: разработка оборудования на основе блочно-модульного метода и с учетом снижения его ремонтоемкости
5.	Постоянная сервисная деятельность (диверсификация) производства	Сервисная деятельность становится одним из направлений товарной политики предприятия-изготовителя оборудования; этим направлением охвачены: снабжение, сбыт, исследования и разработки, персонал, контракты, финансы и др.

Рынок фирменного ремонта в виде комплекса сервисных услуг в различных отраслях промышленности только начинает организовываться в нашей стране. На нём нет лидеров, присутствуют разовые сделки между отечественными предпринимателями разного уровня. Создание принципиально новых или усовершенствованных систем сервиса позволяет вносить существенные изменения в технологический прогресс и объективно способствует росту сервисных услуг, связанных с поставками и дальнейшей эксплуатацией все более и более усложняющихся в техническом исполнении объектов техники. Основной его задачей является обеспечение эффективного и качественного функционирования техники. Оно включает установку, монтаж, наладку и подналадку оборудования, контроль за работой собственных изделий станков, восстановление вышедших из строя элементов конструкции оборудования, выпуск и установку запасных частей и узлов, консультирование пользователей, другие работы в допродажный и послепродажный периоды.

Продуценты обязаны знать, что появление потребности в предоставлении сервисных услуг связано с переходом от эпизодической деятельности в фирменном ремонте к систематической, основанной на естественном интересе к качественным услугам, на желании иметь постоянного клиента и вести с ним плодотворное сотрудничество, что развитый сервисный бизнес – обычная сфера деятельности.

Сервисизация рыночных отношений становится нормой, имея ярко выраженную тенденцию к возрастанию этого процесса, что усиливается действием самых различных факторов, прежде всего экономических, технологических, социально-демографических, психолого-ментальных, правовых и культурных. С учетом этого значение сервисного обслуживания необходимо рассматривать как с позиции конкретного предприятия, так и с позиции общерыночных представлений, социально-демографических, психолого-ментальных, правовых и культурных, поэтому организация и методы его развития должны учитывать национальное законодательство, финансовую и экономическую ситуацию в стране, территориальное расположение и производственные условия предприятия, бытовые и прочие особенности.

С развитием рыночных и маркетинговых механизмов в экономике предприятий появляется необходимость специализированного вида деятельности по удовлетворению новых видов потребностей, отражающих цели деятельности предприятий. Вместе с тем направления инновационной деятельности на предприятиях направлены на улучшение менеджмента; все мероприятия имеют вид организационно-управленческих и маркетинговых инноваций (см. табл. 3).

Таблица 3

Направления инновационной деятельности на промышленных предприятиях

Виды инновационных проектов	В % к общей величине нововведений
Выделение дочерних фирм	80,4
Обретение новых зарубежных хозяйственных партнеров	65,2
Освоение новых методов финансовых проектов	54,8
Новые схемы оплаты труда	54,6
Новые методы отбора персонала	50,1
Новые методы оценки персонала	42,2
Новые формы сбыта продукции	41,8
Обретение новых российских хозяйственных партнеров	32,6

Обращает на себя внимание такая ситуация: в то время как основные фонды и технология постепенно стареют, на предприятиях идет бурный рост организационной модерниза-

ции, прежде всего перестройки системы управления; в то же время реальная эффективность от таких изменений ощущается только у 20% предприятий, применяющих такие инновации. Объяснение этому может быть следующее. В условиях отставания многие предприятия, пытаясь догнать передовые страны и фирмы, стараются приспособить у себя иностранные технологии как более отработанные, качественные, а стоимость их меньше отечественных. Отсутствие практики работы российских предприятий с фирмами, осуществляющими ремонт оборудования, заставляет предприятия с недоверием относиться к такой системе, поэтому целесообразно остановиться на основных аспектах, ведущих к его качественному функционированию на российском рынке.

В условиях российской экономики фирменный ремонт как часть сервисных услуг является составной частью развития маркетинговых возможностей и попыткой изменения конъюнктуры на внутреннем рынке, к тому же он является обязательной компонентой различных производств, обеспечивая тем самым высокий уровень занятости. Актуальность развития фирменного ремонта определяется тем, что при всем многообразии проблем и решаемых задач, в стратегии предприятий разрабатывается собственная стратегия сервисного обслуживания, имеющая ярко выраженное свое лицо; формируется свой собственный рынок, который не копирует чужой образ, а создает собственное направление, отражающее внутреннюю специфику.

Рассматривая фирменный ремонт как продукт, позволяющий предоставить клиенту (покупателю, потребителю) оптимальный, наиболее приемлемый вариант потребления технически сложного изделия, обеспечивающего экономически выгодную его эксплуатацию в течение гарантийного и послегарантийного срока службы, диктуемого правильными условиями использования, отечественные предприниматели должны учитывать следующее.

Во-первых, для успешной деятельности на рынке услуг необходимо прилагать более значительные усилия, более тщательно соблюдать принципы и методы маркетинга и современного сервиса, так как предприятия-потребители предъявляют высокие требования к предлагаемым сервисным продуктам и их рекламе.

Во-вторых, необходимо максимально полное изучение запросов потребителей. Это отправной момент в этом виде деятельности. Отсюда необходимость создания соответствующих подразделений, специализированных консультантов, предоставляющих информацию, одновременно полезную и покупателю и производителю.

В-третьих, для успешной деятельности по предоставлению функций фирменного ремонта необходимо творчески и гибко использовать маркетинговые методы, стандартных подходов здесь нет. Важно поддерживать постоянные контакты с теми предприятиями, где находится большое количество оборудования данного производителя, с ними работать напрямую или через дочерние или агентские фирмы, в отдельных случаях необходимо иметь лицензии на право осуществлять фирменный ремонт. Эти и другие формы работы применяют, учитывая конъюнктуру и прогнозы развития рынка услуг и оборудования тенденции развития машиностроения, сложившуюся практику отношений между основным и вспомогательным производством внутри предприятия и производственной инфраструктуры в целом.

В-четвертых, необходимо следовать требованиям мирового рынка (а точнее, требованиям покупателей), что означает необходимость соблюдения не только принятых условий договоров по выполнению фирменного ремонта, решающее значение имеют разработка и производство такого оборудования, которое даже спустя несколько лет после выхода на рынок отличалось бы высокой конкурентной способностью. Важным аспектом этой составляющей маркетинговой деятельности становится разработка продукции с учетом сервисной деятельности предприятия.

Появление потребностей в качественном ремонте и восстановлении активной части основных производственных фондов обусловило изменение роли инфраструктуры предприятия и её места в деятельности предприятия по созданию качественной продукции.

Это послужило толчком для возникновения новых организаций, обеспечивающих этот спрос и функционирование центров, осуществляющих качественный и своевременный ремонт техники. Одновременно цивилизованное развитие рынка инфраструктурных элементов производства дает почву для развития других рынков и становления рыночных отношений на более качественной основе (см. рис. 2). Для активизации деятельности в области предоставления сервисных услуг необходимо иметь новую концепцию развития производства для предприятия-производителя, а потребитель должен иметь информацию о таком рынке, которая в этой ситуации является условием оправданных рисков для совершенствования своей деятельности.



Рис. 2. Влияние инновационных подходов в инфраструктуре предприятий

В центре внимания предприятия на основе анализа рынка и технико-экономической информации должны находиться вопросы, позволяющие принять решение о создании центра сервисной деятельности. Среди них могут быть такие:

Выходит ли предприятие на рынок с сервисным продуктом? Какие цели ставит при этом? Какие перспективы открываются перед предприятием и какие проблемы и риски могут возникнуть?

Для каких видов оборудования, выпускаемых в настоящее время, необходимо предоставлять фирменный ремонт и обслуживание?

С каким предприятием целесообразнее всего начинать сотрудничество? Какой набор услуг ему можно предложить?

Следует ли это делать собственными силами или создавать специальные службы, привлекать дилеров и партнеров? Как организовать на собственном предприятии процесс разработки программы сервисных услуг?

Прежде чем принять окончательное решение о выходе на рынок с сервисными продуктами, предприятие должно разработать, хотя бы в общих чертах, концепцию своей деятельности по сервисным услугам, а затем приступить к детальной проработке конкретных вопросов.

Реальное влияние на определение потребности в сервисном ремонте оборудования предприятий машиностроения оказывают такие технико-экономические показатели, как безотказность в работе, производительность оборудования, срок службы оборудования, моральный износ, стоимость услуг. Это позволяет наиболее обоснованно подойти к вопросу выбора ремонтно-эксплуатационного процесса и созданию концепции системы послепродажного обслуживания оборудования, сформировать прогрессивные формы и методы взаимоотношений предприятий.

Формирование сферы техносервиса объективно способствует усилению товарообмена между разработчиками, производителями и потребителями оборудования, что ведет как к развитию объектов этого вида рыночной инфраструктуры, так и к вовлечению в хозяйственный оборот инвестиций, инноваций, субъектов, трудовых и материальных ресурсов, территорий, законодательной и правовой базы. Все это говорит о необходимости создания и эффективного функционирования механизма использования фирменного ремонта как одного из направлений инновационной политики в деятельности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурков И., Аврамова Е. Инновационная деятельность российских предприятий // Вопросы экономики. 2000. № 7. С.71-85.
2. Селезнев А.З. Нематериальное производство и экономический рост. М.: Наука, 2001. 261 с.
3. Гончарова Н.П., Перерва П.Г. Маркетинг инновационного процесса. Киев: «Вира-Р», 1998. 264 с.

Олейникова Елена Васильевна –

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»
Саратовского государственного технического университета

УДК 316.42:35

А.Ю. Слепухин

РОЛЬ ПРОГРАММЫ ЕС *ТЕМПУС-ТАСИС* В ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ В СГТУ

Программа реформирования системы высшего образования в странах Европейского Союза сформулирована в Болонской декларации. В 2003 году Российская Федерация присоединилась к этому документу. Настоящая работа посвящена анализу участия СГТУ в программе ЕС Темпус-Тасис сотрудничества университетов Западной Европы и стран СНГ в области образования. Обсуждены преимущества и социальные эффекты, достигнутые в ходе выполнения проектов. Опыт участия в программе является фундаментом для дальнейшего развития международных связей подразделений университета.

A.Yu. Slepukhin

IMPACT OF EU TEMPUS-TACIS PROGRAMME ON THE INTERNATIONALIZATION OF EDUCATION AT SSTU

The EU programme of actions in the field of education has been elaborated in Bologna Declaration. Russian Federation has joined this process in 2003. The current presentation is devoted to the analysis of SSTU participation in EU programme of inter-university cooperation Tempus-Tacis as one of the opportunities for the acquaintance of European high educational institutions and systems of education. Advantages and social impact of SSTU participation are discussed. The experience gained under Tempus was a basic competence for future international networking and cooperation.

Введение

Участие российских университетов в международной образовательной деятельности в 1990-х годах серьезным образом повлияло на традиционные российские институты высшей школы, создало новые пути и условия их развития. Международная комиссия по образованию для XXI века, работающая под председательством Ж. Делора, в своем докладе «Образование: скрытое сокровище», подготовленном для ЮНЕСКО, так сформулировала основную задачу образования на современном этапе – «учиться жить вместе». Мы рассматриваем курс доклада комиссии Делора как логичную реакцию на начавшийся во второй половине XX века процесс глобализации мировой экономики, то есть выхода общественных отношений за рамки отдельных государств. Преобразование мирового пространства в единую зону, где беспрепятственно перемещаются капиталы, товары, услуги, где свободно распространяются идеи и передвигаются их носители, включает в себя как составной элемент и модернизацию системы образования и подготовки кадров [1].

Интеграция экономической жизни промышленно развитых стран особенно ярко проявляется на примере Западной Европы, где сейчас идет формирование единого европейского экономического, политического, культурного и образовательного пространства [2]. Этому процессу сопутствует развивающаяся в последние десятилетия активная интеграционная политика в сфере образования, первыми практическими шагами которой являются программы ЕС студенческого обмена «Сократ» и «Леонардо». Курс на повышение роли международных институтов является стратегическим в процессе экономического и социального развития Европейского сообщества, поскольку национально обособленные системы высшего образования и переподготовки кадров уже не в состоянии удовлетворять потребности интегрирующихся экономик в подготовке специалистов.

Формирование кадрового потенциала рассматривается высшими органами управления ЕС как основная часть экономической интеграции по созданию единой валютно-экономической системы Союза. Политика в сфере образования направлена на обеспечение структурной перестройки экономики, ликвидацию дефицита квалифицированной рабочей силы, разрешение возникающих социальных конфликтов и ослабление безработицы.

Болонская декларация

В июне 1999 года программа действий ЕС в области образования была сформулирована в документе, получившем название Болонской декларации [3]. По своей сути это программа создания международных институтов управления высшим образованием, которые бы

соответствовали общей стратегии интернационализации социальной политики в условиях объединенной Европы. Ключевым моментом программы является разработка такой системы присуждения университетских дипломов и степеней, которая будет обеспечивать простой механизм их сравнения с целью предоставления выпускникам вузов из стран ЕС равных возможностей для трудоустройства на европейском и их конкурентоспособности на мировом рынках труда. В качестве ориентира предполагается осуществить повсеместный переход на двухцикловую модель обучения (бакалавр-магистр и/или доктор философии). Этому будет способствовать введение единой кредитной системы (системы зачетных единиц) для взаимного признания учебных дисциплин различными университетами с целью обеспечения широкой мобильности студентов внутри стран ЕС. Естественно, что разработка модели трансфера зачетных единиц невозможна без создания европейской системы контроля качества образования и необходимых общих стандартов высшего образования, в особенности в отношении учебных планов, межвузовского сотрудничества, схем мобильности и интегрированных образовательных и исследовательских программ. Результатом Болонского процесса должно стать решение проблемы международной стандартизации уровней квалификации, включая взаимное признание дипломов о высшем образовании, ученых степеней и свидетельств о профессиональной подготовке.

С 2003 года российская высшая школа официально участвует в Болонском процессе. Министерство образования РФ рассматривает задачу вхождения в мировое и, прежде всего, европейское образовательное пространство как стратегическую и весьма актуальную. Как показывает анализ правового контекста, действующее законодательство предусматривает возможность реализации многоступенчатой структуры высшего профессионального образования. В ряде вузов, сотрудничающих с западными университетами, уже функционирует многоступенчатая структура основных образовательных программ. Действующие государственные образовательные стандарты создали возможность сопряжения на первых-третьих курсах программ подготовки бакалавров, дипломированных специалистов и магистров с последующим выбором самим студентом траектории обучения. Существуют вузы, в которых проходят эксперименты по организации образовательного процесса на основе зачетных единиц, совершенствуется государственная система оценки качества высшего профессионального образования, а также формируются внутривузовские системы управления качеством образования [4, 5].

Программа *Темнус*

Одну из возможностей знакомства и сближения с европейскими вузами и системами образования этих стран предоставила программа ЕС *Темнус*, действие которой началось в 1990 году. Участие в программе не только позволило российским вузам получить значительную материальную помощь на приобретение коммуникационного, офисного и учебного оборудования и материалов в годы, когда бюджетные средства на эти цели практически не поступали, но и оказало сильное влияние на личностное развитие студентов, преподавателей и администраторов – участников совместных проектов.

Рассматривая социальные эффекты развития программы *Темнус* в российских условиях, можно выделить три взаимосвязанных социальных процесса. Во-первых, была осуществлена интернационализация учебной работы, которая в ряде случаев привела к инновационным прорывам в образовании, обеспечившим студентов и преподавателей новым диапазоном возможностей. Во-вторых, поездки преподавателей и администраторов вузов в зарубежные партнерские университеты предоставили возможность приобретения и использования новых профессиональных знаний, что во многих случаях имело прямое влияние на повышение рейтинга российских вузов – участников программы. И, наконец, в-третьих, наблюдается широкое взаимное проникновение культур, возникшее в результате кросс-

культурного общения, что приводит к росту взаимопонимания прежде различных общественно-политических систем.

СГТУ участвует в программе *Темпус* с момента начала ее деятельности в России. В 1992 году была подготовлена первая конкурсная заявка и в следующем году получен годичный грант на выполнение предварительного проекта pre-JEP-00236-93 «Развитие образования в области социальной работы в СГТУ», задача которого заключалась в подготовке трехлетнего проекта по данному направлению. В этом первом проекте нашими партнерами стали известные вузы Европы – университеты Тринити-колледж (Дублин, Ирландия), Гетеборга (Швеция), Кингстона (Великобритания) и Аалборга (Дания). Знакомство наших преподавателей и руководства университета с западно-европейскими вузами, организацией их образовательной и управленческой деятельности привело к пониманию необходимости серьезного реформирования всей системы университетского управления в СГТУ. Только такой шаг позволил бы университету повысить качество подготовки специалистов и сделать их конкурентоспособными в условиях изменившегося общественного строя и перехода к рыночным отношениям в экономике.

Поэтому с разрешения Европейской Комиссии тематика трехлетней заявки была изменена, и в 1995 году СГТУ получил грант объемом более одного миллиона долларов на выполнение проекта T_JEP-10040-95 «Управление университетами в изменяющемся обществе» совместно с вышеперечисленными партнерами из стран Западной Европы. В рамках этого проекта решались следующие основные задачи:

- ✓ реорганизация административной и финансовой систем управления университетом, разработка методов рационального стратегического планирования, внедрение новейших компьютерных технологий управления финансовой системой университета;
- ✓ реорганизация сервисного обслуживания в научно-технической библиотеке СГТУ на основе внедрения современных компьютерных систем поиска и хранения информации; включение НТБ в мировую библиотечную сеть через Интернет;
- ✓ создание Института социального и производственного менеджмента (ИСПМ) на базе инженерно-экономического факультета и гуманитарного учебно-научного центра с целью реорганизации и повышения качества экономического и гуманитарного образования в СГТУ;
- ✓ совершенствование международной службы университета и организация Международного образовательного центра.

Выполнение этих задач послужило основой дальнейшего развития университета, сделало систему управления и принятия решений более демократичной и прозрачной, а финансово-финансовую систему – более эффективной благодаря использованию информационных компьютерных технологий, отвечающих требованиям сегодняшнего дня.

Однако основным результатом первого международного проекта нужно считать изменение менталитета его участников – преподавателей и управленцев. В академической среде проводилось обсуждение современной философии образования и обучения. Участники проекта на основании полученной в западных вузах информации и обмена опытом с зарубежными коллегами приступили к разработке новых учебных курсов и программ. В дальнейшем это позволило обратиться к вопросам модернизации и реформирования учебного процесса.

Объединение экономических и гуманитарных кафедр в рамках двух факультетов ИСПМ, и, как следствие, их более эффективное взаимодействие дало возможность привлечь фонды программы *Темпус* к реформированию вначале экономического, а затем и социального образования в СГТУ. В рамках этой программы в 1997 году был выигран грант совместного европейского проекта T_JEP-10356-97 «Современное экономическое пространство: распространение рыночных знаний», начавшего действовать в 1998 году. Партнерами СГТУ в данном проекте являлись коллеги из Штутгартского университета (Герма-

ния), Маастрихтского университета (Нидерланды) и Автономного университета Лиссабона (Португалия). В рамках предшествовавшего ему предварительного *Темпус*-проекта PRE-JER_3028-96 были определены основные цели и задачи, которые СГТУ наметил решить в течение 1998-2001 годов:

✓ стратегический переход от традиционной концепции инженерно-экономического образования, основывавшейся на централизованной плановой отраслевой экономике, к построению децентрализованной рыночно-ориентированной модели образования путем внедрения новых бакалаврских и магистерских учебных планов по специальности «Экономика», отражающих социальные и экономические изменения в стране, а также процесс интеграции с Европой;

✓ создание новых специализаций (*экономика и социология труда, коммерция, маркетинг, логистика*) и совершенствование уже существующих (*менеджмент, социальный сервис и туризм, экономика и управление на предприятии*) на базе общеобразовательной программы «Экономика» с соответствующими структурными изменениями в ИСПМ;

✓ разработка новых фундаментальных, а также структурное изменение и совершенствование существовавших курсов: *микроэкономика, макроэкономика, международный бизнес, городская и региональная экономика, европейская экономическая интеграция, управление человеческими ресурсами, стратегический менеджмент, маркетинг* с акцентом на изменившиеся общественно-экономические условия в стране;

✓ организация Диссеминационного центра современных экономических знаний с целью распространения разработанных как в ходе проекта, так и после его окончания учебных курсов, материалов, методических пособий и учебников среди учебных заведений Поволжского региона и страны в целом.

В 1999 году модернизация образования в СГТУ была продолжена в проекте T_JER-10808-1999 «Развитие профессионального образования в области социальной работы в России», который выполнялся на базе кафедры социальной антропологии и социальной работы в содружестве с университетами Бирмингема (Великобритания) и Гетеборга (Швеция).

Результаты сотрудничества

Анализ выполненных проектов и социологические исследования, проведенные западными экспертами по заданию Европейской комиссии в вузах-участниках программы *Темпус* как в Центральной, так и в Восточной Европе, с очевидностью показали, что за редким исключением каждый совместный проект имел свои выгоды и перспективы. Некоторые результаты участия СГТУ в *Темпус*-проектах приведены в таблице.

Некоторые результаты выполнения проектов *Темпус*

Проект	Объем гранта, тыс. евро	Мобильность, Восток-Запад, чел.	Мобильность, Запад-Восток, чел.	Средства на зарубежные стажировки, тыс. евро	Учебно-методические издания, шт.	Стоимость приобретенного оборудования, тыс. евро
JER-10040-95 (1995-1998)	805,05	90	29	319,95	6	132,45
JER-10356-97 (1998-2001)	554,80	82	53	153,38	27	128,70
JER-10808-99 (1999-2003)	499,96	71	44	179,39	15	101,85
Итого	1862,81	243	126	652,72	48	363,00

Так, только в рамках двух образовательных проектов T_JEP-10356-97 и T_JEP-10808-99 разработаны и лицензированы 2 программы магистерской подготовки по направлениям «Экономика» и «Социальная работа»; издан с грифом Минобразования РФ тиражом 1000 экз. учебник «Экономика» для студентов, обучающихся по техническим направлениям и специальностям; разработаны 30 новых лекционных курсов и 6 курсов кардинально усовершенствованы; опубликовано полное учебно-методическое обеспечение этих курсов; открыты две новые специальности и две специализации; проведены структурные изменения в Институте социального и производственного менеджмента СГТУ. Можно сказать, что социальная значимость участия в проекте *Темпус* для российских партнеров состояла в том, что они обеспечили своих студентов и преподавателей новым набором уникальных возможностей, который они не смогли бы предложить им без поддержки *Темпуса*. В течение всех лет действия вышеупомянутых проектов студенты СГТУ имели возможность постоянно слушать лекции и участвовать в семинарах, проводимых преподавателями из университетов Бирмингема, Гетеборга, Штутгарта, Маастрихта, Лиссабона. Преподаватели и студенты получили доступ к современным средствам коммуникации, к библиотечному фонду вузов-партнеров, ознакомились с новыми образовательными технологиями, повысили уровень знания иностранных языков. Большое значение имеет и то, что только на развитие материально-технической базы факультетов и кафедр из средств проектов было затрачено более 230 тыс. евро. Эти факты наглядно демонстрируют, что через академическую активность проекты *Темпус* поддерживают и ускоряют процесс интернационализации образования в Европе.

Другим важным фактором, имеющим большую социальную значимость, является создание в рамках проектов *Темпус* формальных и неформальных сетей между университетами, причем далеко не только непосредственно являющимися членами проектного консорциума. И здесь необходимо выделить положительное влияние мобильности как части проекта *Темпус*. Сотрудники и студенты университетов получили возможность знакомства с различными системами образования и управления вузами.

Академическая мобильность

За годы реализации *Темпус*-проектов в СГТУ на разные сроки приезжали для чтения лекций, проведения семинарских занятий и консультирования 126 представителей западных вузов-партнеров. За это же время 243 сотрудника университета посетили западные вузы, участвуя в стажировках и ознакомительных визитах сроком от одной недели до нескольких месяцев. Среди участников мобильности 64% составляли преподаватели и аспиранты, а 36% – представители административно-управленческих и сервисных подразделений университета (члены ректората, заведующие кафедрами, сотрудники научно-технической библиотеки, информационно-вычислительных служб, управления международного сотрудничества). Изучение различных форм организации учебного процесса принесло пользу всем участникам проекта. Обобщая, можно сделать вывод, что кросскультурная осведомленность об образовательных и исследовательских системах за границей может послужить хорошим фундаментом и условием для совместной академической деятельности в Европе в будущем.

Участники проектов получили представление о культуре, ценностях и обычаях каждой страны. Несмотря на то, что на первых порах незнание особенностей культуры других наций нередко приводило к непониманию, в конечном счете, в большинстве проектов участники научились уважать друг друга и заложили хорошую основу для последующего сотрудничества. Дополнительной выгодой программы *Темпус* как раз и является перспектива продолжения академических, исследовательских и дружеских связей после окончания сроков проектов. СГТУ продолжает сотрудничество, обмен студентами, преподавателями и аспирантами с университетами Тринити Колледж, Дублин (Ирландия), Штутгарта (Германия), Гетеборга (Швеция), Бирмингема (Великобритания) – бывшими партнерами по *Темпус*-проектам. Например, только в

рамках программы стипендий Президента РФ для обучения за рубежом 10 аспирантов и студентов СГТУ прошли годичные стажировки в университетах Англии, Ирландии, Германии, Нидерландов и других стран. В большинстве случаев места стажировок определялись с помощью партнеров по *Темпус*-проектам. Нужно отметить также, что все аспиранты успешно защитили диссертации и продолжают научную и преподавательскую деятельность в СГТУ, работают в зарубежных фирмах или продолжают образование за рубежом.

Ещё одной важной возможностью для формирования партнерских сетей является предоставляемая грантами проектов *Темпус* возможность организации и проведения международных конференций. Так, значительным результатом выполнения экономического и социального проектов стали 10 конференций и семинаров, посвященных международной кооперации университетов в развитии высшего профессионального образования, в которых приняли участие более 420 преподавателей вузов от Владивостока до Москвы и от Перми до Астрахани, представители промышленности, западные партнеры по проектам, а также коллеги из вузов Украины, Армении, Казахстана и других стран СНГ. Были изданы 5 сборников трудов конференций. Естественно, что проведение таких представительных форумов было бы невозможно без финансовой поддержки программы *Темпус*.

Заключение

Большинство участников проектов *Темпус* отмечают, что наравне с профессиональными преимуществами, они получили большое личное удовлетворение от проделанной работы и выполненных задач. Знакомство с людьми, языками и культурами различных стран дало ценное понимание и множество перспектив для будущего сотрудничества. Культурные процессы, вызванные участием в *Темпус*-проектах, в первую очередь привели к изменению отношений и типа мышления как восточных, так и западных партнеров. Для восточно-европейских участников проекты явились действительной школой демократического образа действий и осознанием факта, что демократия прежде всего означает наделение ответственностью. В начале деятельности проектов происходило обучение работе в команде, принятию решений и навыкам сотрудничества. Результатом такой работы стало повышение инициативы участников из постсоциалистических стран, которые очень быстро из категории «образовательного туризма» перешли к равноправному партнерству и сотрудничеству с западными коллегами. Для партнеров из Евросоюза эффект участия заключался в обмене предметным опытом и сравнении образовательных систем, в совместных публикациях и в реализации своих образовательных услуг.

Социальные выгоды и результаты, полученные от участия в программе *Темпус*, влекут за собой не только переосмысление самого учебного процесса и управления им, но также обеспечивают понимание культурных стереотипов других наций, стилей поведения и взаимодействия, которое может послужить хорошей основой для интеграции российской высшей школы в европейское образовательное пространство в рамках Болонского процесса. В то же время необходимы серьезные структурные изменения высшей школы в России, без которых эффективные реформы невозможны. Примером может стать Лиссабонская конвенция, согласно которой все страны обязаны признавать дипломы друг друга. Подписание конвенции не привело к существенному повышению статуса российского высшего образования, более того, некоторые наблюдатели отмечают дискриминацию России в отношении сертификатов о полученном образовании. Это говорит о том, что для признания в Европе и вхождения в зону высшего образования в качестве равноправного партнера, российской высшей школе необходимо провести серьезные реформы. Процессы глобализации требуют новых подходов к модернизации как содержания, так и управления образованием. Поэтому участие в Болонском процессе и различных международных программах сотрудничества должно стать реальным механизмом реформирования высшего образования в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Делягин М. Осень глобализации // Новые рынки. 2001. № 4. С.35-43.
2. Уткин А.И. Глобализация: процесс и осмысление. М.: ИК Логос, 2001. 339 с.
3. The European Higher Educational Area. Joint Declaration of the European Ministers of Education, convened in Bologna on the 19th of June 1999.
4. Штриков Б.Л., Николаев В.А. Модель обеспечения качества подготовки специалистов на основе требований международных стандартов ISO серии 9000 // Инновации в высшей технической школе России: Вып.1. Состояние и проблемы модернизации инженерного образования: Сб. ст. / МАДИ (ГТУ). М., 2002. С.193-206.
5. Захаревич В.Г. Международная аттестация как основа академической мобильности // Инновации в высшей технической школе России: Вып.1. Состояние и проблемы модернизации инженерного образования: Сб. ст. / МАДИ (ГТУ). М., 2002. С.272-283.

Слепухин Александр Юрьевич –

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Общая физика»

Саратовского государственного технического университета.

УДК 316.334:37

В.Н. Ярская

РЕСУРС СВОБОДЫ: ОБРАЗОВАНИЕ КАК ИНСТИТУТ РЕФОРМИРОВАНИЯ

Статья посвящена актуальным проблемам реформирования отечественного образования. Рассматриваются различные барьеры реформ и социальные ресурсы реформ в качестве резерва обновления образования. Освещаются проблематика нового типа отношений «преподаватель – студент», а также вопросы социальной интеграции инвалидов в систему образования России.

V.N. Yarskaya

FREEDOM RESOURCE: EDUCATION AS AN INSTITUTION OF REFORMATION

This article is devoted to the important problems of Russian education. Various barriers of the reforms and the social aspects of reforms as factors of educational renovation are described here. The article emphasizes on a new type of relationships – “professor – student”. The author underlines the importance of social integration of people with disabilities in the system of education of Russia.

В центр дискуссий о реформировании нашего общества чаще попадают проблемы реформы экономики, и гораздо реже – реформирования других социальных институций. Что самое интересное, реформа образования обсуждается как дочерняя по отношению ко всем

другим социальным изменениям. Вместе с тем отечественное образование помимо собственной институциональности включает сегодня целый комплекс организационных и политических групп проблем, которые ждут своего решения именно в силу своей коренной и сущностной значимости по отношению к социальным и социетальным изменениям. Отдельные же успехи и островки нового подхода – не массовая ситуация, а всего лишь точки прорыва, бифуркации в нелинейных процессах.

А ведь не только вслед за сменой власти и форм социального контроля, эволюцией научной рациональности неизбежно сменяются характер межкультурного взаимодействия, педагогические доктрины, престижность профессий и парадигмы образования, образовательные программы. Есть и обратный процесс, и он становится очевиднее с каждым днем – но, разумеется, для тех, кто эту очевидность фиксирует.

Российская система высшего образования построена на зависимости от центра, учебно-методических объединений, среди которых есть зарекомендовавшие себя бюрократизмом и низким профессионализмом. Изменение глобальных целей образования требует изменения сферы административного управления, отношения к персоналу, делового климата. Если высшая школа становится на службу экзистенциальному субъекту, в том числе при помощи виртуальных средств, а прозрачные стратегии образования начинают следовать новым принципам, то и власть вынуждена становиться более открытой, гибкой, сменяемой. В силу рекурсивности образования общественному устройству его модели оказывают существенное влияние на социальные процессы, а массовое образование выступает прямым инструментом общества.

Реформа – это и риск, и ресурс свободы

Качественная модернизация образования предполагает достижение мирового уровня подготовки, реализуемого в национальных стандартах и региональных социальных условиях. Это – наличие правовой и законодательной базы, единых требований, сертификационных испытаний для всех субъектов образования.

Новый социальный слой, состоящий из обеспеченных людей, которые сделали свое состояние в условиях экономических реформ, является предметом пристального журналистского и научного интереса, о чем свидетельствует значительное число публикаций за последние пять лет. Данное обстоятельство вызывает интерес исследователей потому, что представляет новое социальное явление, и в связи с тем, что среди политической элиты стали появляться представители этой группы. С одной стороны, их обвиняют в криминальном прошлом, не менее криминальном настоящем, плохом образовании и низком уровне культуры, а с другой, с ними связывают развитие рыночной экономики, необратимость реформ, культурное возрождение России. Стремление представителей нового слоя дать детям западное или качественное отечественное образование еще не имеет в обществе однозначной оценки, понимания.

Институт образования подобно другим институтам представляет собой механизм устойчивого воспроизводства определенных практик, диспозиций и социальных ситуаций, в этих процессах происходит реконверсия ресурсов каждого участника образовательной встречи в решение жизненных, экзистенциальных проблем, хотя изначально для этого процесса в обществе нет ни традиций, ни посредников. Для сохранения доминирующих позиций в обществе в процессе создания новых социальных позиций важную роль играет культурный капитал, который складывается из чтения книг, посещения музеев, театров, образовательного капитала – личной собственности обладателей дипломов и ученых степеней.

Стратегии модернизации российского образования

В роли социального института образование конструирует основы социального порядка и безопасности, моделирует социальную интеграцию, хотя оно само контролируется и эксплуатируется политической элитой. Этот важный институт напрямую связан

с эффективностью социальной политики, которая наряду с обеспечением достойной жизни определяет развитие человеческого потенциала через образование и профессию. Кроме того, формируя экзистенциальное самочувствие, реализуя жизненный успех, образование становится политической и культурной ценностью общества. Ясно, что реформирование образования останется декларацией, если не будут реализованы потребности общества в трансформации образовательных программ, обучающих моделей, профессий, форм контроля.

Барьеры отечественных реформ

Эти барьеры коренятся в монокультурной доминанте и конвейерной модели системы образования, направленной на дифференциацию знания, утилитаризм, слабую мотивацию и отсутствие гласности. Массовая школа остается единообразной, сохраняя примат информированности над культурой, централизацию контроля, непрерывные проверки всех уровней. Вузовские преподаватели – это около 80% всего академического сообщества – при формировании факультетов экономики, менеджмента, права во многих местах пытались отразить спрос вне мирового рынка, а в результате деформировались специальности. На многие кафедры рекрутировались специалисты из старых рядов, либо со стороны, по старинке и сейчас готовят большинство экономистов, а иногда и социологов – без инструментария, без эмпирических исследований.

Консервативные силы отрицают западный опыт, регионализацию. Только институты общественного мнения, пиаровские структуры и новые кафедры привлекают новые мобильные кадры. Продвинутое факультеты, кафедры и университеты стали формировать направления, академизм нового типа, магистерские программы.

Понятие непрофильных вузов ослаблено, так как в недрах технических вузов появились мобильные продвинутые коллективы, понимающие важность преподавания в вузе инструментальной науки. При этом дыры в образовательном поле заполняют не только финансы, ресурсы – это не только деньги, это и авторитет, и добывание истины.

Проблема адаптации и трудоустройства

Трудоустройство молодых выпускников оказывается стратегическим направлением модернизации образования, проявились диспропорции на молодежном сегменте рынка труда, низкая конкурентоспособность потоков молодежи учебных заведений всех уровней, жесткое разделение функций образования и занятости, ограниченность узкоспециализированной профессии. Профессиональный и квалификационный уровень большинства выпускников не соответствует требованиям рынка труда, налицо запаздывание адаптации к условиям рынка, непродуктивная трата бюджетных средств, отсутствие готовности работодателей реализовывать кадровую политику, ориентированную на выпускников образовательных учреждений.

Стремление общества к профессиональной мобильности и большей адаптивности молодежи реализуется в сфере образования и занятости как расширение гибкости и универсальности специальностей и профессий. Узкий профессионализм оказался роковым фактором для выпускников, неадекватность системы подготовки состоянию рынка труда способствовала развитию дисбаланса профессиональной структуры спроса и предложения, безработицы молодых специалистов.

Единство входящих в гражданское общество социальных страт определяется не степенью зажиточности, общностью идеологии, но свободой выбора. Поиск новых стратегий идет в направлениях гражданского образования как обучения толерантности, диалогу культур и совместных проектов. Обязательной стратегией адаптационного единства оказывается объединение ведомственных усилий, работа в команде на высоком уровне.

Отношения преподавателя и студента

Эти отношения должны утратить характер принуждения, перейти к сотрудничеству. Императив преподавания в основном *рассказ – я вам расскажу о...* А желательны – *беседа, дискуссия, совместный поиск – поговорим о...* Это – конструирование друг друга. Студенты и преподаватели часто не умеют работать с *текстом*, анализировать, аргументировать, находить контраргументы.

Важно не учить, а обучаться вместе, и проблемы изменения квалификации преподавателей решают теперь не институты или курсы повышения квалификации, а мобильность, знание языков, гранты, изучение мирового опыта. Отечественная школа часто выступает звеном прошлого авторитарного государства, сохраняя властную дистанцию, регламентацию, принудительность обучающих процедур, традиции обезличивания, отождествления отметки с личностью, ярлыком. Студент – подчиненный объект обучения, он всегда *должен*; преподаватель – командир, судья и абсолютно *прав*. Эти взаимоотношения есть и на других уровнях: кафедра – ректорат, вуз – министерство.

Представители социально-экономического блока образования испытали шок в повороте от марксизма, но при этом лишь единицы поняли, что следует реформировать не только теорию, но и сменить инструментарий, в том числе, например, статистику, перейти от привычной идеологии к требованиям рынка, социального государства, солидарности и партнерству. В основном социологи и политологи не имели профессионального образования – это бывшие философы, историки, они проходили ускоренную школу. Многие преподаватели характеризуются фрагментарностью знаний, их трудно заставить учиться, существует зависимость от переводной литературы, и сами переводчики оказываются часто вне контекста современной социокультурной ситуации.

Возрастной разрыв преподавателя и студента в такой ситуации воспринимается слишком большим, если он измеряется тремя-четырьмя поколениями, между ними нет мостика, они не находят общего языка. Опасение вызывает крайняя идеологизированность отдельных преподавателей – вместо политологии, по оценкам студентов, преподается некая партийная идеология. В некоторых вузах политология воспринимается еще как научный коммунизм, не преодолевается размытость предмета, темы часто пересекаются, сохраняется зыбкость определений.

Не все умеют преподавать и понимают, любят молодежь, наши учебные планы часто перегружены, студенты живут от лекции к лекции, от урока к уроку, а не в творческом поиске. Чтобы быть преподавателем, нужна многоаспектная мотивация, как интегрироваться со студентом, учеником, привлечь его к исследовательской работе. Преподаватель вуза, бесспорно, выступает исследователем, ученым, билингвистом, иначе он не может что-то дать студенту на мировом уровне. К сожалению, преподаватель выше среднего возраста, свободно владеющий хотя бы одним иностранным языком – как правило – редкость, при этом наиболее фундаменталистская часть противников рынка – это старые гуманитарные кадры вузов и школьные учителя.

Теория в конфронтации с практикой

Ахиллесова пята устаревшей модели и еще существующей парадигмы обучения – отсутствие трудовой этики, оторванный от жизни теоретизм, не содержащий цель как реализацию стандартов поведения в рынке. Разница между марксистско-ленинской теорией и современными социальными и экономическими науками – наличие многих приложений, из теоретической системы – в реальное общество, и обратно. Например, необходим культурный контекст в социологии, экономике: индустриальная социология или экономика, социология либо экономика разных культурных эпох. Отечественный контекст еще важнее: необходимо говорить о том, что случилось в России. И при этом желательна междисциплинарная кооперация, а не бастион между социальными и экономическими науками.

На первый взгляд неплохой преподаватель заставляет студентов учить *все*, что неверно по существу. Современное образование избегает пустых абстракций, все связано с реалиями, хотя главное фокусируется в теории, которая должна пониматься как весь арсенал культуры, человеческой мысли. Должен быть принцип – не оставаться исключительно в поле теоретической дисциплины, обращаться к социальным практикам, а в самой теории шире – к междисциплинарным исследованиям: социологии, экономике, политологии, истории, и это принципиально не только для преподавателя, но и для кафедры, института, университета.

Социальное образование, к примеру, отражает в своем функционировании все те проблемы, которые присущи социуму и сопровождают процессы общего и профессионального образования в России. Вместе с тем отмечается любопытный факт отставания практики служб социальной сферы от государственных стандартов социального образования, в том числе и в аспекте профессионализма и компетентности самих специалистов. Для сравнения можно указать противоположную ситуацию с инженерным образованием, часто отстающим от мировых технологических инноваций.

Теория не должна быть в конфронтации с практикой, необходимы приложения, выход в мир, сокращение абстрактного теоретизирования в пользу расширения связи с жизнью. Прикладной характер образования выдвигает требование отойти от традиционных рамок привычной логики, ознакомиться с практикой продвинутых отечественных и зарубежных вузов, обновление курсов является жизненно необходимым для отечественного образования. Наступила пора оценивать и поощрять методы и стили обучения как существенные технологии для передачи знаний и нравственного воспитания.

Ресурс поиска (по следам экспертизы вузовских проектов)

* Навык разработки проектов и конструирования образовательных программ часто отсутствует. Нет методологии совершенствования системы социологической подготовки специалистов, демократизации, привлечения персонала к участию в проекте, трансформации международного опыта, партнерских связей.

* Планируемые результаты представлены узко, ожидаются в области одной дисциплины, тематика не соответствует идеологии программы, не раскрываются методология, инструментарий проекта, детали стажировки.

* Не выражено лицо социологов вуза оригинальными социологическими текстами и европейскими языками, отсутствует возможность глубоко прописать инновационность проекта, привлекательность идеи.

* Встречаются устаревшие формулировки, список текстов к хрестоматии не содержит оформленный научный аппарат, отсутствуют выходные данные.

* Отсутствуют концепция новой подготовки специалистов в области экономики, механизмы реформирования базовых курсов, приобщения студентов к мировому уровню, идеология глобализма и взаимодействия культур, неясна стратегия курсов ввиду отсутствия аннотаций и рабочих программ.

* Часто умножается число серых абстрактных учебников и лекционных курсов по общей социологии, отсутствует лицо автора. Включение курса из цикла ГСЭ не связывается со специальностью, демонстрируется непонимание многоуровневой подготовки.

* Просматривается подмена функций УМО видами деятельности по гранту; вместо горизонтальных партнерских связей выстраивается традиционная вертикаль подотчетных вузов, ведущих подготовку специалистов.

* Нет разработанной стратегии в реформировании социологического образования, демократизации управления научными исследованиями, трансформации международного опыта и развития партнерских связей.

* Руководство вуза часто неохотно поддерживает инициативные группы для участия в продвинутых проектах Национального фонда подготовки кадров, ссылаясь на вето консервативно настроенных юридических консультантов и бухгалтерии.

Университетский ресурс

Без университетского потенциала эффективная ротация кадров социальной сферы неосуществима, тормозится профессионализация, игнорируются усилия региональных научных школ. Примером может служить учреждение в регионах филиалов Московского социального университета, поддерживаемых целевым финансированием из федерального Министрства для предоставления образовательных услуг работникам местных социальных служб, несмотря на существование в регионе мощных региональных научно-педагогических школ. Работники социальных служб лишаются контактов с академической средой, где вырабатываются квалифицированные кадры, проводятся исследования социальных проблем. В практике университетский уровень обучения порой занижен или вовсе предан забвению.

Вместе с тем становится все яснее, что семинары надо посвящать конкретным текстам, а не возвращаться к лекции и учебнику. Когда снижены требования к контролю знаний, то одновременно появляется показуха в оценках, студенты порой *требуют* хорошей оценки. Стратегия *студенты – обучение – исследования* как принцип воспитания студента исследователем игнорируется, вместо университетских курсов появляется, например, некая паранатура – например, сообщается *решиительно все об обществе*, но исчезают логика и концептуальный аппарат, язык социологии, его согласованность с системой обучения и науки.

Уровни социального неравенства в системе образования

1. Первый уровень – это *неравенство в распределении внимания государства и общества к различным сферам жизни общества и человека*. Мы отмечаем неравенство *условий в развитии* не только страт и индивидов, но и отдельных сфер жизни, в том числе образования. Не стоит упиваться иллюзиями, что наше образование лучшее в мире, чиновники с гордостью говорят об утечке талантов как иллюстрации интеллектуальной состоятельности нашей системы образования, при этом подтверждая несостоятельность государственную и экономическую. Образовательная сфера находилась на задворках внимания власти и общества, принцип остаточного финансирования привел к заметному снижению качества образования, и сложилась ситуация исторического цейтнота в потере культурных, научных, профессиональных традиций. На деле экономика образования определяется высшими национальными интересами, стратегией развития, и процветание страны конструируют ее граждане, а не природные ресурсы, поэтому нужен переход к режиму полного благоприствования.

2. Различные сложившиеся формы неравенства внутри ее рыночной системы.

Следствием такой структуры образования стала жесткая иерархия высших образовательных учреждений, на вершине которой располагался Московский государственный университет, далее находилось несколько других крупных университетских центров, и в основании располагались остальные образовательные учреждения. Специализированные высшие учебные заведения структурировали аналогичную иерархию.

Заметим, что далеко не все параметры, обозначенные в данной характеристике, остались в прошедшем времени. До сей поры остается не только структурная централизация процедур и учреждений образования, в том числе и в организации присуждения ученых степеней, но сохраняется ограничение стандартным взаимодействием кодов культур. То есть здесь проявляется парадокс системы: ее собственная рефлексия оказалась невозможной в ее же границах, системе концепций, принципов и парадигм. Однако в законе об образовании

управление будет носить государственно-общественный характер. Уже сейчас к этому причастны Союз ректоров России, школьные советы попечителей.

Высшие учебные заведения, где сосредоточена большая часть научного кадрового потенциала и готовятся научные и инженерные кадры, порой лишены возможности вести серьезные исследования в рамках привычного бюджетного финансирования и отсутствия современной материально-технической базы. Медленно внедряются информационные и телекоммуникационные технологии, проявились резко негативные стороны рынка в образовании: коррупция, нездоровая конкуренция, примитивизация книг и пособий. Дистанционные формы уравнивают образовательные шансы, но проблемы неравенства остаются нерешенными, информационные технологии доступны не всем. Поэтому косметическими средствами систему образования не вылечить, нужно радикально перестраивать систему приоритетов, образование нуждается не в локальной модернизации, решающей тактические задачи, а в масштабной реформе, ориентированной на стратегические цели.

При переходе от ситуационных решений к долгосрочной программе действий, от узковедомственной к общественно-государственной системе управления в вузы предлагается принимать на первый семестр всех желающих платно, по итогам первой сессии переводить на стипендии наиболее успевающих. Если ориентироваться на систему европейских университетов, там существуют единые условия для желающих поступить до проверки результатов первой сессии. Зачем родителям оплачивать всевластие вступительной комиссии, можно легально оплатить образование.

Можно утверждать, что процесс децентрализации административного государственного управления стимулирует и децентрализацию образования, а развитие институтов гражданского общества демократизирует отечественную школу. Сам центр попытался разрушить старую иерархию, однако эта попытка сводилась к косметическим исправлениям: на место старой иерархии предлагалась новая, столь же централизованная. Поэтому реформы важны с точки зрения повышения профессионализма, социального статуса, благосостояния, хотя в определенном смысле сохраняется оторванность образовательного пространства от конкретного социального и географического контекста. Неустойчивость социальных характеристик, образовательное неравенство, пространственная сегрегация неизбежно сопровождаются расширением поля риска, разрушением ценностей, затруднениями реконверсии капитала и диалога культур.

3. Классическая роль образования состоит в сохранении и отчасти сглаживании социального неравенства. В качестве модели социальной системы, механизма социальной интеграции образование на самом деле контролируется и эксплуатируется политической элитой и оказывает влияние на социальные процессы. Важной функцией обязательного образования является социальный контроль: оно готовит послушных членов общества, принимающих его основные ценности. Участвуя в социальной интеграции индивида, образование решает вопросы формирования гражданского общества. Большинство вузовских педагогов принадлежит к группировкам под названием научная школа или УМО по специальности, они должны быть верны принципам направления, которые объединяют их поведение. Преподаватели редко рассматривают педагогические дискуссии как центральные для академической работы, а практику обучения – как работу, которая обогащает научное сообщество. Архаичные кафедры, ничего не создающие в своей деятельности, прорываются к власти, руководят бюджетами новых кафедр. Осуществляются идеи, что руководство кафедрой и даже университетом должно осуществляться не лидером научной школы, а простым администратором.

4. Идея введения унифицированной формы как попытка завуалировать социальное неравенство. Ради этой идеи задействованы огромные лоббистские силы, швейная промышленность, менеджеры рассчитывают на госзаказ миллионов пиджаков и передников, забывая о существовании собственных детей и их интересов. Разговоры о возвращении униформы –

свидетельство похолодания в отечественном образовательном пространстве – несмотря на декларируемую приверженность ценностям гражданского общества и правового государства. В поддержку приводят мнение неких школьных психологов, что отсутствие школьной формы высвечивает социальное неравенство, дифференциация общества по имущественному положению вызывает у детей дискомфорт. Ожидается смена образовательной парадигмы: из элитного образования, привлекающего меньшинство молодежи, высшее образование с учетом всех его уровней станет фактически общедоступным. Такая тенденция больше сближена с позицией ЮНЕСКО, связанной с идеей общества, в котором постоянно обучаются все поколения, без исключения. Новым фактором для ситуации в России является несомненное расширение предложений в области образования, но школьная форма – символ построения обучения по индустриально-технократическому, фабрично-армейскому принципу. Лицемерно закрывать глаза на процессы, объективно происходящие в российском обществе.

5. *Неравенство как культурное разнообразие.* Разнообразие содержания, форм и методов обучения, типов иногда интерпретируют не как широкий спектр образовательных услуг, а как неравенство права, вариации отдельных образовательных систем для: детей-инвалидов, детей с выраженными способностями, различных регионов, мальчика и девочки, жителя села и города, крайнего Севера, центра России.

6. *Неравенство в уровне и качестве обучения.* Расширение возможностей предложений, вариативность образования не означают автоматически высокого качества обучения. Многие вузы все еще выступают звеном прошлого авторитарного государства, сохраняя властную дистанцию, регламентацию, принудительность обучающих процедур. Чтобы приблизить театр обучения к задачам изменения общества, необходима модернизация образования в приближении к социальной компетентности, духовности свободного гражданина, новая национальная доктрина могла бы стать стратегией по преодолению кризиса, восстановлению статуса России в сфере образования. Хотя педагоги не привыкли обращаться к правам человека, арсеналу социальной работы, гуманистическим идеологиям общения, важными функциями образования выступают рекреационный и социально-терапевтический эффекты, переход к многообразию, культурному плюрализму.

Сохраняется недостаточный уровень разработки научных проектов и образовательных программ, методологии подготовки специалистов, реформирования базовых курсов, приобщения студентов к мировому уровню. Законсервированное внутренними нормативами, далекими от реальных процессов в сфере занятости, учебное заведение не заботится о привлечении персонала к участию в проектах и демократизации внутренних отношений. Не все коллективы способны к международному сотрудничеству.

7. *Неравенство социальной компетенции выпускников.* Проблема трудоустройства молодых выпускников оказывается стратегическим направлением модернизации образования, которое заставляет усомниться в плодотворности взаимодействия отечественных институтов семьи, образования, занятости. В системе образования отсутствует систематическая адаптационная работа, которая содействует профессиональному самоопределению с учетом ситуации. Есть попытки организовать систему сопровождения профессиональной карьеры, программы обучения технологиям поиска работы, информировать о возможностях обучения, получения дополнительных специальностей. Стремление общества к профессиональной мобильности и большей адаптивности молодежи реализуется в сфере образования и занятости как расширение гибкости и универсальности специальностей и профессий, хотя у нас еще достаточно противников многоуровневой подготовки, создающих барьер благополучному трудоустройству выпускников.

8. *Увеличение длительности школьного обучения не отменяет социальное неравенство.* Это не оградит от наркотиков и асоциального поведения, а наоборот, может подтолкнуть к ним, искусственно созданные тепличные условия лишь затруднят процесс социализации.

ции. Остается нерешенным вопрос о призыве в армию, будут забирать сразу по выдаче аттестата, лишая выпускников возможности попытаться поступить в вуз. Это является мотивацией для поступления в институты большинства выпускников мужского пола, но армия – не та школа жизни, которую должны проходить решительно все.

9. В силу *неравенства в социальном статусе с другими стратами общества* часто лучшие преподаватели уходят, меняют профессию. Необходимы условия достойной жизни и уважение прав самих учащихся, повышения качества образования, доступности: советская система образования давала возможность человеку из низов пробиться, характерным примером являются представители властной элиты, большинство губернаторов. Ситуация, когда некий класс не может реализоваться в конкретных условиях, потенциально опасна.

10. *Отношения преподавателя и студента должны утратить характер неравенства, перейти к сотрудничеству, взаимопомощи.* Позднесоветская и нынешняя высшая гуманитарная школа уступает по своему уровню не только дореволюционной, но и раннесоветской, когда было еще заметно то, старое, дореволюционное эхо. Бюрократическая педагогическая система – это одна из наиболее реваншистских и реакционных сфер общества, к тому же в предлагаемой реформе образования не видно цельной концепции.

Традиционная система образования старается скорее сохранять культурные ценности, нежели способствовать развитию культуры; готовить управляемых исполнителей, нежели способствовать развитию личности, под гнетом сурового подавления вырастают невротики, лишённые творческой инициативы и вкуса к жизни. В новых стратегиях школа реализует молодежную политику на индивидуальном и групповом уровне, меняется соотношение ролей, которые преподаватели и студенты играют как партнеры в становлении гражданского общества. Педагог выступает по отношению к ученику вначале как социальный работник, затем играет роль социального менеджера в жизни молодого человека, оказывая ненавязчивое влияние на изменение ценностных мотиваций, поиск личностных ресурсов. Лучше относиться к студентам как молодым ученым, чем как стареющим школьникам, научный и педагогический труд совмещены в лице вузовского преподавателя, научные достижения по короткой траектории становятся достоянием учеников.

11. *В целях преодоления гендерного неравенства* школа выступает как институт эмансипации и позитивной коммуникации между полами, предоставлены равные возможности обучения юношам и девушкам, но воспроизводство гендерного неравенства присутствует подспудно, скрытно, хотя иногда становится достаточно открытым.

Постсоциалистический патриархатный ренессанс воплощается в гендерной асимметрии секторов экономики, феминизации безработицы и бедности, особенностях женского рынка рабочей силы, образовании и массовой культуре. Раздельное обучение мальчиков и девочек углубляет социальное неравенство как противоречащее ценностям цивилизованного общества и правам человека.

12. *Неравенство возможностей образования для инвалидов.* Чем больше вариантов реформирования образования порождают чиновники в кабинетах, тем яснее становится, что об одной проблеме российского образования они не догадываются – ни слова об образовании детей-инвалидов, острейший, важный и неразработанный аспект реформы образования – социальная интеграция детей с отклонениями в развитии, созвучная концепции нормализации и устранения социального исключения. По выводам исследований, в России параллельно с процессом классовообразования в понимании Маркса идет процесс *социального исключения* людей, чья позиция не может быть охарактеризована лишь как классовая, но отличается маргинальностью, периферийностью по отношению к социальной структуре общества в целом. Их положение характеризует, с одной стороны, особое место в системе производства и распределения материальных благ, а с другой, низкий социальный статус, непрестижность и специфический стиль жизни. Складывается парадокс

сальная ситуация: проблема интеграции, важность решения которой признана на государственном уровне, решается на энтузиазме отдельных подвижников. Только тогда, когда дети-инвалиды будут учиться в общеобразовательных школах, мы будем говорить, что в России есть гражданское общество.

Иные представители вузовских ученых толкуют нетипичность в традициях дискриминационного языка и готовы признать полезной лишь ее часть, в направлении одаренности, успешности, и в итоге чувство превосходства перед человеком ограниченных возможностей, нетипичным, выступает как определенная форма расизма, академической отсталости, нравственной запущенности. Неравенство выступает барьером их профессиональной карьеры, свидетельствует о социальной дискриминации нетипичных людей, их положение отличается периферийностью в структуре общества, низким социальным статусом, специфическим стилем жизни. Все говорят о необходимости реформ в образовании, однако содержание доктрины не полностью учитывает современную ситуацию. Это самая настоящая образовательная сегрегация, прав у детей с ограниченными возможностями на получение образования в образовательных учреждениях общего типа нет.

Ресурс скрытого учебного плана

Данный ресурс связан с подходом, который обращает внимание на неформальные, неявные стороны учебных практик, это те ценности, нормы, аттитюды, которые включаются независимо от темы или предмета. Скрытый учебный план заложен не только в предмете, но и в том контексте, в котором работает преподаватель. Речь идет об организации учреждения, содержании предметов и стиле преподавания. Эти три измерения скрытого учебного плана не просто отражают гендерные и возрастные стереотипы, но и поддерживают социальное неравенство.

Стиль преподавания, формы коммуникации в учебной аудитории также влияют на социализацию учащихся. Новые возможности, принципы гендерного равенства в образовании могут осуществляться в пространстве игры и свободы, где отказываются от муштры, агрессии и дрессировки в пользу мягкости, деликатности и уважения. Учащийся и преподаватель выступают партнерами, которые совместно и активно планируют изменения, контролируют успехи и оценивают качество достигнутого, открыто обсуждают конфликты и находят способы их разрешения. Поэтому сама организация учебного процесса предполагает открытость и гибкость, возможность экспериментов и альтернативных решений наряду с традиционными. Малый размер групп обеспечивает индивидуальный контакт и работает на сокращение властной дистанции. Тем самым оказывается возможным дифференцировать задачи в зависимости от уровня подготовленности, при этом как со стороны учителя, так учеников важны терпимость и понимание.

Скрытый учебный план возможно трактовать как социальный текст, который имеет смысл в том случае, когда он читается и интерпретируется учащимися, учителями и другими акторами учебного процесса, различными членами организации, всевозможными субъектами образования. Так проявляет себя герменевтическая перспектива в исследовании скрытого учебного плана, употребляется термин «интервенция», популярны проекты совершенствования обучения, изменения студенческой жизни. Ведь процесс формирования персональной, культурной и социальной идентичности в большой степени является процессом отрицания тех или иных возможностей.

В традиционной концепции образования обучение отделяется от воспитания границами учебного плана и аудиторий. В современном образовании процесс обучения полагают не только трансляцией формального знания, но и формированием социально-психологического благополучия обучаемых. Наряду с обновлением технологий обучения, активизирующих самостоятельную работу студентов, важным становится формирование социокультурной сре-

ды школы и вуза, позволяющей гарантировать соблюдение прав человека, удовлетворить индивидуальные потребности субъектов образовательного процесса. Рефлексия скрытого учебного плана позволяет осуществить создание особой среды, личностный рост, социальную компетентность и адаптацию, полноценное участие в учебном процессе, формирование толерантности, способствует независимости, уважению человеческого достоинства.

Социальный ресурс

Социальные проблемы образования активно разрабатываются в нашей научной школе. Классическая интерпретация образования как социального института состоит в признании его основой социального порядка, системы ценностей, социальной интеграции и одновременно механизмом отбора, селекции, обучения статусным культурам. Образование конструирует уникальный трансферт целей социального развития, плюрализма методологий и практических стилей обучения, это *образование новой реальности*. Достижение мирового уровня подготовки реализуется в национальных стандартах и региональных культурах, по-разному проявляя профессиональную, конверсионную, экзистенциальную функции.

В функциях УМО вместо горизонтальных связей выстраивается традиционная вертикаль подотчетных вузов, нет новых курсов в недрах переименованных кафедр. Мы не должны быть в плену иллюзий: еще слаб интеграционный потенциал, сильна дистанция между центром и регионом, не везде тематика занятий соответствует идеологии социальной политики, недостаточно раскрываются методология и инструментарий курса, университетская профессура держит дистанцию со студентами. Творческие коллективы могут наказывать за плохое ведение бумаг, хорошо ведущие документацию коллективы часто далеки от творчества.

Новые стратегии российского образования – в инновационной модели, универсализации, *расширении свободы выбора, смене генерации* профессорского состава, участии в становлении гражданского общества. Важным аспектом реформы выступают: социальная *интеграция детей с отклонениями*, созвучная концепции нормализации в контексте устранения социального исключения; появление подготовки социальных работников. Это характеризует глубинное реформирование образования, рост гуманитарных специальностей, академических свобод, хотя социальное университетское образование – это не массовая ситуация, а определенный *прорыв*. И я прихожу к выводу, что можно систематизировать основные принципы методологии университетского образования по данному направлению.

Новая концепция образования возможна, если радикально перестроить систему общественных приоритетов, обеспечить обучение в мировых стандартах. Образование становится политическим активом и культурной ценностью российского общества, а соблюдение прав человека и преодоление дискриминации в отечественном образовании и воспитании не имеет альтернативы. Политика в образовании значима для исторической судьбы страны, это естественное поле общественного согласия, солидарной ответственности личности, общества, государства.

Ярская Валентина Николаевна –

доктор философских наук,

профессор кафедры «Социальная антропология и социальная работа»

Саратовского государственного технического университета

ЮБИЛЕИ

Владимир Григорьевич Каширский

ПУТЬ УЧЕНОГО

3 июня 2004 года исполняется 90 лет со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, доктора технических наук, профессора Владимира Григорьевича Каширского, проработавшего в Саратовском государственном техническом университете около 50 лет, первого заведующего кафедрой промышленной теплотехники и декана энергетического факультета СГТУ, крупного ученого и основателя Саратовской научной и инженерной школы в области газификации, термической переработки и комплексного энерготехнологического использования твердых топлив.

Выполненные под руководством В.Г.Каширского фундаментальные исследования процессов пиролиза твердого топлива (торф, бурые угли и горючие сланцы) послужили основой для создания под его непосредственным руководством оригинального направления в технологии комплексного энергохимического применения этих дешевых видов энергетического топлива, запасы которых в нашей стране практически неисчерпаемы.

В.Г. Каширский родился в селе Лопатино Петровского уезда Саратовской губернии. Склонность к творческой деятельности проявилась у В.Г. Каширского рано. Учась в седьмом классе, он разработал устройство для удаления твердых частиц из дыма, за которое в 1931 году получил авторское свидетельство об изобретении за № 22834.

Так был начат большой творческий путь молодого изобретателя в теплотехнике.

После школы Владимир Каширский поступает на учебу в Саратовский индустриальный техникум на теплотехническое отделение.

С интересом он осваивает теплотехнические дисциплины, готовясь к трудовой деятельности в развивающейся промышленности страны.

После окончания техникума, работая на промышленных предприятиях Саратова, Сталинграда, Москвы, молодой специалист публикует ряд научных статей по производственным вопросам и по проблеме газификации твердых топлив. Последующая учеба в Московском институте стали (1936-1941 гг.) послужила началом направленной научной и инженерной работы в области газификации твердого топлива. В начале 1941 года В. Каширским были начаты работы по изучению газификации сланцев в пылевидном состоянии на торфоопытной станции в Тверской области. Там был построен опытный генератор. В июле 1941 года все работы прервались: в Подмоскowie полыхала война, немецко-фашистская армия наступала на Москву.

В 1941 г. молодой инженер после окончания Московского института стали был направлен на работу в г. Саратов. Его трудовая деятельность продолжается на Саратовском заводе «Серп и молот».

В военный период в Саратове ощущался острый топливный дефицит, который, в частности, погашался использованием в качестве энергетического топлива саратовских горючих сланцев.

В.Г. Каширский, опираясь на свой научный и практический опыт, приобретенный во время учебы в вузе, внес в областную плановую комиссию предложение о более эффективном использовании сланцев Саратовской области путем их газификации.

После рассмотрения в указанной комиссии предложений В.Г. Каширского, по решению областного руководства В.Г. Каширский переходит на работу на Саратовскую ТЭЦ-1, где применялись в качестве топлива горючие сланцы. Молодому специалисту было поручено совершенствовать использование горючих сланцев на этом предприятии. Здесь впервые была построена опытно-промышленная установка по газификации пылевидного сланца. Под руководством инженера Каширского были выполнены работы по совершенствованию совместного использования горючих сланцев и природного газа в качестве энергетического топлива.

Все последующие годы и до настоящего времени проблема использования сланцев Поволжья в деятельности В.Г. Каширского занимает одно из главных мест.

В недрах Саратовской области в первой половине прошлого столетия были открыты крупные месторождения горючих сланцев, нефти и природного газа. Добыча горючих сланцев в Краснопартизанском и Озинском районах и применение их в качестве топлива на Саратовской ТЭЦ осуществлялись с 1934 по 1956 гг. Однако, из-за несовершенства технологии сжигания такого многозольного и высокосернистого топлива, как горючие сланцы, этот вид топлива оказался неконкурентоспособным по отношению к природному газу саратовских месторождений, что привело к постепенному прекращению добычи сланцев и закрытию шахт.

За истекшие десятилетия многое изменилось. В Заволжье были открыты новые перспективные месторождения горючих сланцев и нефти, усовершенствована техника переработки и сжигания органического топлива. В связи с этим В.Г. Каширский считает, что топливно-энергетический комплекс Саратовской области сегодня должен развиваться согласно требованиям нового времени, а это возможно только при сочетании добычи и эффективного использования всех видов органического топлива, имеющихся в недрах нашей области.

По состоянию на 01.01.2002 г. топливные ресурсы в недрах области оцениваются следующим образом: извлекаемые ресурсы углеводородного сырья (нефть, природный и попутный газы) – 1128,4 млн тонн нефтяного эквивалента, горючие сланцы – 10,2 млрд тонн кондиционного сланца, что составляет 1520 млн тонн нефтяного эквивалента.

Органическое вещество сланцев, – потенциальный источник углеводородов, принято называть «сухой нефтью».

Из сопоставления этих цифр видно, что в недрах области запасы «сухой нефти» почти в 1,5 раза превышают ресурсы жидких и газообразных углеводородов.

Профессор В.Г. Каширский уверен, что значимость горючих сланцев для экономики области еще более возрастет, если сопоставить условия залегания сланцев и нефти в недрах области.

Пласты горючих сланцев залегают на небольших глубинах, тогда как нефть и газ необходимо извлекать с многокилометровых глубин, что сопряжено с большими капитальными затратами.

В Саратовской области на крупнейших Перелюбском и Коцебинском месторождениях сланец может добываться дешевым бесшахтным способом в открытых карьерах. Для добычи открытым способом пригодны 700 млн. тонн залежей горючих сланцев. Однако, оценивая перспективы, следует помнить о том, что горючие сланцы Поволжья, в отличие от эстонских, являются многозольными и высокосернистыми. Это создает определенные трудности их использования в качестве топлива. В частности, применявшийся до сих пор способ сжигания этого топлива в шахтно-мельничных топочных устройствах неприемлем, так как в выбрасываемых в атмосферу продуктах сгорания содержание диоксида серы превышает 7 граммов на кубометр.

В Саратовском государственном техническом университете разработаны и экспериментально проверены новые методы сжигания сланцев, предотвращающие или резко ограничивающие выброс диоксида серы в окружающую среду. Так, для небольших котельных установок промышленно-отопительного типа рекомендуется сжигать сланец в топках с циркулирующим псевдосжигаемым слоем. Выполненные совместно с Уральским техническим университетом исследования показали, что при сжигании в топках такого типа волжского сланца в уходящих газах содержится менее 400 миллиграммов диоксида серы на кубометр. Такое содержание диоксида не превышает санитарно-допустимых норм. Под руководством В.Г. Каширского в СГТУ разработан и проверен на укрупненном стенде метод пирогазификации сланцев, который позволяет создать экологически безопасную тепловую электростанцию на волжских сланцах.

На основании результатов выполненных научно-исследовательских работ В.Г. Каширский предлагает немедленно приступить и поэтапно осуществлять практические мероприятия по вовлечению горючих сланцев в топливно-энергетический баланс Саратовской области.

По мнению профессора В.Г. Каширского, на первом этапе необходимо создать предприятие по добыче сланцев открытым способом. Первыми потребителями добываемого сланца должны стать небольшие котельные, оборудованные паровыми или водогрейными котлами с топками ЦКС. Энергетическое оборудование для этих предприятий может поставлять Саратовский завод «Энергомаш». Параллельно с этим необходимо проводить изыскательские и проектные работы по сооружению в Заволжье тепловой электростанции на сланцевом топливе.

На втором этапе должна постепенно наращиваться добыча и расширяться круг потребителей сланцевого топлива в Заволжье. Целесообразно осуществить строительство одной или нескольких ТЭС на сланцах.

Вовлечение горючих сланцев в ТЭБ существенно уменьшит зависимость области от поставок газа из отдаленных регионов страны и укрепит энергетическую безопасность области.

Все годы научно-производственной деятельности В.Г. Каширского посвящены изучению проблемы комплексного использования сернистых, низкокалорийных топлив.

В 1949 г. В.Г. Каширский участвовал в выполнении задания Правительства СССР по исследованию возможности газификации горючих сланцев и других местных топлив России на парокислородном дутье под давлением. Эта работа была проведена на топливно-перерабатывающем комбинате в г. Гиршфельде (Германия).

В результате проведенных исследований были получены практические результаты по газификации высокосернистых топлив, а на основе разработанных рекомендаций был построен Щекинский завод (Тульская область) по газификации бурых подмосковных углей.

19 января 1950 года в Московском институте стали и сплавов В.Г. Каширский защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Газификация горючих сланцев в пылевидном состоянии и перспективы применения сланцев как топлива для металлургических и промышленных печей».

Научный подвиг В.Г. Каширского заключается в том, что он, его ученики и сотрудники в Саратовском государственном техническом университете и НИИ химии Саратовского государственного университета, где он в 1950-1959 гг. был директором, в тесном сотрудничестве с учеными научно-исследовательского энергетического института им. Г.М. Кржижановского, Института горючих ископаемых и других отечественных научных учреждений терпеливо и настойчиво трудились и продолжают работать над созданием фундамента грандиозного проекта безотходного экологически чистого использования сернистых сланцев Поволжья. В пятидесятые годы В.Г. Каширский, являясь директором НИИ хи-

мии Саратовского государственного университета, с небольшим количеством сотрудников выполнил фундаментальные исследования процессов пиролиза различных видов твердого топлива в условиях интенсивного теплообмена. Эти исследования позволили уточнить представления о механизме формирования ароматических и сероорганических соединений при пиролизе органического топлива и послужили основой для создания технологии энергохимического применения твердого топлива. Результаты исследований опубликованы в ряде академических журналов нашей страны и за рубежом. Одним из важнейших результатов этих исследований было открытие в конце 50-х годов возможности получения тиофеноароматического концентрата путем скоростного пиролиза сернистых сланцев Поволжья.

В конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века бурно развивающейся многоотраслевой промышленности и энергетике Саратовской области требовались специалисты по теплоэнергетическим направлениям.

В 1958 году по инициативе руководства Саратовской области и директората Саратовского автомобильно-дорожного института при активном участии заместителя директора по научной работе САДИ профессора А.И. Андрищенко в соответствии с приказом Минвуза РСФСР для подготовки инженеров по теплотехническим специальностям в САДИ образуется кафедра промышленной теплотехники и теплогазоснабжения, на должность заведующего которой избирается кандидат технических наук В.Г. Каширский. Этой кафедрой он беспрерывно руководил в течение 27 лет.

Работу на кафедре по праву можно считать этапом наиболее активной и плодотворной педагогической и научной деятельности В.Г. Каширского. В первый год создания кафедры учебный процесс выполнялся со студентами групп ПТЭ, ТГС и группами ПТЭ вечернего отделения 3-4 курсов, укомплектованных путем перевода с других факультетов.

В 1960 г. Саратовский автомобильно-дорожный институт был преобразован в Саратовский политехнический институт, в составе которого был создан целый ряд новых факультетов, в том числе энергетический факультет. Первым деканом энергетического факультета был избран доцент В.Г. Каширский.

В ходе дальнейшего развития учебного процесса и научных направлений произошло целесообразное разделение кафедры, возглавляемой В.Г. Каширским, на две самостоятельные кафедры: кафедру промышленной теплотехники, которая остается в составе энергетического факультета, и кафедру теплогазоснабжения и вентиляции, которая перешла в состав строительного факультета.

В 1961 году состоялся первый выпуск инженеров-промтеплоэнергетиков дневного и вечернего отделений. Развивающаяся под руководством В.Г. Каширского научная деятельность обеспечивала рост квалификации молодого преподавательского коллектива. Привлечение к научной работе студентов способствовало подготовке высококвалифицированных, творчески мыслящих молодых специалистов. Возглавляя молодую кафедру промышленной теплотехники, В.Г. Каширский создает новое научное направление. Под его руководством начинают работать аспиранты, а сам он завершает работу над диссертацией на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Исследование процессов пиролиза твердого топлива в связи с проблемой получения бензолных углеводородов на основе его комплексного использования», которую он успешно защитил в 1966 г.

Основными результатами исследований, обобщенных в докторской диссертации В.Г. Каширского и в дальнейших работах его учеников, являются развитие теории скоростного пиролиза топлива и особенно раскрытие механизма окислительного пиролиза, обоснование режимов пиролиза, благоприятных для пирогенетического синтеза ароматических углеводородов, а также исследование диспропорционирования серы и формирования сероорганических соединений в условиях скоростного пиролиза.

Результаты научной работы кафедры, руководимой В.Г. Каширским, большое признание ее важной для науки и практики деятельности в стране и за рубежом, позволяют сделать вывод, что в Саратовском государственном техническом университете сформировалась научная школа В.Г. Каширского, деятельность которой направлена на создание научных основ комплексного энерготехнологического применения органического топлива.

В.Г. Каширским, его учениками и сотрудниками теоретически обоснован и экспериментально проверен новый технологический прием термической переработки твердого топлива – пирогазификация, имеющий большие перспективы для совершенствования технологии использования топлива.

Разработаны и обоснованы перспективные технологии энерготехнологического безотходного применения различных видов твердого топлива. Намечены пути развития комплексного использования топлива для расширения сырьевой базы металлургии и промышленности органического синтеза в сочетании с производством экологически чистых энергоносителей.

Особое значение имеют научные работы по созданию безотходной технологии переработки высокосернистых сланцев Поволжья, создающие основу для развития добычи и переработки в ценные продукты этого ископаемого.

Следует отметить широту научных интересов В.Г. Каширского. Кроме основного научного направления, которому он посвящает свою деятельность в области исследования органического топлива, он, его ученики и сотрудники кафедры выполнили крупные исследования по проблемам разработки оптимальных схем и рабочих параметров энерготехнологического комбинирования при производстве этилена, по изучению теплообмена к потоку газовзвеси с инертной и разлагающейся твердой фазой, по исследованию аэродинамики и теплообмена в топках с настильными и объемными факелами, оптимизации параметров теплового режима пламенных нагревательных печей, разработки и оптимизации схем теплотехнологических установок окислительного пиролиза.

Работы В.Г. Каширского пользуются широкой известностью не только у нас в стране, но и за рубежом.

Признанием научной деятельности В.Г. Каширского было включение его в 1972 году в состав научного совета по комплексному использованию топлива Государственного комитета по науке и технике СССР. В 1978 году научное направление исследований под руководством профессора В.Г. Каширского стало составной частью программы Академии наук СССР по важнейшим фундаментальным проблемам на 1978-1990 годы.

В 1981-1985 годах кафедра промышленной теплотехники СПИ участвовала в выполнении раздела 06.05 целевой комплексной научной программы ОЦ 008 ГКНТ СССР «Технико-экономическое обоснование по промышленному использованию горючих сланцев перспективных месторождений СССР». В 1984 и 1992 гг. итоги научно-исследовательских работ кафедры по горючим сланцам Поволжья были обобщены в крупных отчетах «Технико-экономическая оценка перспективных методов и схем применения горючих сланцев Поволжья».

В 80-90-е годы прошлого века под руководством доктора технических наук, профессора В.Г. Каширского велись работы по межвузовским научно-техническим программам Минвуза РСФСР «Комплексная переработка сланцев» (1986-1991 гг.), «Переработка горючих сланцев Поволжья» (1991-1997 гг.), по которым СГТУ и его кафедра промышленной теплотехники являлись ведущей организацией.

С 1984 года В.Г. Каширский является членом редколлегии международного журнала «Горючие сланцы», издаваемого в республике Эстония. Результаты научной работы В.Г. Каширского опубликованы почти в 300 статьях и свыше 10 монографиях, брошюрах, учебных пособиях. Он подготовил 24 кандидата наук.

Научный оптимизм, работоспособность, требовательность и принципиальность в выполнении своих служебных обязанностей были и до сих пор являются главными направлениями в работе В.Г. Каширского со своими учениками.

Выпускники аспирантуры, подготовленные профессором В.Г. Каширским, работают в различных организациях, предприятиях, учебных заведениях страны. Многие из них работают в Саратовском государственном техническом университете, занимая руководящие посты, возглавляя кафедры, научные подразделения, являясь преподавателями вуза. Среди них профессора: В.Р. Атоян, В.М. Седелкин, В.Ф. Симонов, Ю.Я. Печенегов, доценты: А.А. Коваль, Э.М. Атоян, В.Н. Лункин и другие. Инженеры кафедры промышленной теплотехники успешно трудятся на промышленных и энергетических предприятиях России и всех республик бывшего Советского Союза.

За большие заслуги в развитии отечественной науки в 1980 г. доктору технических наук, профессору В.Г. Каширскому было присвоено почетное звание Заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации.

Вся деятельность доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации В.Г. Каширского является ярким примером беззаветного служения науке и своей стране.

Сегодня В.Г. Каширский активно участвует в учебном процессе кафедры промышленной теплотехники СГТУ. Он продолжает научную работу по вовлечению горючих сланцев в топливно-энергетический баланс Саратовской области, принимает участие в работе докторского диссертационного совета по энергетике, научных семинарах, конференциях, пишет и издает статьи и учебные пособия.

А.А. Коваль, Б.А. Семенов