

**ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2007**

**№ 3 (27)
Выпуск 2**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.
Выходит один раз в квартал
Сентябрь 2007 г.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых журналов и научных изданий, утвержденный президиумом ВАК Министерства образования и науки РФ, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук по направлениям: машиностроение, управление, вычислительная техника и информатика, экономика; ученой степени кандидата наук по направлениям: энергетика, электроника, измерительная техника, радиотехника и связь, социология

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

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

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

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

Подписано в печать 26.09.07
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 16,5 Уч.-изд. л. 16,3
Тираж 500 экз. Заказ 473
Отпечатано в РИЦ СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

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

ISBN 978-5-7433-1869-8

© Саратовский государственный
технический университет, 2007

**VESTNIK
SARATOV
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY
2007**

**№ 3 (27)
Edition 2**

Scientific Journal

Since 2003
Once in a quarter
September 2007

This journal is included into the list of leading reviewed journals and scientific publications approved by the presidium of Ministry of Education and Sciences of Russian Federation where major scientific thesis's results for academic degree competition for a doctor of sciences in machinebuilding, management, computer technics and information sciences, economics; a candidate of sciences in power engineering, electronics, measuring technology, radio engineering and connection directions, sociology are published

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

Drafting committee: Pr. V.R. Atoyan (Vice of the Chairman), Pr. V.I. Volchihin, Pr. V.A. Golenkov, Pr. V.A. Dines, Pr. V. Zelensky (Poland), Pr. V.A. Ignatyev, Pr. V.V. Kalashnikov, Pr. L.Y. Kossovich, Pr. I.A. Novakov, Pr. A.F. Rezhnikov, Pr. Y.V. Chebotarevsky (the Chairman), Pr. Yan Avreytsevich (Poland), Pr. Ulli Arnold (Germany), Pr. Anthony Merser (UK), Pr. E. D'Sousa Ferreira (Portugal), Pr. T. Chermak (Chezh Republic), Pr. Y.V. Shlenov.

Editorial board: Pr. K.P. Andreychenko, Pr. A.I. Andryushenko, Pr. Y.S. Arkhangelsky, Pr. A.S. Borshov, Pr. A.S. Denisov, Pr. Y.G. Ivashenko, Pr. Y.N. Klimochkin, Pr. V.A. Kolomeitsev, Pr. A.V. Korolyov, Pr. V.A. Krysko, Pr. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. A.I. Finaenov, Pr. A.Y. Slepukhin, Pr. M.A. Sherbakov.

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

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

Signed for publishing: 26.09.07
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 16,5 Acc.-pbl. l. 16,3
Edition 500 psc. Order 473
Printed in EPC of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Анкилов А.В., Вельмисов П.А., Покладова Ю.В. Математические модели механической системы «трубопровод-датчик давления»	7
Кондратов Д.В., Могилевич Л.И. Математическое моделирование процессов взаимодействия двух цилиндрических оболочек со слоем жидкости между ними при отсутствии торцевого истечения в условиях вибрации.....	15
Юлаев А.Н., Зюрюкин Ю.А. Особенности коллинеарного анизотропного акустооптического взаимодействия в х-срезе ниобата лития	24

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Виноградов А.Н. Рациональное формирование физико-механических свойств рабочих поверхностей подшипников конструкторско-технологическими методами.....	30
Изнаиров Б.М. Вероятностный анализ влияния технологических погрешностей изготовления деталей на параметры собранных из них многозвенных механизмов.....	37
Косырев С.П., Горшков Е.А. Особенности поверхностного пластического деформирования высоконагруженных деталей транспортных дизелей	45
Косырев С.П., Кудашева И.О. Оценка виброударного нагружения и начальных остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования поршней и золотников регуляторов скорости форсированных дизелей.....	48
Никитенко В.М. Совершенствование технологического процесса изготовления деталей коробчатой формы вытяжкой-отбортовкой	52

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Антамошин А.Н., Большаков А.А. Применение интеллектуальных агентов в дифференциально-диагностическом процессе	55
Байбурин В.Б., Беспалова Н.В., Волков Ю.П. Алгоритмы обработки изображений, используемые сканирующей зондовой микроскопией.....	61
Егоров А.А., Митяшин Н.П. Эволюционная модель процессов эвакуации.....	64

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Антропов Г.В., Трушина И.В. Применение ультразвука для предотвращения накипеобразования	72
Клер А.М., Тюрина Э.А., Степанов В.В. Комплексные исследования энерготехнологических установок комбинированного получения сжиженного природного газа и электроэнергии с извлечением гелия.....	74

ЭКОНОМИКА

Гордашникова О.Ю. Подходы к оценке экономического потенциала системы менеджмента качества машиностроительного предприятия.....	86
Кириллов Я.В. Роль инноваций в преобразованиях жилищно-коммунального хозяйства.....	93
Николаева И.Б. Отбор образовательных учреждений для выполнения государственного заказа на образовательные услуги по дополнительному профессиональному образованию преподавателей.....	97
Орехова Е.А. Стратегические ориентиры экономического развития России в современных условиях.....	105
Попова И.М., Клочков К.Н. Логистический аутсорсинг как элемент гармонизации работы городских пассажирских перевозок.....	114
Тупикина А.А. Реформирование рынка труда Федеративной Республики Германии.....	117

СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

Барябин А.В. Социологический подход к оценке билбордов в городском визуальном пространстве.....	121
Попова Н.В. Интеграция людей с умственной отсталостью путем социализации и инклюзивных механизмов.....	126

CONTENTS

PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

-
- Ankilov A.V., Velmisov P.A., Pokladova Yu.V.** Mathematical models of a mechanical system «pipeline – pressure sensor»..... 7
- Kondratov D.V., Mogilevich L.I.** Mathematical modeling of processes of interaction of two cylindrical environments with the layer of the liquid between them under leakage absence in condition of vibration 15
- Yulaev A.N., Zyuryukin Yu.A.** Characteristic of collinear anisotropic acousto-optic interaction along x-axis of the lithium niobate crystal 24

MACHINE RELIABILITY

-
- Vinogradov A.N.** Bearings working surfaces physicomachanical properties rational formation by design-technological methods 30
- Iznairov B.M.** Stochastic analysis of parts production technological faults influence on parameters of assembled out of them multijoint mechanisms 37
- Kosyrev S.P., Gorshkov E.A.** Transport diesel engines heavily stressed details superficial plastic deformations features 45
- Kosyrev S.P., Kudasheva I.O.** Vibration stress and initial residual pressure estimation after superficial plastic deformation of pistons and speed regulators slides of the forced diesel engines 48
- Nikitenko V.M.** Engineering process perfection of box-shaped components manufacturing by drawing and crimp seal..... 53

INFORMATION TECHNOLOGIES

-
- Antamoshin A.N., Bolshakov A.A.** Intellectual agents application in a differential-diagnostic process 55
- Baiburin V.B., Beshpalova N.V., Volkov Yu.P.** Scanning probe microscopy image processing algorithms 61
- Egorov A.A., Mityashin N.P.** The evolutionary model of evacuation processes 64

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

-
- Antropov G.V., Trushina I.V.** Ultrasound application in scale formation prevention 72
- Kler A.M., Tyurina E.A., Stepanov V.V.** Comprehensive studies of energy technology installations for combined production of liquefied natural gas and electric energy with helium extraction..... 75

ECONOMICS

Gordashnikova O.J. Approaches in economical estimations of machine building enterprises quality system management potentials	86
Kirillov Y.V. Innovation's role in reformations of housing and communal services.....	93
Nikolaeva I.B. Selection of educational establishments on performance of the state order for educational services on additional vocational training teachers.....	97
Orekhova E.A. Strategic reference points of economic development of Russia in modern conditions.....	105
Popova I.M., Klochcov K.N. Logistic outsourcing as an element of urban passenger transportation harmonization.....	114
Tupikina A.A. German labor market reformation	118

SOCIAL PROBLEMS OF THE PRESENT

Bariabin A.V. Sociological approach in billboards evaluation in the city visual space.....	121
Popova N.V. Perfection of socialization of people with the limited opportunities of health with the purpose of their integration into a society	126

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 539.3: 533.6,517.9

А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов, Ю.В. Покладова

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ТРУБОПРОВОД-ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ»

Рассматриваются математические модели механической системы «трубопровод-датчик давления». Получены интегродифференциальные уравнения, связывающие закон изменения давления рабочей среды на входе в трубопровод (на выходе из камеры сгорания двигателя) и деформацию упругого элемента датчика. Уравнения дают возможность по величине деформации элемента рассчитать давление в двигателе, и наоборот. Предложен численно-аналитический метод решения этих уравнений.

A.V. Ankilov, P.A. Velmisov, Yu.V. Pokladova

MATHEMATICAL MODELS OF A MECHANICAL SYSTEM «PIPELINE – PRESSURE SENSOR»

Mathematical models of the mechanical system «Pipeline – Pressure sensor» are considered here. Integro-differential equations that hold the law of change of a pressure of a working medium (input of the pipeline) and the function of a deflection of an elastic element of the sensor are ensued. The numerically-analytical method of solution of this equation is offered. This method permits to conduct investigation of the mechanical system «Pipeline – Pressure sensor» on a basis of a numerical experiment.

Дадим подробное описание одной из рассматриваемых в работе моделей системы «трубопровод – датчик давления» и метода ее исследования.

Пусть на одном конце ($x=0$) достаточно длинного трубопровода задан закон изменения давления рабочей среды $P(t)$ (например, на выходе из камеры сгорания двигателя), а на другом расположен датчик, предназначенный для измерения этого давления и содержащий в качестве составного элемента упругую пластину (рис. 1).

Задача решается в линейной постановке, соответствующей малым возмущениям потенциала скорости рабочей среды (жидкости) в области G и малым прогибам пластины AB . Поле скоростей предполагается плоским, длина трубопровода – бесконечной.

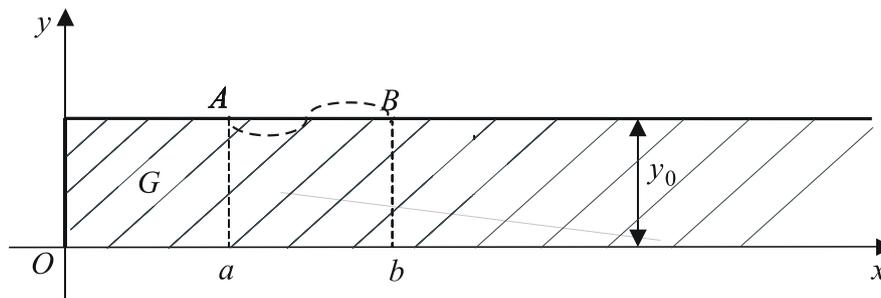


Рис. 1

Пусть $\varphi(x,y,t)$ – потенциал скорости рабочей среды (t – время), $\omega(x,y,t)$ – функция прогиба (деформация) упругой пластины AB . Линеаризованные уравнения и граничные условия для этих функций, составляющие математическую модель, имеют следующий вид:

$$\varphi_{xx} + \varphi_{yy} = 0, \quad (x, y) \in G = \{(x, y) : 0 < x < +\infty, 0 < y < y_0\}; \quad (1)$$

$$\varphi_y(x, 0, t) = 0, \quad x \in (0, +\infty); \quad (2)$$

$$\varphi_y(x, y_0, t) = 0, \quad x \in (0, a) \cup (b, +\infty); \quad (3)$$

$$\varphi_x(0, y, t) = 0, \quad y \in (0, y_0); \quad (4)$$

$$\varphi_y(x, y_0, t) = \dot{\omega}(x, t), \quad x \in (a, b); \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (\varphi_x^2 + \varphi_y^2) = 0; \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (P_* - \rho \varphi_t) = P(t); \quad (7)$$

$$\begin{aligned} L(\omega) &\equiv M\ddot{\omega} + D\omega_{xxxx} + N\omega_{xx} + \alpha\dot{\omega}_{xxx} + \beta\dot{\omega} + \gamma\omega = \\ &= P_* - P_0(x, t) - \rho\varphi_t(x, y_0, t), \quad x \in (a, b). \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь y_0 – поперечный размер трубопровода; a, b – координаты концов пластины AB ; P_* – давление рабочей среды в трубопроводе в состоянии покоя; ρ – плотность рабочей среды; $P(t)$ – закон изменения давления на входе в трубопровод; M, D – погонная масса и изгибная жесткость пластины; N – сжимающее (растягивающее) пластину усилие; α – коэффициент внутреннего демпфирования; β и γ – коэффициенты демпфирования и жесткости основания; $P_0(x, t)$ – распределенная внешняя нагрузка, действующая на пластину; нижние индексы x, y, t обозначают частные производные по x, y, t (x, y – координаты), точка – частную производную по t .

Считая t параметром, введем в рассмотрение комплексный потенциал $W = f(z, t) = \varphi + i\psi$, где $z = x + iy$, $\psi = \psi(x, y, t)$ – функция тока. Функция $\zeta = ch \frac{\pi z}{y_0}$ конформно отображает полуполосу G на верхнюю полуплоскость комплексного переменного $\zeta = \xi + i\eta$ со следующим соответствием точек: $z = \infty \leftrightarrow \zeta = \infty$, $z = 0 \leftrightarrow \zeta = 1$; $z = iy_0 \leftrightarrow \zeta = -1$. Упругому элементу AB в ζ -плоскости соответствует отрезок $[\xi_1, \xi_2]$ оси $O\xi$, где $\xi_1 = -ch \frac{\pi b}{y_0}$, $\xi_2 = -ch \frac{\pi a}{y_0}$.

Для аналитической в верхней полуплоскости функции $f_z(z(\zeta), t) = \varphi_x - i\varphi_y$ имеем согласно (2)-(5) следующие краевые условия

$$\operatorname{Re} f_z = \varphi_x = 0, \quad \xi \in (-1, 1),$$

$$\operatorname{Im} f_z = -\varphi_y = \begin{cases} 0, & \xi \in (-\infty, \xi_1) \cup (\xi_2, -1) \cup (1, +\infty), \\ -\dot{\omega}(x(\xi), t), & \xi \in (\xi_1, \xi_2). \end{cases}$$

Полагая $\zeta = \xi$, $z = x + iy_0$ в формуле $\zeta = ch \frac{\pi z}{y_0}$, находим $\xi = -ch \frac{\pi x}{y_0}$, $0 < x < +\infty$.

Отсюда

$$x = x(\xi) = \frac{y_0}{\pi} \ln(-\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}), \quad \xi \in (-\infty, -1). \quad (9)$$

Таким образом, для аналитической функции $f_z(z(\zeta), t)$ имеем смешанную краевую задачу в верхней полуплоскости. Решение этой задачи, ограниченное в точках $\zeta = \pm 1$ и удовлетворяющее условию (6), запишем по формуле Келдыша – Седова [8]

$$f_z(z(\zeta), t) = -\frac{R(\zeta)}{\pi} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{R(\tau)(\tau - \zeta)} d\tau, \quad (10)$$

где $R(\zeta) = \sqrt{\zeta^2 - 1} > 0$ при $\zeta = \xi > 1$. При этом должно выполняться условие разрешимости

$$\int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{R(\tau)} d\tau = 0. \quad (11)$$

Учитывая, что $R(\tau) = -\sqrt{\tau^2 - 1}$, $\tau \in (-\infty, -1)$, с помощью подстановки $\tau = -ch \frac{\pi x}{y_0}$ представим (11) в виде

$$\int_a^b \dot{\omega}(x, t) dx = 0. \quad (12)$$

Необходимое условие разрешимости (12) означает равенство нулю потока вектора скорости через границу области G , что соответствует модели несжимаемой среды.

Далее, поскольку $\zeta = ch \frac{\pi z}{y_0}$, то $\frac{d\zeta}{dz} = \frac{\pi}{y_0} sh \frac{\pi z}{y_0} = \frac{\pi}{y_0} \sqrt{\zeta^2 - 1}$. Тогда с учетом (10) будем

иметь $W_\zeta = f_z \cdot \frac{dz}{d\zeta} = \frac{y_0}{\pi \sqrt{\zeta^2 - 1}} \cdot \frac{\sqrt{\zeta^2 - 1}}{\pi} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}(\tau - \zeta)} d\tau = \frac{y_0}{\pi^2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}(\tau - \zeta)} d\tau$. Интегрируя по

ζ полученное выражение, найдем комплексный потенциал

$$W = -\frac{y_0}{\pi^2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}} \ln(\tau - \zeta) d\tau + C(t), \quad (13)$$

где $C(t)$ – произвольная комплексная функция.

Перейдем в (13) к пределу при $\zeta \rightarrow \xi \in (\xi_1, \xi_2)$, при этом $z \rightarrow x + iy_0$, $x \in (a, b)$. Согласно предельным формулам для интеграла с логарифмическим ядром [7] имеем

$$\varphi + i\psi = -\frac{y_0}{\pi^2} \left(\int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}} \ln |\tau - \xi| d\tau - \pi i \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\dot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}} d\tau \right) + C(t).$$

Отсюда, отделяя вещественную часть и дифференцируя ее по t , получим

$$\varphi_t(x, y_0, t) = -\frac{y_0}{\pi^2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\ddot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}} \ln |\tau - \xi| d\tau + A(t), \quad (14)$$

где $\xi = -ch \frac{\pi x}{y_0}$, $A(t) = \operatorname{Re} C'(t)$.

Подберем произвольную пока функцию $A(t)$ так, чтобы выполнялось условие (7). С этой целью продифференцируем (13) по t и отделим вещественную часть. В результате будем иметь

$$\varphi_t = -\frac{y_0}{\pi^2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\ddot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}} \ln |\tau - \zeta| d\tau + A(t),$$

или, с учетом условия (11)

$$\varphi_t = -\frac{y_0}{\pi^2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\ddot{\omega}(x(\tau), t)}{\sqrt{\tau^2 - 1}} \ln \left| \frac{\tau}{\zeta} - 1 \right| d\tau + A(t). \quad (15)$$

При $\zeta \rightarrow \infty$ ($x \rightarrow +\infty$) из (15) и (7) получаем $A(t) = \frac{P_* - P(t)}{\rho}$. Формулу (14), сделав в

интегральном слагаемом подстановку $\tau = -ch \frac{\pi s}{y_0}$, можно теперь записать в виде

$$\varphi_t(x, y_0, t) = -\frac{1}{\pi a} \int_a^b \ddot{\omega}(s, t) \ln \left| ch \frac{\pi s}{y_0} - ch \frac{\pi x}{y_0} \right| ds + \frac{P_* - P(t)}{\rho}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (8), получим уравнение, связывающее закон изменения давления $P(t)$ на входе в трубопровод ($x = +\infty$) и функцию прогиба (деформацию) $\omega(x, t)$ упругого элемента датчика давления

$$L(\omega) = P(t) - P_0(x, t) + \frac{\rho}{\pi a} \int_a^b \ddot{\omega}(s, t) \ln \left| ch \frac{\pi s}{y_0} - ch \frac{\pi x}{y_0} \right| ds. \quad (17)$$

Предположим, что концы упругого элемента закреплены шарнирно. Проведем процедуру метода Галеркина для m приближений ($\omega(x, t) = \sum_{k=1}^m \omega_k(t) \sin \beta_k(x - a)$, $\beta_k = \frac{\pi k}{b - a}$). Невязка уравнения (8) имеет вид

$$\begin{aligned} L_*(\omega) \equiv & M \left(\sum_{k=1}^m \ddot{\omega}_k(t) \sin \beta_k(x - a) \right) + D \left(\sum_{k=1}^m \beta_k^4 \omega_k(t) \sin \beta_k(x - a) \right) - N \left(\sum_{k=1}^m \beta_k^2 \omega_k(t) \sin \beta_k(x - a) \right) + \\ & + \alpha \left(\sum_{k=1}^m \beta_k^4 \dot{\omega}_k(t) \sin \beta_k(x - a) \right) + \beta \left(\sum_{k=1}^m \dot{\omega}_k(t) \sin \beta_k(x - a) \right) + \gamma \left(\sum_{k=1}^m \omega_k(t) \sin \beta_k(x - a) \right) + \\ & + P_0(x, t) - P(t) - \frac{\rho}{\pi} \sum_{k=1}^m \ddot{\omega}_k(t) I_k(x), \end{aligned}$$

где $I_k(x) = \int_a^b \sin \beta_k(\tau - a) \ln \left| ch \frac{\pi \tau}{y_0} - ch \frac{\pi x}{y_0} \right| d\tau$.

Составим систему уравнений

$$\int_a^b L_*(\omega) \sin \beta_i(x - a) dx = 0, \text{ где } i = 1, \dots, m.$$

Для $\omega_k(t)$ получим систему из m обыкновенных дифференциальных уравнений ($i = 1, \dots, m$):

$$\sum_{k=1}^m A_{ik} \ddot{\omega}_k(t) + B_i \dot{\omega}_i(t) + C_i \omega_i(t) + F_i(t) = 0,$$

$$\text{где } A_{ik} = \begin{cases} M \frac{b - a}{2} - \frac{\rho}{\pi a} \int_a^b I_k(x) \sin \beta_k(x - a) dx, & i = k \\ -\frac{\rho}{\pi a} \int_a^b I_k(x) \sin \beta_k(x - a) dx, & i \neq k. \end{cases}$$

$$B_i = \frac{b - a}{2} (\alpha \beta_i^4 + \beta), \quad C_i = \frac{b - a}{2} (D \beta_i^4 - N \beta_i^2 + \gamma),$$

$$F_i(t) = \int_a^b P_0(x, t) \sin \beta_i(x - a) dx - P(t) \frac{1 - (-1)^i}{\beta_i}.$$

Для нахождения $\omega_k(0)$, $\dot{\omega}_k(0)$ воспользуемся начальными условиями $w(y,0) = u(x)$, $\dot{w}(y,0) = v(x)$. Составим невязки

$$R_1(\omega_k(0), x) = \sum_{k=1}^m \omega_k(0) \sin \beta_k(x-a) - u(x),$$

$$R_2(\dot{\omega}_k(0), x) = \sum_{k=1}^m \dot{\omega}_k(0) \sin \beta_k(x-a) - v(x).$$

Начальные условия $\omega_k(0), \dot{\omega}_k(0)$ можно найти из условий ортогональности ($i=1, \dots, m$):

$$\int_a^b R_1(\omega_k(0), x) \sin \beta_i(x-a) dx = 0,$$

$$\int_a^b R_2(\dot{\omega}_k(0), x) \sin \beta_i(x-a) dx = 0.$$

Примеры. Будем считать, что трубопровод заполнен водой, а пластина изготовлена из алюминия. С помощью математической системы Mathematica для значений параметров $a=0,03$, $b=0,08$, $y_0=0,1$, $M=2,7$, $D=6,702$, $N=10^3$, $\rho=10^3$, $\alpha=0,5$, $\beta=0,3$, $\gamma=0,2$, $h=0,001$ (толщина пластинки), $P_0(x,t) = 0$, $P(t) = 10^5 e^{-30t}$, $\omega(x,0) = 0$, $\dot{\omega}(x,0) = 0$ получим график функции

$$\omega(x,t) = \sum_{k=1}^2 \omega_k(t) \sin \beta_k(x-a) \text{ в точке } x = \frac{a+b}{2.5} \text{ (рис. 2):}$$

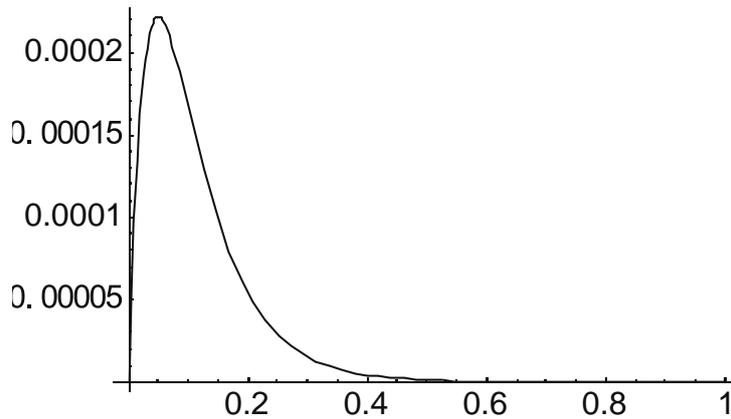


Рис. 2

Графики для одного ($\omega(x,t) = \omega_1(t) \sin \beta_1(x-a)$) и двух ($\omega(x,t) = \sum_{k=1}^2 \omega_k(t) \sin \beta_k(x-a)$) приближений мало отличаются. Это объясняется тем, что амплитуда колебаний $\omega_1(t)$ на несколько порядков больше, чем амплитуда $\omega_2(t)$. Приведем графики $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$ для указанных выше параметров (рис. 3).

Как видно из рис. 3, масштаб графика $\omega_1(t)$ порядка 10^{-4} , масштаб графика $\omega_2(t)$ порядка 10^{-11} .

Для указанных выше значений параметров будем изменять функцию $P(t)$:

а) $P(t) = 10^5(1 - \sin t)$, б) $P(t) = 10^5 \cos(t)$. В результате получим следующие графики функции

$$\omega(x,t) = \sum_{k=1}^2 \omega_k(t) \sin \beta_k(x-a) \text{ в точке } x = \frac{a+b}{2.5} \text{ (рис. 4):}$$

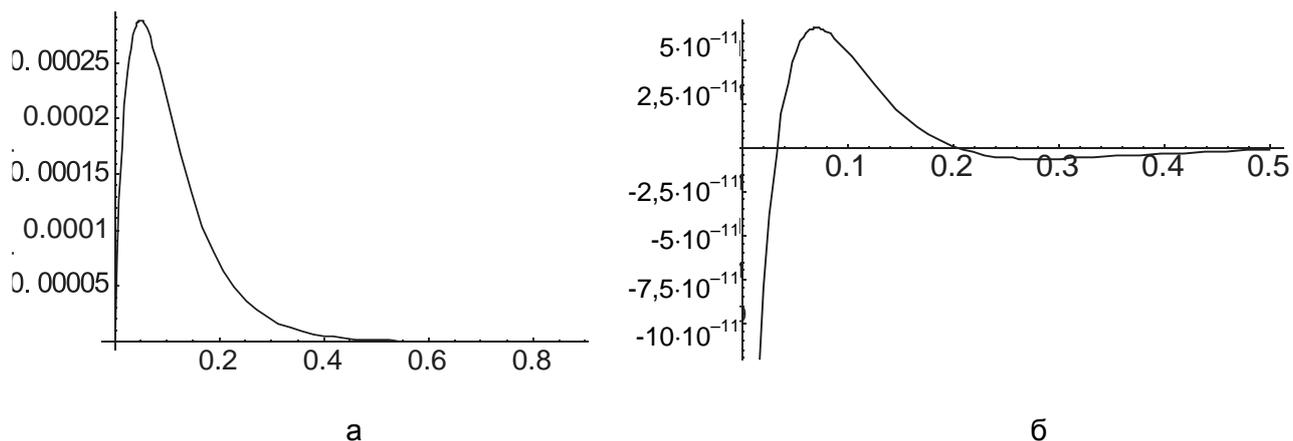


Рис. 3

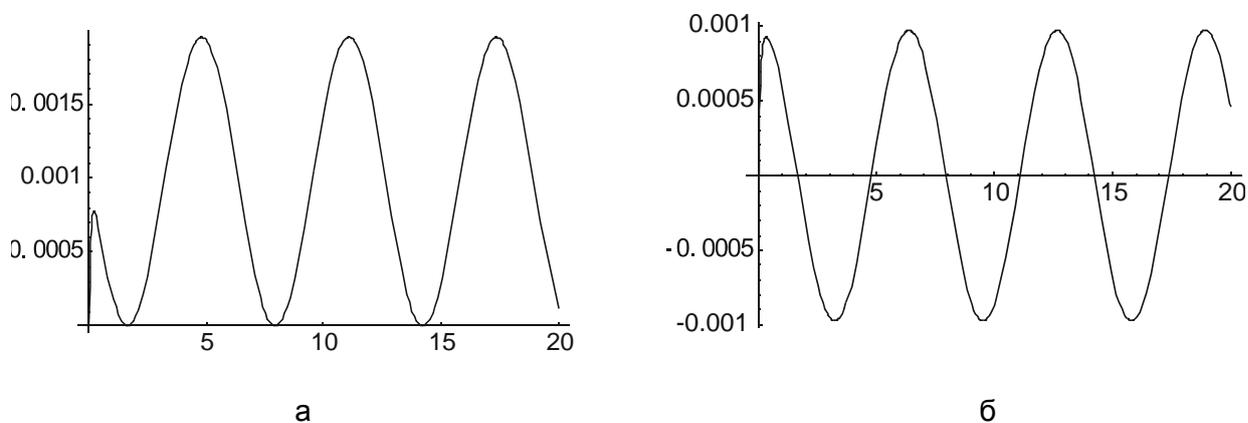


Рис. 4

Для указанных выше параметров и $P(t) = 10^5 \cos(t)$ изменим толщину пластины $h=0,0015$ ($M=4,05$, $D=22,619$). В результате получим следующий график функции $\omega(x,t) = \sum_{k=1}^2 \omega_k(t) \sin \beta_k(x-a)$ в точке $x = \frac{a+b}{2.5}$ (рис. 5).

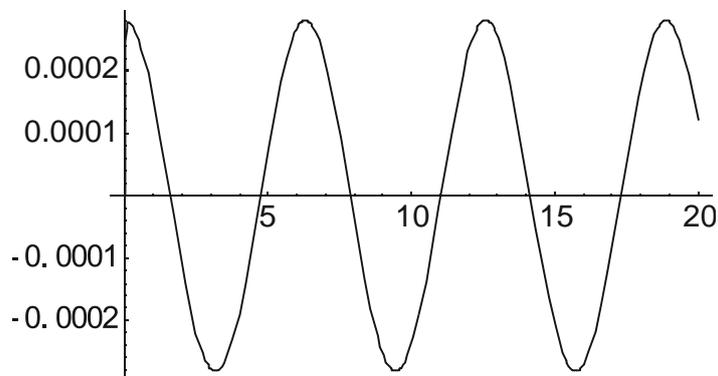


Рис. 5

Как видно из рисунка, увеличение толщины пластины ведет к уменьшению амплитуды, что соответствует физическим представлениям.

Другие математические модели системы «трубопровод-датчик давления» рассматривались в [1, 2, 5]. Модели отличаются длиной трубопровода (конечный (рис. 6, а, б) или бесконечный (рис. 6, в) трубопровод) и расположением датчика (рис. 6).

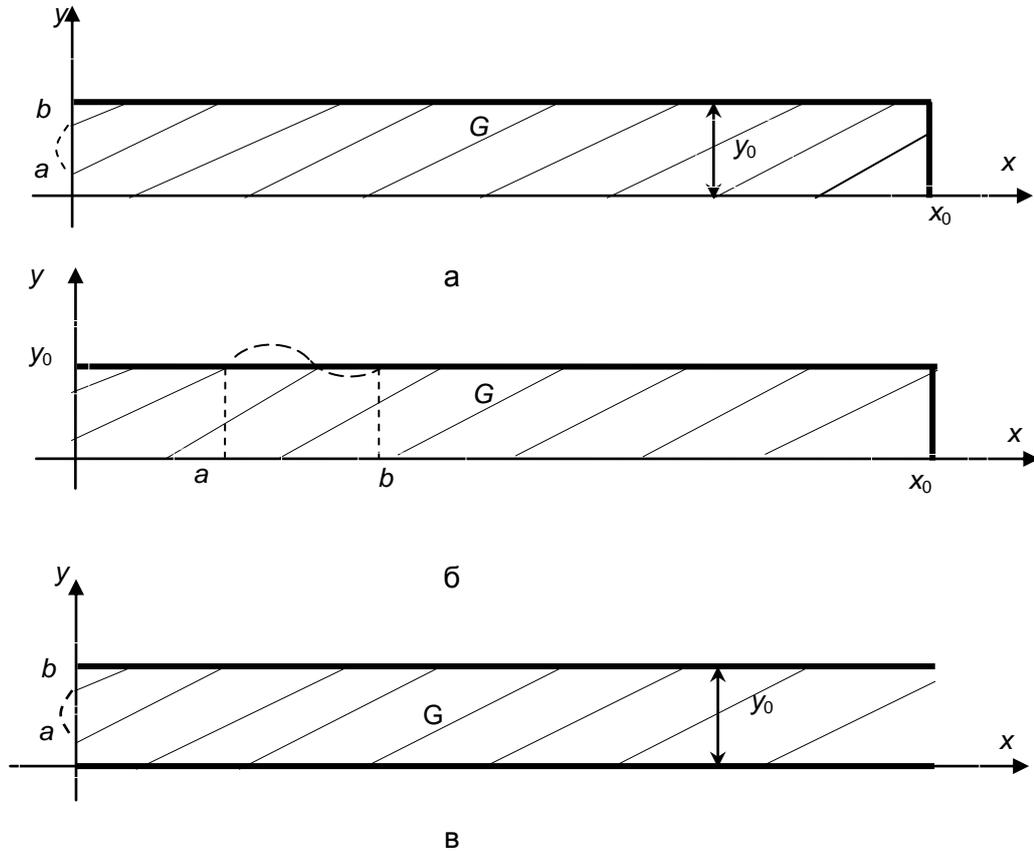


Рис. 6

Для каждой из этих моделей с помощью метода Фурье или методов теории функций комплексного переменного было получено уравнение, связывающее функцию прогиба ω упругого элемента ab и закон изменения давления рабочей среды на входе в трубопровод.

Уравнение для первой модели (рис. 6, а) имеет вид:

$$L(\omega) = P_0(y, t) - \frac{\rho x_0}{y_0} \int_a^b \ddot{\omega}(y, t) dy - \frac{1}{y_0} \int_0^{y_0} P(y, t) dy -$$

$$- \frac{2\rho}{y_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\lambda_n y)}{\operatorname{ch}(\lambda_n x_0)} \left[\int_0^{y_0} \frac{P(y, t)}{\rho} \cos(\lambda_n y) dy + \frac{\operatorname{sh}(\lambda_n x_0)}{\lambda_n} \int_a^b \ddot{\omega}(y, t) \cos(\lambda_n y) dy \right];$$

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{y_0}.$$

Уравнение для второй модели (рис. 6, б):

$$L(\omega) = -P_0(x, t) + \frac{1}{y_0} \int_0^{y_0} P(y, t) dy - \frac{2\rho}{x_0} \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\lambda_n x) \frac{\operatorname{cth}(\lambda_n y_0)}{\lambda_n} \int_a^b \ddot{\omega}(x, t) \cos(\lambda_n x) dx -$$

$$- \frac{2\rho}{y_0} \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{ch}(v_n x) \frac{\cos(v_n y_0)}{\operatorname{ch}(v_n x_0)} \int_0^{y_0} P(y, t) \cos(v_n y) dy;$$

$$\lambda_n = \frac{(2n-1)\pi}{2x_0}, \quad v_n = \frac{n\pi}{y_0}.$$

Для третьей модели (рис. 6, в):

$$L(\omega) = P_0(y, t) - P(t) + \frac{\rho}{\pi a} \int_a^b \ddot{\omega}(\tau, t) \ln \left| \cos \frac{\pi \tau}{y_0} - \cos \frac{\pi y}{y_0} \right| d\tau.$$

В этих уравнениях $P(y, t)$ или $P(t)$ – законы изменения давления среды на входе в трубопровод ($x=x_0$ или $x=\infty$).

Для всех трех моделей проводились исследования динамики упругого элемента датчика на основе метода Галеркина и с применением вычислительного пакета Mathematica.

Результаты исследований использовались при выполнении х/д НИР «Исследование динамики упругих элементов датчиков с учетом теплового и гидродинамического воздействия» (НИИ интегральных датчиков, г. Ульяновск), х/д НИР «Разработка математической модели динамической системы «трубопровод–емкостной датчик давления»» (ОКБ «Сигнал», г. Энгельс).

ЛИТЕРАТУРА

1. Vel'misov P.A. Mathematical models of a mechanical system «Pipeline – Pressure Sensor» / P.A. Vel'misov, Yu.V. Pokladova // Applications of Mathematics in Engineering and Economics. Soft trade, Sofia, Bulgaria, 2005. P. 84-89.
2. Вельмисов П.А. Математическое моделирование механической системы «трубопровод – датчик давления» / П.А. Вельмисов, В.Д. Горбоконенко, Ю.А. Решетников // Датчики и системы. 2003. № 6 (49). С. 12-15.
3. Вельмисов П.А. Устойчивость вязкоупругих систем / П.А. Вельмисов, А.Д. Дроздов, В.Б. Колмановский. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1991. 180 с.
4. Вельмисов П.А. Устойчивость уравнений взаимодействия вязкоупругих пластин с жидкостью / П.А. Вельмисов, В.Б. Колмановский, Ю.А. Решетников // Дифференциальные уравнения. 1994. Т. 30. Вып. 11. С. 1966-1981.
5. Вельмисов П.А. Исследование колебаний упругого элемента датчика давления / П.А. Вельмисов, Ю.В. Покладова // Вестник УлГТУ. 2005. № 2. С. 20-22.
6. Вельмисов П.А. Устойчивость вязкоупругих пластин при аэрогидродинамическом воздействии / П.А. Вельмисов, Ю.А. Решетников. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1994. 176 с.
7. Гахов Ф.Д. Краевые задачи / Ф.Д. Гахов. М.: Наука, 1977. 320 с.
8. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. М.: Наука, 1987. 280 с.
9. Решетников Ю.А. О динамике упругого элемента датчика давления / Ю.А. Решетников // Математические методы и модели в прикладных задачах науки и техники: труды Междунар. конф. КЛИН – 2005. Ульяновск: УлГТУ, 2005. Т. 4. С. 201-204.
10. Анкилов А.В. Устойчивость вязкоупругих элементов стенок проточных каналов / А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов. Ульяновск: УлГТУ, 2000. 115 с.

Анкилов Андрей Владимирович –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика»
Ульяновского государственного технического университета

Вельмисов Петр Александрович –

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика»
Ульяновского государственного технического университета

Покладова Юлия Валерьевна –

аспирант кафедры «Высшая математика»
Ульяновского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 30.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

Д.В. Кондратов, Л.И. Могилевич

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК СО СЛОЕМ ЖИДКОСТИ МЕЖДУ НИМИ ПРИ ОТСУТСТВИИ ТОРЦЕВОГО ИСТЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИИ

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

D.V. Kondratov, L.I. Mogilevich

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES OF INTERACTION OF TWO CYLINDRICAL ENVIRONMENTS WITH THE LAYER OF THE LIQUID BETWEEN THEM UNDER LEAKAGE ABSENCE IN CONDITION OF VIBRATION

Amplitude frequency characteristics (AFC) of two embedded resilient locked cylindrical coverings containing in between a layer of viscous incompressible fluid at the absence of flow in condition of vibration of mechanical system is studied in this article. It is shown here that the numbers of AFC for internal and external coverings on resonance frequencies are congruent. Particular cases of the mentioned models are described.

В современном железнодорожном, автомобильном и авиационном транспорте, а также ракетно-космических системах используются машины, агрегаты и приборы, которые, как правило, представляют собой сложные механические системы [1-4]. Они являются совокупностью абсолютно жестких, упругих и жидких тел со сложными динамическими взаимосвязями. Условия эксплуатации современных машин и приборов таковы, что они подвергаются значительным вибрационным нагрузкам, которые обусловлены внутренними и внешними источниками вибрации. Следует отметить, что в процессе эксплуатации современных машин многие детали, взаимодействующие с жидкостью, подвергаются кавитационному износу. Следовательно, практический интерес представляют исследования резонансных частот, так как именно на этих частотах возможно появление кавитации [3, 4].

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

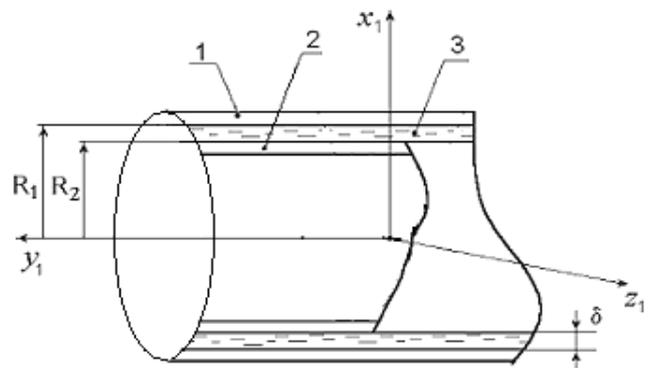


Рис. 1

Предполагается, что внешняя оболочка 1 – упругая замкнутая цилиндрическая оболочка, жестко заземленная по торцам. Внутренняя оболочка 2 – также упругая замкнутая цилиндрическая оболочка, жестко заземленная по торцам. Зазор между стенками оболочек 2 и 1 R_2 и R_1 полностью заполнен вязкой несжимаемой жидкостью 4. Наружная поверхность внешней оболочки и поверхность внутренней оболочки образуют цилиндр в цилиндре длиной l_2 . Радиальный зазор цилиндрической щели $\delta = R_1 - R_2 \ll R_2$. Истечение жидкости из цилиндрической щели отсутствует. Перемещения внутренней оболочки относительно внешней как твердого тела отсутствуют [1].

При исследовании динамики указанной механической системы для поддерживающего и демпфирующего слоя жидкости, окружающей внутреннюю оболочку, принята модель вязкой несжимаемой жидкости. Учет вязкости необходим, так как именно он создает демпфирующие свойства жидкости, что предотвращает бесконечно большие прогибы при резонансе. Таким образом, физическая модель механической системы представляет собой две упругие замкнутые цилиндрические оболочки, взаимодействующие между собой через слой жидкости под воздействием вибрации.

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

Абсолютное ускорение единицы объема жидкости в камере имеет вид [2]:

$$\bar{W} = \bar{W}_1 + \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V}, \tag{1}$$

где ∇ – оператор Гамильтона; $\bar{r} = r\bar{n}_r + y\bar{j}$ – радиус-вектор центра масс жидкой частицы относительно полюса O_1 цилиндрической системы координат r, θ, y (подход Эйлера); $\bar{V} = V_r\bar{n}_r + V_\theta\bar{n}_\theta + V_y\bar{j}$ – скорость жидкости относительно камеры в проекциях на оси r, θ, y ; $\bar{n}_r, \bar{n}_\theta, \bar{j}$ – орты базиса цилиндрической системы координат r, θ, y .

Абсолютное ускорение единицы площади срединной поверхности внешней и внутренней оболочек имеет вид

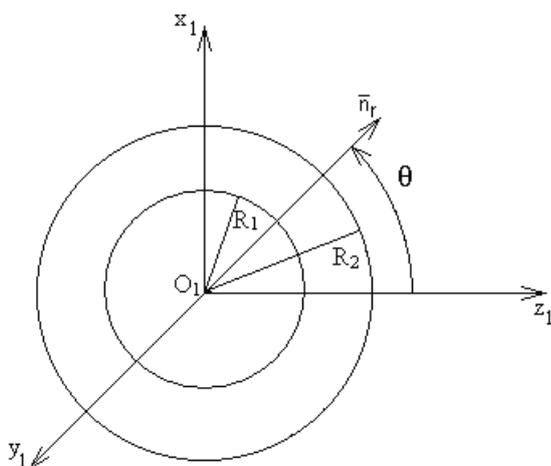


Рис. 2

$$\bar{W}_o = \bar{W}_1 + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2}, \tag{2}$$

$$\bar{W}_o = \bar{W}_1 + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2}, \tag{3}$$

где $\bar{u} = u_1\bar{n}_s + u_2\bar{n}_\theta + u_3\bar{n}$ – вектор упругих перемещений внешней оболочки (подход Лагранжа); $u_1 = u_1(y, \theta, t)$ – продольное упругое перемещение внешней оболочки, положительное в направлении \bar{n}_s , противоположном направлению \bar{j} ; $u_2 = u_2(y, \theta, t)$ – окружное упругое перемещение внешней оболочки в направлении \bar{n}_θ ; $u_3 = u_3(y, \theta, t)$ – прогиб внешней оболочки, положительный в направлении \bar{n} , совпадающем с \bar{n}_r , и противоположном направлению к центру кри-

визны; $\bar{u} = \tilde{u}_1 \bar{n}_s + \tilde{u}_2 \bar{n}_0 + \tilde{u}_3 \bar{n}$ – вектор упругих перемещений внутренней оболочки; $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$ – аналогичные параметры внутренней оболочки; \bar{W}_1 – абсолютное ускорение основания, к которому крепится силовой цилиндр.

Рассмотрим движение жидкости, находящейся между упругими замкнутыми цилиндрическими оболочками. Уравнения Навье – Стокса и уравнение неразрывности для вязкой несжимаемой жидкости с учетом переносного движения основания поплавкового маятникового акселерометра в выбранной системе координат r, θ, y , жестко связанной с центром поплавковой камеры, примут вид [2, 3]:

$$\bar{W} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \bar{V}, \quad \nabla \cdot \bar{V} = 0, \quad (4)$$

здесь p – давление жидкости; ρ – плотность жидкости; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости; Δ – оператор Лапласа.

Скалярная форма уравнений динамики жидкости имеет вид:

$$\begin{aligned} W_r &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial y^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} - \frac{V_r}{r^2} \right), \\ W_\theta &= -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial y^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} - \frac{V_\theta}{r^2} \right), \\ W_y &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_y}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \right), \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial V_y}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Граничные условия для системы уравнений (5) на непроницаемой поверхности поплавка и на стенках камеры в цилиндрической щели запишутся так

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{\partial u_3}{\partial t}, \quad V_\theta = \frac{\partial u_2}{\partial t}, \quad V_y = -\frac{\partial u_1}{\partial t} \quad \text{при } r = R_2 + \delta + u_3; \\ V_r &= \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial t}, \quad V_\theta = \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial t}, \quad V_y = -\frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial t} \quad \text{при } r = R_2 + \tilde{u}_3. \end{aligned} \quad (6)$$

Кроме того, запишем условия согласования:

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \text{при } y = \pm \frac{l}{2}. \quad (7)$$

Вместо них можно поставить условия симметрии относительно плоскости $y=0$ (когда они имеют место)

$$\int_{R_2 + e \cos \theta}^{R_2 + \delta + u_3} V_y dr = 0 \quad \text{при } y = 0. \quad (8)$$

Кроме того, необходимы условия периодичности параметров течения по θ с периодом 2π (условия замкнутости потока жидкости).

Скалярные уравнения динамики внешней упругой замкнутой цилиндрической оболочки, основанные на гипотезах Кирхгофа – Лява, с учётом переносного движения относительно инерциального пространства, запишутся в виде [2, 3]

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} + \frac{1 - \mu_0}{2} \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial \theta^2} - \frac{1 + \mu_0}{2} \frac{1}{R} \frac{\partial^2 u_2}{\partial y \partial \theta} - \frac{\mu_0}{R} \frac{\partial u_3}{\partial y} = \frac{1 - \mu_0^2}{E h_0} [\rho_0 h_0 W_{0s} - q_s];$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1+\mu_0}{2} \frac{1}{R} \frac{\partial^2 u_1}{\partial y \partial \theta} + \frac{1-\mu_0}{2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial y^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \theta^2} + a_0^2 \left[2(1-\mu_0) \frac{\partial^2 u_2}{\partial y^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \theta^2} \right] + \\
 & + \frac{1}{R^2} \frac{\partial u_3}{\partial \theta} - a_0^2 \left[(2-\mu_0) \frac{\partial^3 u_3}{\partial y^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 u_3}{\partial \theta^3} \right] = \frac{1-\mu_0^2}{Eh_0} [\rho_0 h_0 W_{O\theta} - q_\theta], \\
 & -\frac{\mu_0}{R} \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial u_2}{\partial \theta} - a_0^2 \left[(2-\mu_0) \frac{\partial^3 u_2}{\partial y^2 \partial \theta} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^3 u_2}{\partial \theta^3} \right] + \frac{u_3}{R} + \\
 & + a_0^2 \left[R^2 \frac{\partial^4 u_3}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 u_3}{\partial y^2 \partial \theta^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^4 u_3}{\partial \theta^4} \right] = \frac{1-\mu_0^2}{Eh_0} [-\rho_0 h_0 W_{On} - q_n],
 \end{aligned} \tag{9}$$

где E – модуль Юнга; μ_0 – коэффициент Пуассона; ρ_0 – плотность материала; R – радиус средней поверхности; h_0 – толщина оболочки,

$$\begin{aligned}
 q_s &= -[P_{ry} \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) + P_{\theta y} \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) + P_{yy} \cos(\bar{n}, \bar{j})]_{r=R_1+u_3}; \\
 q_\theta &= [P_{r\theta} \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) + P_{\theta\theta} \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) + P_{\theta y} \cos(\bar{n}, \bar{j})]_{r=R_1+u_3}; \\
 q_n &= [P_{rr} \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) + P_{r\theta} \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) + P_{ry} \cos(\bar{n}, \bar{j})]_{r=R_1+u_3}; \\
 P_{rr} &= -p + 2\rho v \frac{\partial V_r}{\partial r}; \quad P_{r\theta} = \rho v \left(\frac{\partial V_\theta}{\partial r} - \frac{V_\theta}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} \right); \\
 P_{\theta\theta} &= -p + 2\rho v \left(\frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_r}{r} \right); \quad P_{ry} = \rho v \left(\frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial y} \right);
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$P_{yy} = -p + 2\rho v \frac{\partial V_y}{\partial y}; \quad P_{\theta y} = \rho v \left(\frac{\partial V_\theta}{\partial y} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_y}{\partial \theta} \right); \quad \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) = \frac{R_1 + u_3}{|\bar{N}|}; \quad \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) = -\frac{1}{|\bar{N}|} \frac{\partial u_3}{\partial \theta};$$

$$\cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) = -\frac{R_1 + u_3}{|\bar{N}|} \frac{\partial u_3}{\partial y}; \quad a_0^2 = \frac{h_0^2}{12R^2}; \quad |\bar{N}| = \left\{ (R_1 + u_3)^2 \left[1 + \frac{\partial u_3}{\partial y} \right]^2 + \left(\frac{\partial u_3}{\partial \theta} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

В последнем уравнении (9) перед q_n взят знак минус потому, что жидкость действует на оболочку снизу.

Граничные условия для перемещений оболочки состоят в условиях жесткой заделки на торцах. Так, для левого торца имеем

$$u_1 = u_2 = u_3 = \frac{\partial u_3}{\partial y} = 0 \quad \text{при} \quad y = \frac{l_2}{2}. \tag{11}$$

На втором торце ставятся аналогичные условия. Вместо них можно рассматривать условия симметрии задачи относительно плоскости $y=0$ (когда они имеют место)

$$u_1 = \frac{\partial u_2}{\partial y} = \frac{\partial u_3}{\partial y} = \frac{\partial^3 u_2}{\partial y^3} = 0 \quad \text{при} \quad y = 0. \tag{12}$$

Аналогичные уравнения записываются для внутренней упругой замкнутой цилиндрической оболочки [2, 3]:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial^2 \tilde{u}_1}{\partial y^2} + \frac{1-\tilde{\mu}_0}{2} \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial^2 \tilde{u}_1}{\partial \theta^2} - \frac{1+\tilde{\mu}_0}{2} \frac{1}{\tilde{R}} \frac{\partial^2 \tilde{u}_2}{\partial y \partial \theta} - \frac{\tilde{\mu}_0}{\tilde{R}} \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial y} = \frac{1-\tilde{\mu}_0^2}{\tilde{E}\tilde{h}_0} [\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{W}_{Os} - \tilde{q}_s]; \\
 & -\frac{1+\tilde{\mu}_0}{2} \frac{1}{\tilde{R}} \frac{\partial^2 \tilde{u}_1}{\partial y \partial \theta} + \frac{1-\tilde{\mu}_0}{2} \frac{\partial^2 \tilde{u}_2}{\partial y^2} + \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial^2 \tilde{u}_2}{\partial \theta^2} + \tilde{a}_0^2 \left[2(1-\tilde{\mu}_0) \frac{\partial^2 \tilde{u}_2}{\partial y^2} + \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial^2 \tilde{u}_2}{\partial \theta^2} \right] +
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial \theta} - \tilde{a}_0^2 \left[(2 - \tilde{\mu}_0) \frac{\partial^3 \tilde{u}_3}{\partial y^2 \partial \theta} + \frac{\partial^3 \tilde{u}_3}{\partial \theta^3} \right] = \frac{1 - \tilde{\mu}_0^2}{\tilde{E} \tilde{h}_0} [\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{W}_{o\theta} - \tilde{q}_\theta], \\
 & - \frac{\tilde{\mu}_0}{\tilde{R}} \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial y} + \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial \theta} - \tilde{a}_0^2 \left[(2 - \tilde{\mu}_0) \frac{\partial^3 \tilde{u}_2}{\partial y^2 \partial \theta} + \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial^3 \tilde{u}_2}{\partial \theta^3} \right] + \frac{\tilde{u}_3}{\tilde{R}} + \\
 & + \tilde{a}_0^2 \left[\tilde{R}^2 \frac{\partial^4 \tilde{u}_3}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 \tilde{u}_3}{\partial y^2 \partial \theta^2} + \frac{1}{\tilde{R}^2} \frac{\partial^4 \tilde{u}_3}{\partial \theta^4} \right] = \frac{1 - \tilde{\mu}_0^2}{\tilde{E} \tilde{h}_0} [-\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{W}_{on} + \tilde{q}_n],
 \end{aligned}$$

где \tilde{E} – модуль Юнга; $\tilde{\mu}_0$ – коэффициент Пуассона; $\tilde{\rho}_0$ – плотность материала; \tilde{R} – радиус срединной поверхности; \tilde{h}_0 – толщина оболочки;

$$\begin{aligned}
 \tilde{q}_s &= -[P_{ry} \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) + P_{\theta y} \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) + P_{yy} \cos(\bar{n}, \bar{j})]_{r=R_2+u_3}; \\
 \tilde{q}_\theta &= [P_{r\theta} \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) + P_{\theta\theta} \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) + P_{\theta y} \cos(\bar{n}, \bar{j})]_{r=R_2+u_3}; \\
 \tilde{q}_n &= [P_{rr} \cos(\bar{n}, \bar{n}_r) + P_{r\theta} \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) + P_{ry} \cos(\bar{n}, \bar{j})]_{r=R_2+u_3};
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\cos(\bar{n}, \bar{n}_r) = \frac{R_2 + \tilde{u}_3}{|\bar{N}|}; \quad \cos(\bar{n}, \bar{n}_\theta) = -\frac{1}{|\bar{N}|} \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial \theta}; \quad \cos(\bar{n}, \bar{n}_y) = -\frac{R_2 + \tilde{u}_3}{|\bar{N}|} \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial y};$$

$$|\bar{N}| = \left\{ (R_2 + \tilde{u}_3)^2 \left[1 + \left(\frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial \theta} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad \tilde{a}_0^2 = \frac{\tilde{h}_0^2}{12\tilde{R}^2}.$$

Граничные условия для перемещений оболочки состоят в условиях жесткой заделки на торцах. Так, для левого торца имеем

$$\tilde{u}_1 = \tilde{u}_2 = \tilde{u}_3 = \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial y} = 0 \quad \text{при} \quad y = \frac{l_2}{2}. \tag{15}$$

На втором торце ставятся аналогичные условия. Вместо них можно рассматривать условия симметрии задачи относительно плоскости $y=0$ (когда они имеют место)

$$\tilde{u}_1 = \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial y} = \frac{\partial \tilde{u}_3}{\partial y} = \frac{\partial^3 \tilde{u}_2}{\partial y^3} = 0 \quad \text{при} \quad y = 0. \tag{16}$$

Кроме того, для обеих оболочек ставятся условия периодичности параметров течения по θ с периодом 2π .

Таким образом, получена поставленная связанная задача упругогидродинамики.

Полученная связанная задача упругогидродинамики решается методом возмущений в предположении гармонических законов движения механической системы. Решение уравнений гидромеханики ищется в виде одночленного разложения по малому параметру, характеризующему относительную среднюю толщину поддерживающего слоя жидкости, и одночленного разложения по малому параметру, называемому характеризующим относительный прогиб для каждой из оболочек. Для решения связанных линейных уравнений динамики внутренней и внешней оболочек применяется метод Бубнова – Галеркина в первом приближении. На основе найденного решения задачи упругогидродинамики найдены амплитудные частотные характеристики (АЧХ), которые записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \tilde{u}_{30} &= -(1 - \zeta^2)^2 p_0 \tilde{R}^2 / \left\{ \tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{c}^2 \left[\frac{16}{21} - \frac{32}{147} \tilde{\mu}_0^2 + 24 \tilde{a}_0^2 \left(\frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^4 \right] \right\} + \\
 & + \frac{\text{num}_{inn}}{\text{den}} (1 - \zeta^2)^2 \times [E_z \omega^2 \cos \theta \sin(\omega t + \varphi_{z_0} + \tilde{\eta}(\omega)) + E_x \omega^2 \sin \theta \sin(\omega t + \varphi_{x_0} + \tilde{\eta}(\omega))]; \tag{17}
 \end{aligned}$$

$$u_{30} = (1 - \zeta^2)^2 p_0 R^2 / \left\{ \rho_0 h_0 c^2 \left[\frac{16}{21} - \frac{32}{147} \mu_0^2 + 24 a_0^2 \left(\frac{2R}{l_2} \right)^4 \right] \right\} + \frac{\text{num}_{\text{out}}}{\text{den}} (1 - \zeta^2)^2 \times [E_z \omega^2 \cos \theta \sin(\omega t + \varphi_{z_0} + \eta(\omega)) + E_x \omega^2 \sin \theta \sin(\omega t + \varphi_{x_0} + \eta(\omega))]. \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} \text{num}_{\text{out}} &= a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1^2 \tilde{g}_1^2 b_{33}^2 + 2 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_1 g_1 b_{33} \tilde{b}_{33} + a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 g_1^2 \tilde{b}_{33}^2 + \\ &+ 4 w \varepsilon^2 \tilde{a}_{11} a_{11}^2 d e_1 \tilde{g}_1 g_1 \tilde{g}_2 B_0 + 4 w^2 \varepsilon^4 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1^2 \tilde{g}_1^2 B_0^2 + a_{11}^2 \tilde{g}_1^2 g_1^2; \\ \text{num}_{\text{inn}} &= a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1^2 \tilde{g}_1^2 b_{33}^2 + 2 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d e_1 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_1 g_1 b_{33} \tilde{b}_{33} + a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 g_1^2 \tilde{b}_{33}^2 + \\ &+ 4 w \varepsilon^2 a_{11} \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_1 g_1 g_2 \tilde{B}_0 + 4 w^2 \varepsilon^4 a_{11}^2 \tilde{a}_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 g_1^2 \tilde{B}_0^2 + \tilde{a}_{11}^2 \tilde{g}_1^2 g_1^2; \\ \text{den} &= g_2^2 \tilde{g}_2^2 + (288 v^2 B_0 \tilde{B}_0 - 8 w^2 \varepsilon^4 B_0 \tilde{B}_0) \tilde{a}_{11} a_{11} d e_1 d \tilde{e}_1 \tilde{g}_2 g_2 + \\ &+ (16 w^4 \varepsilon^8 B_0^2 \tilde{B}_0^2 + 2304 w^2 \varepsilon^4 v^2 B_0 \tilde{B}_0^2) \tilde{a}_{11}^2 a_{11}^2 d \tilde{e}_1^2 d e_1^2 + 144 v^2 d e_1^2 a_{11}^2 \tilde{g}_2^2 B_0^2 + \\ &+ 144 v^2 d \tilde{e}_1^2 \tilde{a}_{11}^2 g_2^2 \tilde{B}_0^2 - 1152 v^2 w \varepsilon^2 a_{11}^2 \tilde{a}_{11} \tilde{g}_2 d \tilde{e}_1 d e_1^2 B_0 \tilde{B}_0 - 1152 v^2 w \varepsilon^2 \tilde{a}_{11} a_{11} g_2 d e_1 d \tilde{e}_1^2 \tilde{B}_0^2 B_0; \\ a_{11} &= -\frac{8}{5} \left(\frac{2R}{l_2} \right)^2 - \frac{8}{105} (1 - \mu_0) + \frac{16}{105} \frac{R^2 \omega^2}{c^2}, \quad a_{12} = \frac{4}{15} \frac{2R}{l_2} (1 + \mu_0), \quad a_{13} = \frac{64}{105} \frac{2R}{l_2} \mu_0, \\ a_{22} &= -\frac{4}{3} \left(\frac{2R}{l_2} \right)^2 (1 + 4 a_0^2) (1 - \mu_0) - \frac{16}{15} (1 + a_0^2) + \frac{16}{15} \frac{R^2 \omega^2}{c^2}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$a_{23} = -\frac{32}{15} \left(\frac{2R}{l_2} \right)^2 (2 - \mu_0) a_0^2 - \frac{32}{35} (1 + a_0^2),$$

$$a_{33} = \frac{256}{315} (1 + a_0^2) + \frac{128}{5} \left(\frac{2R}{l_2} \right)^4 a_0^2 + \frac{512}{105} \left(\frac{2R}{l_2} \right)^2 a_0^2 - \frac{256}{315} \frac{R^2 \omega^2}{c^2} + 2 \varepsilon^2 w B_0, \quad b_{33} = -12 v B_0,$$

$$d e_1 = a_{11} a_{22} - a_{12}^2, \quad d e_2 = a_{12} a_{13} - a_{11} a_{23}, \quad d e_3 = a_{13} a_{22} - a_{12} a_{23},$$

$$d e_7 = a_{33} d e_1 - a_{23} d e_2 + a_{13} d e_3, \quad d e_8 = d e_7^2 + b_{33}^2 d e_1^2,$$

$$\tilde{a}_{11} = -\frac{8}{5} \left(\frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 - \frac{8}{105} (1 - \tilde{\mu}_0) + \frac{16}{105} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2}, \quad \tilde{a}_{12} = \frac{4}{15} \frac{2\tilde{R}}{l_2} (1 + \tilde{\mu}_0), \quad \tilde{a}_{13} = \frac{64}{105} \frac{2\tilde{R}}{l_2} \tilde{\mu}_0,$$

$$\tilde{a}_{22} = -\frac{4}{3} \left(\frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 (1 + 4 \tilde{a}_0^2) (1 - \tilde{\mu}_0) - \frac{16}{15} (1 + \tilde{a}_0^2) + \frac{16}{15} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2}, \quad \tilde{a}_{23} = -\frac{32}{15} \left(\frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 (2 - \tilde{\mu}_0) \tilde{a}_0^2 - \frac{32}{35} (1 + \tilde{a}_0^2),$$

$$\tilde{a}_{33} = \frac{256}{315} (1 + \tilde{a}_0^2) + \frac{128}{5} \left(\frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^4 \tilde{a}_0^2 + \frac{512}{105} \left(\frac{2\tilde{R}}{l_2} \right)^2 \tilde{a}_0^2 - \frac{256}{315} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2} + 2 \varepsilon^2 w \tilde{B}_0, \quad \tilde{b}_{33} = -12 v \tilde{B}_0,$$

$$d \tilde{e}_1 = \tilde{a}_{11} \tilde{a}_{22} - \tilde{a}_{12}^2, \quad d \tilde{e}_2 = \tilde{a}_{12} \tilde{a}_{13} - \tilde{a}_{11} \tilde{a}_{23}, \quad d \tilde{e}_3 = \tilde{a}_{13} \tilde{a}_{22} - \tilde{a}_{12} \tilde{a}_{23}, \quad d \tilde{e}_7 = \tilde{a}_{33} d \tilde{e}_1 - \tilde{a}_{23} d \tilde{e}_2 + \tilde{a}_{13} d \tilde{e}_3,$$

$$d \tilde{e}_8 = d \tilde{e}_7^2 + \tilde{b}_{33}^2 d \tilde{e}_1^2, \quad B_{00} = -\frac{\rho R_2}{\text{Re} \psi} \left[\frac{256}{315} - \frac{1}{\sigma^2} \frac{256}{105} + \frac{1}{\sigma^4} \frac{128}{5} - \frac{1}{\sigma^6} 384 Q_1 - \frac{1}{\sigma^2} \frac{128}{15} Q_1 (1 - F) \right],$$

$$Q_1 = 1 - \frac{3}{\sigma} \text{cth} \sigma + \frac{3}{\sigma^2}, \quad F = 1, \quad B_0 = \frac{R^2 \omega^2}{\rho_0 h_0 c^2} B_{00}, \quad \tilde{B}_0 = \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0 \tilde{c}^2} B_{00},$$

$$g_1 = \frac{16 R^2}{15 c^2} \left(\frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_1 - \frac{4 R^2}{3 c^2} de_2, \quad \tilde{g}_1 = \frac{16 \tilde{R}^2}{15 \tilde{c}^2} \left(\frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) d\tilde{e}_1 - \frac{4 \tilde{R}^2}{3 \tilde{c}^2} d\tilde{e}_2,$$

$$g_2 = de_2 + (a_{33}a_{11} + a_{13}^2)de_1, \quad \tilde{g}_2 = d\tilde{e}_2 + (\tilde{a}_{33}\tilde{a}_{11} + \tilde{a}_{13}^2)d\tilde{e}_1.$$

Из формул (17) и (18) находим амплитудные частотные характеристики для корпуса силового цилиндра и корпуса плунжера:

$$A(\omega) = \frac{\text{num}_{out}}{\text{den}}; \tag{20}$$

$$\tilde{A}(\omega) = \frac{\text{num}_{inn}}{\text{den}}. \tag{21}$$

Отметим, что полученные выражения имеют одинаковый знаменатель. Следовательно, данные амплитудные частотные характеристики должны определять не колебания каждой из оболочек, а амплитудные частотные характеристики системы «упругая оболочка – вязкая несжимаемая жидкость – упругая оболочка».

Расчеты показывают (табл. 1), что значения амплитудной частотной характеристики, рассчитанные по формулам (20), (21), практически совпадают на всем диапазоне частот.

Таблица 1

Частоты и величины АЧХ на резонансных частотах оболочек

Частота, Гц	$\tilde{A}(\omega)$, м	$A(\omega)$, м
490	$2,56 \cdot 10^{-6}$	$9,27 \cdot 10^{-6}$
1658	$2,37 \cdot 10^{-5}$	$2,24 \cdot 10^{-5}$
4336	$2,59 \cdot 10^{-9}$	$2,98 \cdot 10^{-9}$
6820	$2,17 \cdot 10^{-9}$	$1,05 \cdot 10^{-9}$
7525	$3,98 \cdot 10^{-8}$	$3,71 \cdot 10^{-8}$
9408	$8,46 \cdot 10^{-7}$	$7,77 \cdot 10^{-7}$

Расчеты произведены для модели с параметрами $R_2=1,775 \cdot 10^{-1}$ м, $l_2=7,82 \cdot 10^{-1}$ м, $\delta=2 \cdot 10^{-2}$ м, $\rho=10^3$ кг/м³, $R_1=1,975 \cdot 10^{-1}$ м, $\nu=10^{-6}$ м²/с, $h_0=1,85 \cdot 10^{-2}$ м, $E=1,6 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu_0=0,25$, $\rho_0=7,4 \cdot 10^3$ кг/м³, $\tilde{h}_0=9,25 \cdot 10^{-2}$ м, $\tilde{E}=6,96 \cdot 10^{10}$ Па, $\tilde{\mu}_0=3,4 \cdot 10^{-1}$, $\tilde{\rho}_0=2,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

В амплитудной частотной характеристике системы наблюдаются шесть резонансных частот, что может быть объяснено именно наличием двух упругих оболочек, у каждой из которых есть свои резонансные частоты. Следует заметить, что совпадение значений резонансных частот для внутренней и внешней оболочек силового цилиндра можно объяснить несжимаемостью жидкости, находящейся между оболочками. В этом случае система будет работать как единое целое.

Таким образом, в случае, когда в системе вязкая несжимаемая жидкость находится между двумя замкнутыми упругими оболочками при отсутствии истечения жидкости, тогда вся система начинает колебаться как единое целое. Тогда подбором материалов и типоразмеров системы можно не только уменьшить величины АЧХ на резонансных частотах, но и сдвинуть резонансы в области более высоких или низких частот.

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

Если в физической модели механической системы, описанной ранее, внутреннюю оболочку считать абсолютно жестким цилиндром, а внешнюю оболочку считать упругой за-

мкнутой цилиндрической оболочкой, то получившаяся механическая модель будет являться физической моделью двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с водяным охлаждением, характерной для дизелей тепловозов с упругой рубашкой или плунжерных пар.

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

Математическая модель ДВС с водяным охлаждением получается из математической модели, описанной выше, путем предельного перехода от упругой внутренней оболочки к абсолютно жесткому внутреннему цилиндру. Математически это означает, что в уравнениях (4)-(16) $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$ равны нулю. Здесь и далее будем считать, что внутренний цилиндр абсолютно жесткий с параметрами, описанными выше.

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

$$A(\omega) = \frac{4 R^2}{3 c^2} \frac{\left(\frac{4}{5} \left(\frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_1 - de_2 \right)}{\sqrt{de_8}} \quad (22)$$

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

$$K(\omega) = \frac{\left(\frac{4}{5} \left(\frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_1 - de_2 \right)}{\sqrt{de_8}} \bigg/ \frac{\left(\frac{4}{5} \left(\frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0} + 1 \right) de_{10} - de_{20} \right)}{\sqrt{de_{80}}}, \quad (23)$$

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

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

Таблица 2

Значения амплитудной частотной характеристики рубашки на резонансных частотах колебаний

f , Гц	$A(\omega)$, м	$K(\omega)$
544	$1.93 \cdot 10^{-5}$	$5.88 \cdot 10^2$
4128	$2.78 \cdot 10^{-6}$	$8.50 \cdot 10^1$
6826	$-2.18 \cdot 10^{-8}$	$-6.67 \cdot 10^{-1}$

Из проведенного анализа выражений (22) и (23) в колебательной системе «оболочка – жидкость» будут наблюдаться три резонансных частоты.

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

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

$$\tilde{A}(\omega) = \frac{4}{3} \frac{\tilde{R}^2 \omega^2}{\tilde{c}^2} \frac{\frac{4}{5} d\tilde{e}_1 \left(\frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) + d\tilde{e}_2}{\sqrt{d\tilde{e}_8}}, \quad (24)$$

или коэффициент динамичности

$$\tilde{K}(\omega) = \sqrt{\frac{d\tilde{e}_8^0 \left(\frac{4}{5} d\tilde{e}_1 \left(\frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) + d\tilde{e}_2 \right)^2}{d\tilde{e}_8 \left(\frac{4}{5} d\tilde{e}_1^0 \left(\frac{\rho R_2}{\tilde{\rho}_0 \tilde{h}_0} - 1 \right) + d\tilde{e}_2^0 \right)^2}}. \quad (25)$$

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

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

Таблица 3

Значения амплитудной частотной характеристики рубашки на резонансных частотах колебаний

f , Гц	$\tilde{A}(\omega)$, м	$\tilde{K}(\omega)$
936	$-1.07 \cdot 10^{-5}$	$4.17 \cdot 10^3$
6831	$-1.84 \cdot 10^{-6}$	$7.19 \cdot 10^2$
8627	$1.97 \cdot 10^{-7}$	$-7.72 \cdot 10^1$

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

ЛИТЕРАТУРА

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

Кондратов Дмитрий Вячеславович –

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

Могилевич Лев Ильич –

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

Статья поступила в редакцию 11.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

А.Н. Юлаев, Ю.А. Зюрюкин

ОСОБЕННОСТИ КОЛЛИНЕАРНОГО АНИЗОТРОПНОГО АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В X-СРЕЗЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

Работа посвящена исследованию характеристик коллинеарной анизотропной брэгговской дифракции света на ультразвуке вдоль x-направления в кристалле ниобата лития. Описано новое явление – не взаимность коллинеарной дифракции, заключающаяся в несовпадении оптимальных частот дифракции акустической либо оптической волн при изменении направления распространения ультразвука или света на противоположное. В конце работы приведены экспериментальные данные, полностью подтверждающие теоретическое описание не взаимных эффектов дифракции.

A.N. Yulaev, Yu.A. Zyuryukin

CHARACTERISTIC OF COLLINEAR ANISOTROPIC ACOUSTO-OPTIC INTERACTION ALONG X-AXIS OF THE LITHIUM NIOBATE CRYSTAL

This paper is devoted to the research of the characteristics of collinear anisotropic Bragg diffraction of light on elastic wave propagation along x-axis of lithium niobate crystal. So the new effect as non-reciprocity of collinear diffraction is described here. It expresses in inequality of value of the optimal acoustic or optic wave frequency if direction of ultrasonic wave propagation or light has changed to opposite direction. Experimental supporting evidence of this effect for example of collinear acousto-optic diffraction is presented in this article.

Суть коллинеарного акустооптического (АО) взаимодействия заключается в следующем: линейно-поляризованный свет, распространяясь навстречу или противоположно направлению ультразвуковой волны, преобразуется в ортогонально-поляризованный по отношению к падающему оптическому лучу. Частоты и волновые векторы падающего и дифрагированного света, а также ультразвука связаны выражениями:

$$\omega_2 = \omega_1 \pm \Omega, \quad (1)$$

$$k_2 = k_1 \pm K. \quad (2)$$

Здесь величины с индексом 1 характеризуют падающий свет, с индексом 2 – дифрагированный. Ω , K – частота и волновой вектор ультразвука.

В отрицательном одноосном кристалле ниобата лития вдоль x-оси возможно два варианта геометрии коллинеарной анизотропной дифракции. Векторные диаграммы, отвечающие этим двум случаям, приведены на рис. 1 (индексы o , e соответствуют обыкновенному и необыкновенному световым лучам).

Как показано на рис. 1, АО взаимодействие происходит между волнами с векторами k_e и k_o с суммированием либо вычетом волнового вектора ультразвука K .

Применяя выражения (1)-(2) относительно двух вариантов дифракций (а) и (б) (рис. 1), получим выражения для частот падающего и дифрагированного света в виде:

для случая (а)

$$\omega_{o(a)} = \Omega c / (v_{36}(n_o - n_e)) - \Omega n_e / (n_o - n_e), \quad (3)$$

$$\omega_{e(a)} = \Omega c / (v_{36}(n_o - n_e)) - \Omega n_o / (n_o - n_e), \quad (4)$$

аналогично для случая (б)

$$\omega_{o(\delta)} = \Omega c / (v_{3\delta}(n_o - n_e)) + \Omega n_e / (n_o - n_e), \quad (5)$$

$$\omega_{e(\delta)} = \Omega c / (v_{3\delta}(n_o - n_e)) + \Omega n_o / (n_o - n_e). \quad (6)$$

Здесь n_e, n_o – показатели преломления необыкновенного и обыкновенного световых лучей; $v_{3\delta}$ – скорость ультразвука вдоль x -оси кристалла; c – скорость света в свободном пространстве. При описании коллинеарного АО взаимодействия обычно предполагалось, что дифракция света на ультразвуке происходит на одной частоте [1, 2] независимо от того, распространяется ли свет коллинеарно либо навстречу ультразвуку, однако выражения (3)-(6) это опровергают. Частота дифракции изменяется при обращении направления распространения ультразвука на противоположное. В этом состоит суть *невзаимных эффектов* АО дифракции.

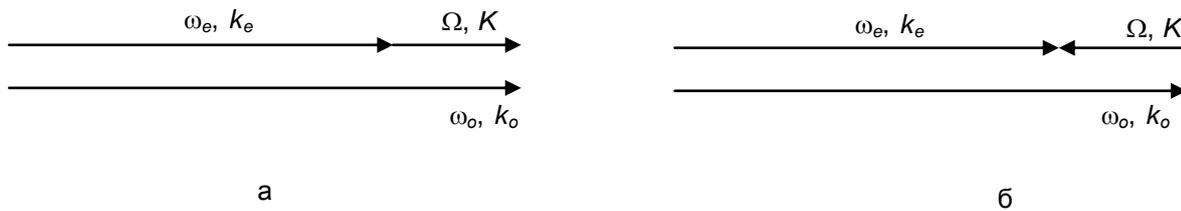


Рис. 1. Два возможных варианта дифракции вдоль x -направления в кристалле LiNbO_3 : а – случай $k_e + K = k_o$; б – случай $k_e - K = k_o$

Представим выражения (3)-(6) на оси оптических частот (рис. 2).

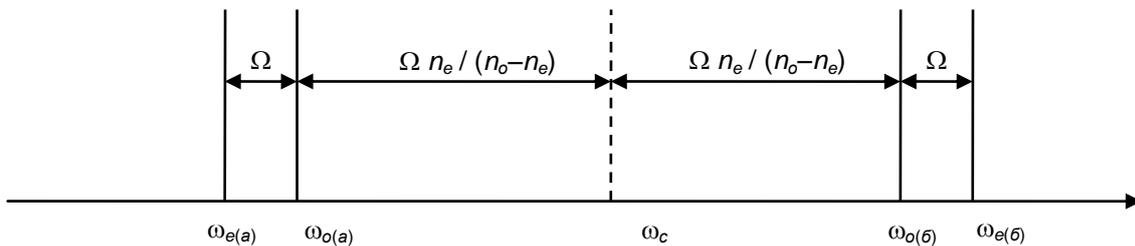


Рис. 2. Схематичное представление дифрагированных составляющих света на оси оптических частот: ω_c – частота симметрии $\Omega c / (v_{3\delta}(n_o - n_e))$. Справа от ω_c располагаются составляющие дифрагированного света, соответствующие случаю (б), слева – случаю (а)

Определим величину невязности как разность между оптимальными частотами волн перед дифракцией для случая (а) и (б). Согласно (3)-(6), невязность составит величину $|\omega_{e(a)} - \omega_{e(\delta)}| = 2\Omega n_e / (n_o - n_e) + 2\Omega$.

Как известно, АО взаимодействие имеет место и при нестрогом выполнении равенства (2), однако интенсивность дифракции спадает при удалении частоты света от оптимальной ω_e [1]:

$$I_d(\omega) = W^2 (\sin [KL(W^2 + ((n_o - n_e)(cK)^{-1}(\omega - \omega_e))^2)^{1/2} / 2])^2 / (W^2 + ((n_o - n_e)(cK)^{-1}(\omega - \omega_e))^2). \quad (7)$$

Здесь I_d – нормированная интенсивность дифрагированного света; $W = \pi p (2P_a n_o^3 n_e^3 / (\rho v_{3\delta}^3 H^2))^{1/2} / (K\lambda)$; L – длина области АО взаимодействия; P_a – мощность ультразвука; p – упругооптический коэффициент; ρ – плотность АО среды; H – ширина акустического фронта; λ – длина волны падающего света.

Ниже на рис. 3, 4 представлены расчётные зависимости нормированной интенсивности дифрагированного света от оптической частоты падающего излучения для АО взаимодействия вдоль x -оси ниобата лития при $H=2$ мм, $P_a=100$ мВт для длин АО взаимодействия

$L=37$ и 55 мм (сплошная кривая отражает дифракцию в случае (а), пунктирная – в случае (б) (рис. 1)). В примере при длине АО взаимодействия 55 мм наибольшая эффективность дифракции достигается не для частоты, соответствующей строгому равенству (1), а для частоты, отличающейся от оптимальной. Такой результат имеет место как следствие решения задачи двух связанных волн, исходя из которой две имеющих друг с другом связь волны, распространяясь во времени и в пространстве, периодически обмениваются энергией между собой. Подобный энергетический обмен имеет место при небольшой расстройке между частотами и волновыми числами взаимодействующих волн (в нашем случае разница в частотах равна Ω , в волновых числах – K). Следовательно, как только энергия от одной волны перейдет к другой, поляризованной ортогонально первой, при дальнейшем взаимодействии направление перехода энергии сменится на противоположное. Этим и объясняется необходимость наличия расстройки между волнами для достижения наибольшей эффективности дифракции при заданной длине АО взаимодействия.

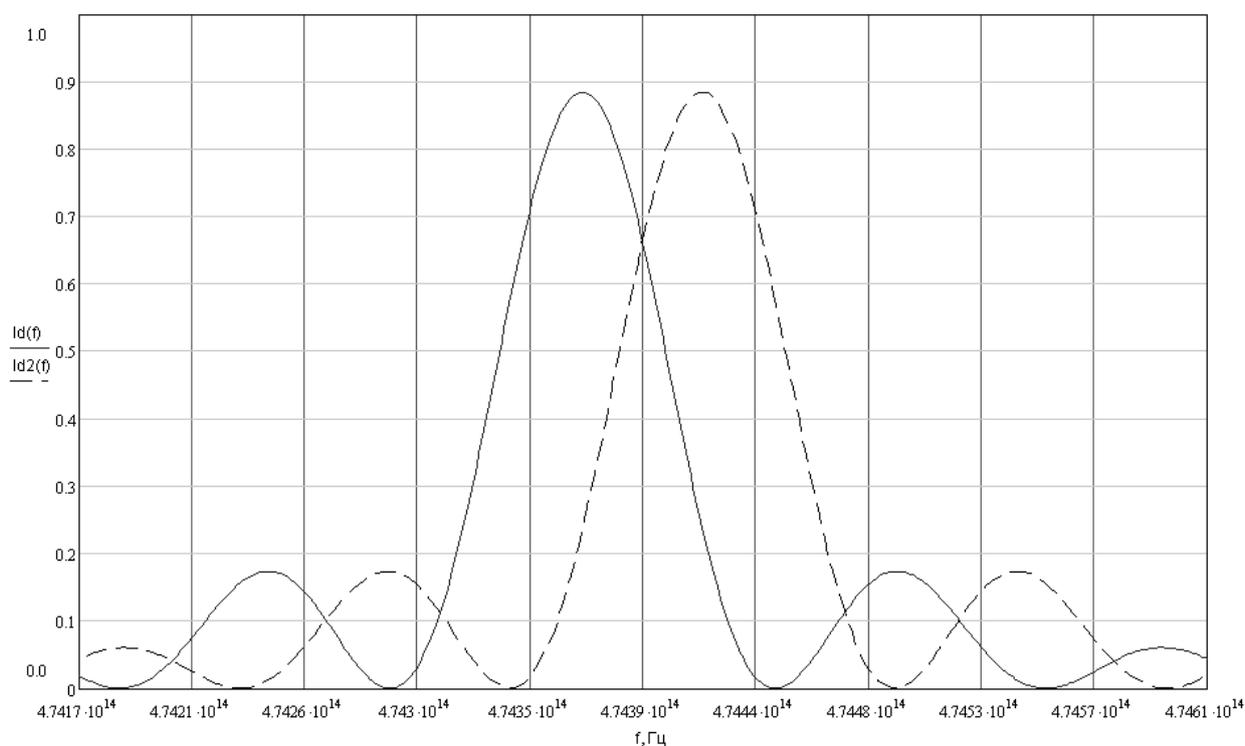


Рис. 3. Зависимость нормированной интенсивности дифрагированного света от частоты падающей световой волны для длины АО взаимодействия $L=37$ мм для геометрии дифракции, отвечающей случаю (а) и (б)

Необходимо отметить, что описание невзаимности может иметь два подхода. Один подход заключается в том, что невзаимность определяется как разница в оптимальных оптических частотах дифракции между ситуациями (а) и (б) (рис. 1) при фиксированной величине частоты ультразвука. С другой стороны, под невзаимностью понимается разница в величинах частот ультразвука при постоянстве частоты света. Именно этот вариант реализован в работе экспериментально на новом образце АО фильтра со следующими конструктивными особенностями (рис. 5). Ультразвук 7 вводится в АО среду 2 через скошенную торцевую грань кристалла, далее отражается от противоположной менее скошенной грани, после чего распространяется параллельно x -оси кристалла 8 . Именно на этом участке осуществляется коллинеарная анизотропная дифракция света, вводимого через одну или другую торцевые грани по пути $4-5-6$ либо в обратном порядке: $6-5-4$.

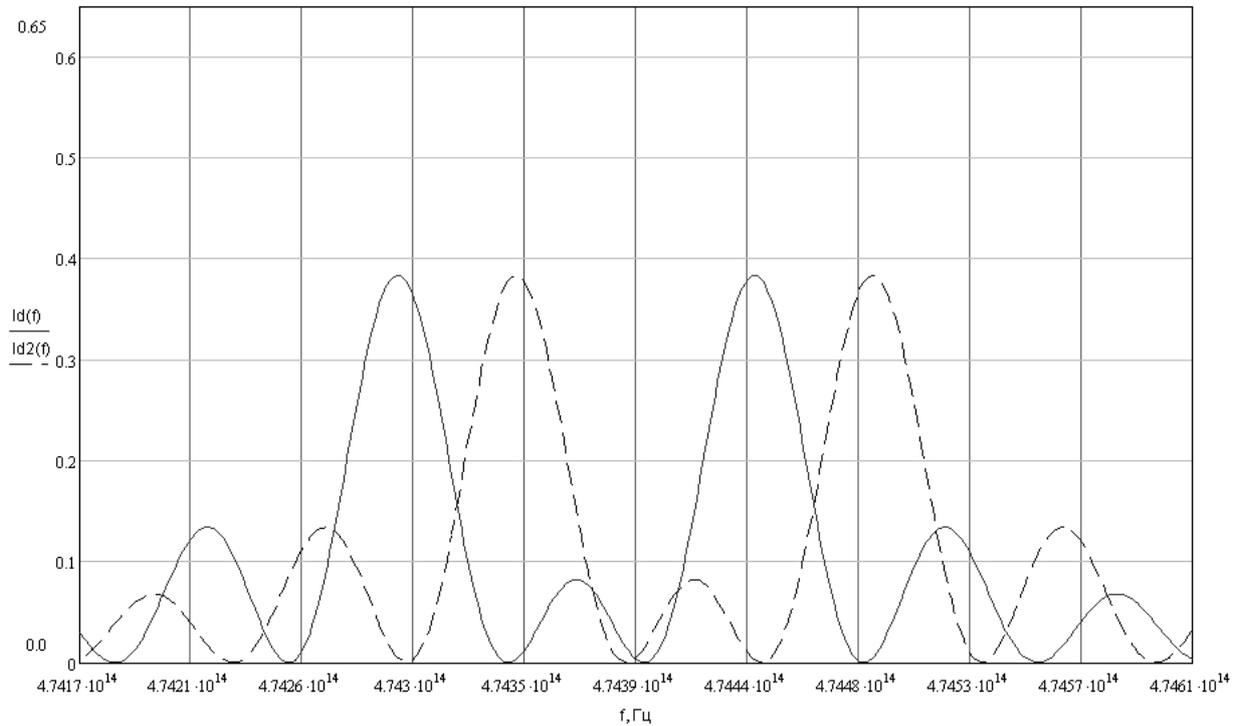


Рис. 4. Зависимость нормированной интенсивности дифрагированного света от частоты падающей световой волны для длины АО взаимодействия $L=55$ мм для геометрии дифракции, отвечающей случаю (а) и (б)

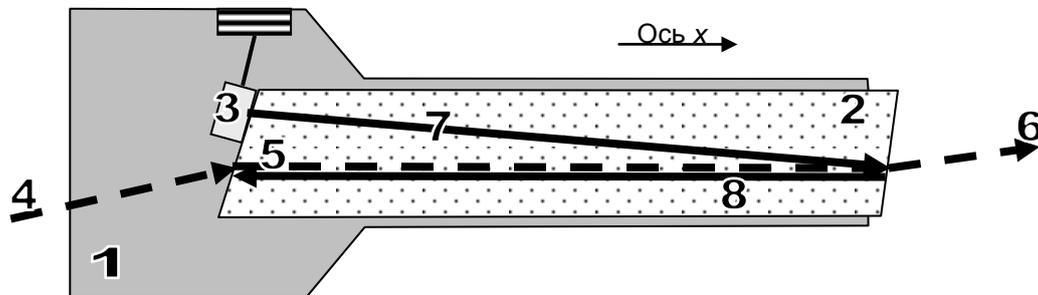


Рис. 5. Общая схема АОФ и геометрия АО взаимодействия:
 1 – корпус АОФ; 2 – кристалл ниобата лития; 3 – пьезопреобразователь;
 4 – волновой вектор падающего светового луча; 5 – волновой вектор световой волны, распространяющейся вдоль x -оси кристалла, в области дифракции; 6 – волновой вектор дифрагированной световой волны; 7 – лучевой вектор акустической волны, распространяющейся от пьезопреобразователя к правой торцевой грани кристалла; 8 – волновой вектор отражённой акустической волны от правой торцевой грани кристалла, распространяющейся противоположно x -оси кристалла.

Оптимальные частоты дифракции и величина невзаимности достаточно сильно зависят от нагрева кристалла, поэтому экспериментальное исследование характеристик дифракции необходимо производить для конкретного значения температуры АОФ. В таблице представлены экспериментальные значения величины невзаимности коллинеарной анизотропной дифракции света ($\lambda=632$ нм) на ультразвуковой волне вдоль x -оси ниобата лития как функции температуры.

Невзаимность АО дифракции как функция температуры кристалла

Невзаимность, кГц	Температура кристалла, °С
116,67	30
122,22	30,1
116,67	30,2
105,56	30,3
100,00	30,4
88,89	30,5
72,22	30,6
61,11	30,7
50,00	30,8
27,78	30,9
38,89	31
38,89	31,1
66,67	31,2
33,33	31,3

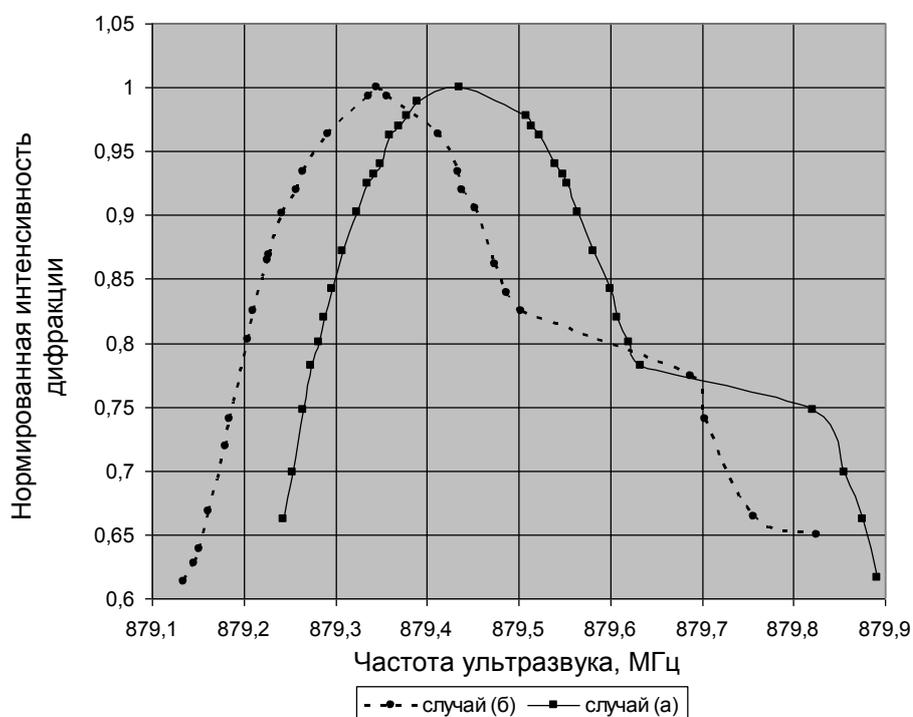


Рис. 6. Зависимость интенсивности дифрагированного света от частоты ультразвуковой волны

Среднее значение невзаимности в диапазоне температур 30÷31,3°С составило 74,2 кГц. Относительная погрешность по сравнению с теоретическим значением 87,357 кГц – 15,1%.

На рис. 6 изображена экспериментальная зависимость нормированной интенсивности дифрагированного света от частоты ультразвука для АО взаимодействия в случае (а) и (б) (рис. 1). По графику (рис. 6) величина невзаимности дифракции лежит в диапазоне 56÷128 кГц для диапазона акустических частот от 879,2 до 879,8 МГц. Невзаимность в среднем составляет величину 92 кГц. Относительная погрешность по сравнению с теоретическим значением 87,357 кГц – 5,3%. Погрешности измерений можно объяснить наличием паракси-

альной геометрии АО взаимодействия и изменением частот дифракции из-за температурных флуктуаций в кристалле.

В завершение можно отметить, что экспериментальные данные с точностью до приведённых погрешностей подтверждают существование невзаимных эффектов дифракции. Несмотря на малость величины невзаимности по сравнению с частотами дифракции, описанные эффекты принципиально свойственны процессу коллинеарного АО взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магдич Л.Н. Акустооптические устройства и их применение / Л.Н. Магдич, В.Я. Молчанов. М.: Сов. радио, 1978. 110 с.

2. Harris S.E. Electronically tunable acousto-optic filter / S.E. Harris, S.T. Nieh, D.K. Winslow // Appl. Phys. Lett. 1969. Vol. 15. № 10. P. 325-326.

Юлаев Александр Николаевич –

студент V курса кафедры «Радиофизика и нелинейная динамика»
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

Зюрюкин Юрий Анатольевич –

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика»
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 01.06.07, принята к опубликованию 03.07.07

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 537.534, 620. 179. 112 (075.8)

А.Н. Виноградов

РАЦИОНАЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОДШИПНИКОВ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Приведены исследования рационального формирования физико-механических свойств поверхностного слоя деталей подшипников качения и скольжения конструкторско-технологическими методами, с целью повышения их эксплуатационных характеристик.

A.N. Vinogradov

BEARINGS WORKING SURFACES PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES RATIONAL FORMATION BY DESIGN-TECHNOLOGICAL METHODS

This article focuses on studies of working surfaces physicomachanical properties rational formation of parts of bearings of rolling and sliding by design-technological methods, with the purpose of increase of their operational characteristics.

Проблема обеспечения надежности и долговечности машин, приборов, транспортных средств, автоматического оборудования и военной техники является одной из важнейших в современных условиях, без решения которой не могут быть достигнуты технический прогресс и экономическое процветание общества. Это не только экономия средств, дефицитных материалов, топлива и энергии, но и экологическая чистота, техническая безопасность и материальное благополучие общества, использующего разного рода технические средства. Развитие современной техники характеризуется повышенными требованиями к качеству и надежности машин, неразрывно связанному с их эксплуатационными характеристиками. Наша задача в таком случае состоит в том, чтобы выявить и обеспечить условия эксплуатации узлов и механизмов, при которых адаптация служебных свойств проявляется наиболее интенсивно, превратить процессы в них из разрушительных в созидательные.

Важная роль в решении такой задачи принадлежит технологии финишной обработки и продолжению созидательного процесса улучшения свойств поверхностного слоя в эксплуатации путем назначения для этого соответствующих материалов, способов смазки, режимов и условий эксплуатации. В настоящей работе исследуется возможность повышения устойчивости защитных вторичных структур с использованием для этого различных способов

управления устойчивостью фрикционных покрытий, в том числе путем выбора рациональных режимов финишной обработки на базе комплексного исследования физических процессов, оказывающих влияние на формирование свойств рабочих поверхностей, а также совершенствованием конструкции подшипников.

Основные положения теоретических и экспериментальных исследований легли в основу для разработки технологии финишной обработки шаров подшипников, обеспечивающей достижение эксплуатационных характеристик подшипников на уровне лучших мировых образцов, а также в основу конструкции безыносного подшипника скольжения для возвратно-вращательного движения, который может быть широко использован в транспортной и другой технике. В значительной степени надежность подшипников определяется качеством их рабочих поверхностей, свойства которых формируются при финишной обработке и определяют вид износа при эксплуатации. Уровни шумов и вибраций подшипников, хотя и являются внешними (качественными) признаками интенсивности разрушительных процессов и резонансных явлений, отражают также внутренние свойства конструкционных материалов, конструкций и технологий, определяющие надежность самих подшипников в процессе эксплуатации. Механическая обработка деталей подшипников сопровождается сложными физическими процессами, вызывающими пластические деформации, наклеп и нагрев поверхностного слоя. В результате получается поверхностный слой со своеобразными физико-механическими свойствами, которые являются следствием данного метода обработки и его режимов. Наиболее сложные процессы имеют место при изготовлении тел качения.

В результате исследования процесса финишной обработки шаров подшипников обнаружено, что их поверхностный слой (на этапе элеваторной доводки) представляет собой хрупкую, передеформированную псевдоструктуру, называемую в литературе [1, 2, 3] «белый слой». Эта псевдоструктура аморфизирована, плохо травится и иногда ее называют мартенситом вторичной закалки. Однако при исследовании обнаружено, что «белый слой» в процессе окончательной доводки шаров массивными чугунными дисками появляется на поверхности периодически (несколько раз в течение цикла доводки), что коррелируется с периодическим характером достижения требуемой точности шара [4, 5]. При более детальном исследовании образующейся псевдоструктуры нами была выдвинута концепция о трибологической природе этого явления, родственного химико-термической обработке – цементации в твердом карбюризаторе. При доводке шаров подшипников процесс протекает в присутствии мелкодисперсного графита, перемещающегося в результате диффузии углерода в основном из объема диска, где его запас практически неограничен, к активированным пластической деформацией поверхностям желобов дисков, и, в дальнейшем – также в активированную поверхность шара. Этот процесс был назван нами «трибоцементацией» [6]. На предварительных исследованиях процесса доводки шаров подшипников чугунными дисками, на основании косвенных данных, полученных в результате исследования микротвердости шлифов шаров и вихретокового сканирования их поверхности [7, 8], установлено изменение физико-механических свойств поверхностного слоя под воздействием трибоцементации, что получило подтверждение [9] при прямом исследовании методом вторичной ионно-ионной эмиссии (ВИИЭ) [10, 11]. Механизм износа доводочных дисков можно представить в виде избирательного термодиффузионного износа углерода, который под действием градиентов температуры и пластической деформации выдавливается на поверхность желобов, в результате чего повышается площадь диффузионного контакта и просадка дисков. Свободный графит виден на поверхности желобов невооруженным взглядом, рис. 1.

Так, у шаров, изготовленных по стандартной технологии, содержание карбида железа FeC в поверхностном слое шара на 18% больше, чем в его объеме, рис. 2. На рис. 3 представлены изображения сигналов вихретокового датчика, полученные при сканировании поверхности шаров, в различных стадиях окончательной доводки. Наличие темных и светлых пятен на изображении сигнала вихретокового датчика наглядно отражает периодическое возникно-

вление и исчезновение псевдоструктур с электромагнитными свойствами, отличными от исходного состояния подшипниковой стали.

В связи с периодическим характером явления передеформирования и охрупчивания поверхностного слоя шара в результате диффузии углерода из его приповерхностных слоев к поверхности и из чугунных доводочных дисков в поверхность шара, предложен способ доводки, исключая образование поверхностного дефектного слоя. В данном процессе углерод более активен, чем кислород, поэтому окислительные процессы подавлены.

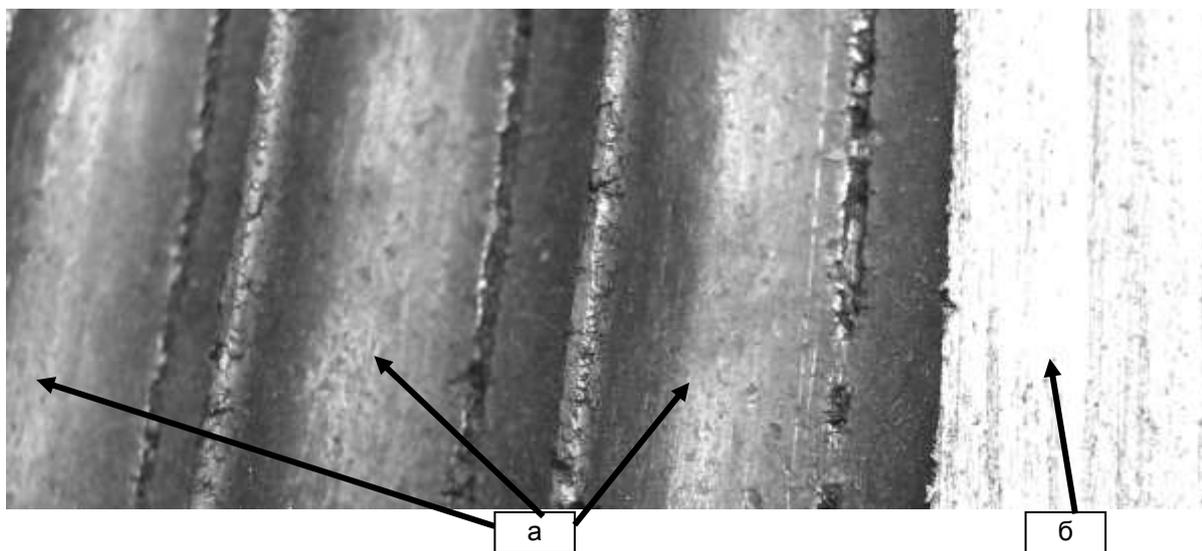


Рис. 1. Поверхности желобов доводочного диска, покрытые выделившимся графитом (а), и свежесрезанный металл (б)

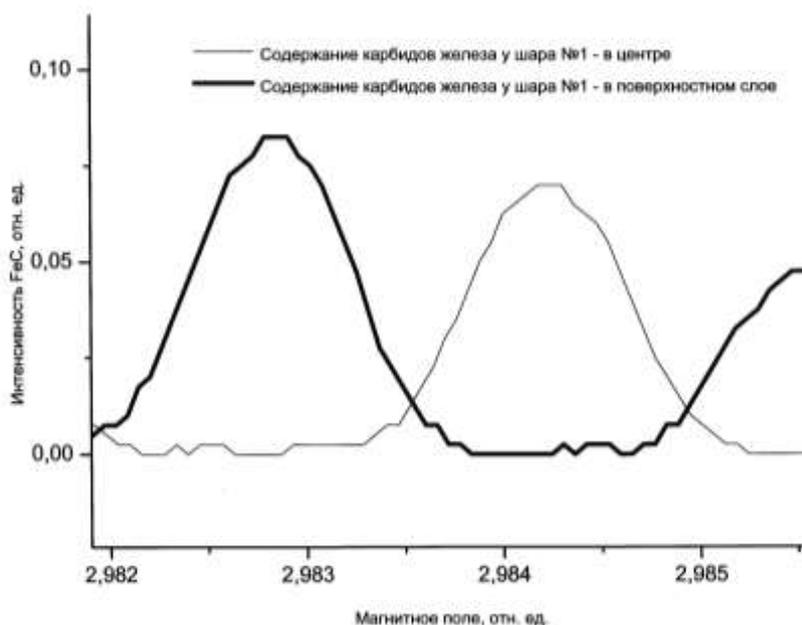


Рис. 2. Спектры содержания карбидов железа у шара, изготовленного по стандартной технологии

Сущность этого способа состоит в том, чтобы с помощью оперативного контроля процесса доводки выявить стадию (время окончания доводки), в которой заданная точность

сочетается с отсутствием дефектной структуры. На данный способ окончательной доводки получен патент №2242352 «Способ окончательной доводки шаров подшипников». Однако данный способ не позволяет избавиться от явления трибоцементации. Кардинальным решением является замена материала инструмента на мало содержащий или не содержащий в своем составе углерод. Такими материалами являются малоуглеродистая сталь 35 и алюминиевый сплав АЛ-2, из которых были изготовлены доводочные диски. Результаты вихретокового сканирования поверхностей шаров, изготовленных по трем технологическим процессам, представлены на рис. 4.

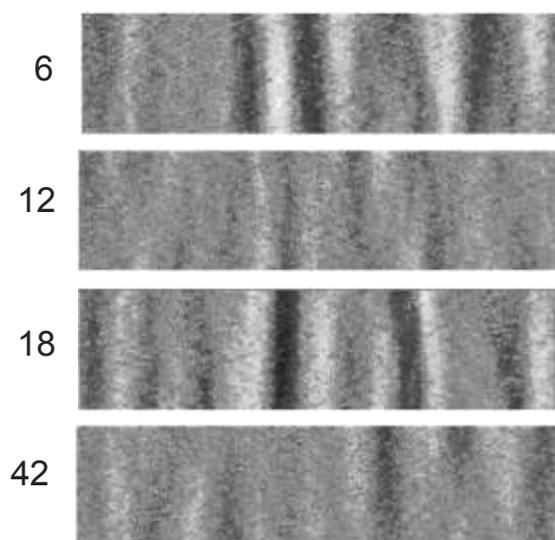


Рис. 3. Периодическое появление дефектной зоны в процессе окончательной доводки, наблюдаемое при сканировании поверхности шаров вихретоковым методом (через 6, 12, 18 и 42 часа)

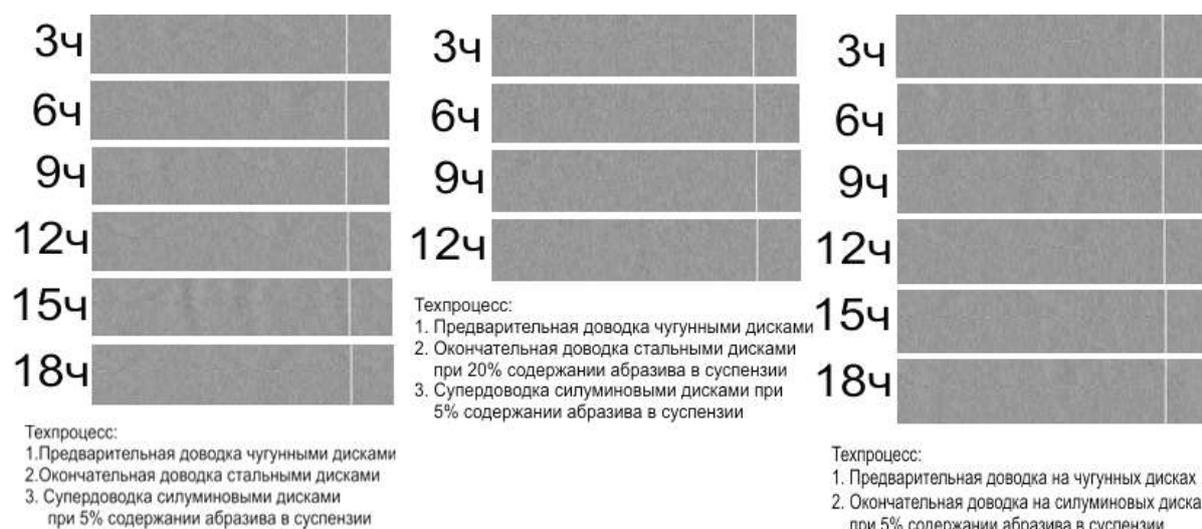


Рис. 4. Вихретоковое сканирование поверхностей шаров при различных технологических процессах и времени доводки

Содержание углерода в поверхностном слое шара, изготовленного по технологии СГТУ, не превышает его содержания в объеме шара, рис. 5.

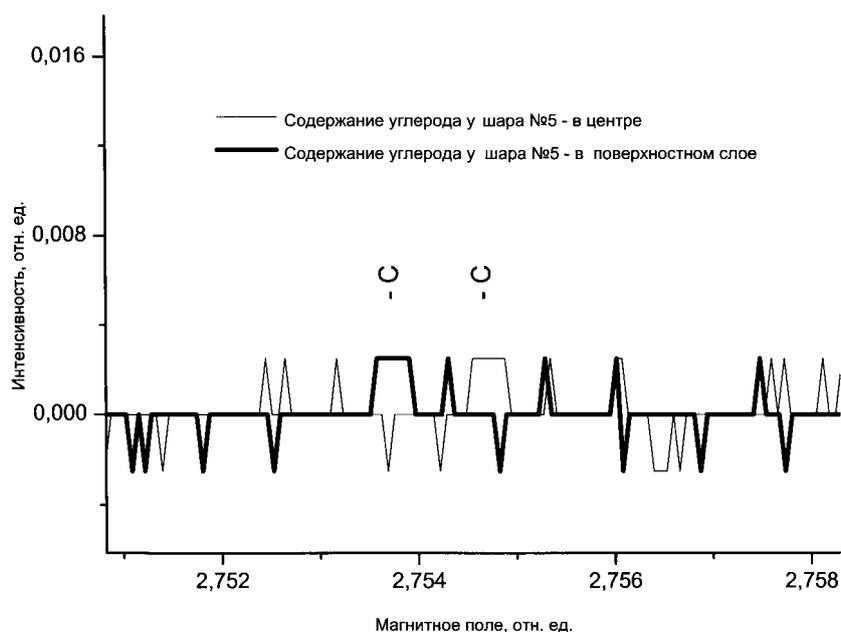


Рис. 5. Спектры содержания углерода у шара, изготовленного по технологии СГТУ

Природа явлений, происходящих на рабочих поверхностях подшипников, одинакова, как в подшипниках качения, так и в подшипниках скольжения. В процессе эксплуатации необходимо стремиться к обеспечению минимального изнашивания рабочих поверхностей, обусловленного заданными параметрами финишной обработки. Как при финишной обработке, так и в процессе эксплуатации очень важны созидательные процессы, обеспечиваемые современными технологиями еще на стадии изготовления деталей с продолжением их в процессе эксплуатации.

Анализ структуры энергетического баланса и большинство экспериментальных исследований указывают на преобладающую роль перехода механической энергии в пластическую деформацию и тепло, которые могут вызывать необратимые изменения физико-механических свойств поверхностного слоя, отражающихся впоследствии на эксплуатационных характеристиках готовых изделий.

При финишной обработке шаров ведущая роль принадлежит пластической деформации и термодиффузионным процессам, с той лишь разницей, что при шароодовке процессы в поверхностном слое шара играют вредную роль для дальнейшей эксплуатации подшипника. Зная механизм и закономерности процесса доводки, можно технологически управлять свойствами вторичных структур в поверхностном слое шаров. Кроме того, зная механизмы образования вторичных структур, можно использовать подобную технологию для полезной модификации поверхностных слоев деталей других типов.

Ведущая роль, для достижения эффекта безызносности у подшипников скольжения, также принадлежит пластической деформации и ограничению доступа окислителей к рабочим поверхностям узлов трения.

В традиционных подшипниках скольжения, работающих с зазором, эти условия не выполняются.

Нами предложена конструкция подшипника скольжения для возвратно-вращательного движения, в котором эти условия могут быть выполнены. С этой целью подшипник снабжен подвижным вкладышем в виде винтовой цилиндрической пружины (промежуточным элементом), который в колебательном режиме принудительно поворачивается только в одну сторону и таким образом достигаются равномерность износа и распределение смазки. Натяг пружины, необходимый для достижения микропластических деформаций, со-

здается ее поджатием. В колебательном режиме за счет закручивания или раскручивания пружинного вкладыша возникает упругое натяжение соответственно на внутренней или наружной поверхности, и он принудительно поворачивается в одном направлении (эффект храповика). Подавление окислительных процессов в предложенной конструкции легко достигается сальниковым уплотнением. Положительный эффект получается также за счет снижения адгезионной составляющей трения (трения покоя) и частичной реализации идей Н.Е. Жуковского «о движении без трения» (вращением промежуточной опоры) без использования для этого внешнего источника энергии. Основным отличием данного подшипника скольжения от традиционных подшипников является то, что на его рабочих поверхностях обеспечивается конструктивно натяг вместо зазора. Схватывания рабочих поверхностей не происходит за счет обеспечения микропластической деформации по вершинам микронеровностей. Подобный подшипник (рис. 6) может найти широкое применение взамен игольчатых подшипников карданного вала, сайлентблоков подвески, в шарнирах рулевого управления и других шарнирных узлах, работающих в возвратно-вращательном режиме.

Задача повышения эксплуатационных характеристик решается введением в подшипник упругого промежуточного элемента – подвижного вкладыша в виде винтовой цилиндрической пружины, регулированием усилия сжатия которого P_k на рабочих поверхностях создается уплотнение, необходимое для ограничения окислительных процессов и возникновения активации поверхности микропластической деформацией.

Стабилизация режима и равномерность износа достигаются тем, что при возвратно-вращательном движении вала или наружного кольца за счет закручивания или раскручивания при этом пружинного вкладыша возникает торможение соответственно на внутренней или наружной поверхностях, и пружинный вкладыш (благодаря возникающему при этом «эффекту храповика») принудительно поворачивается только в одном направлении, зависящем от направления навивки пружины.

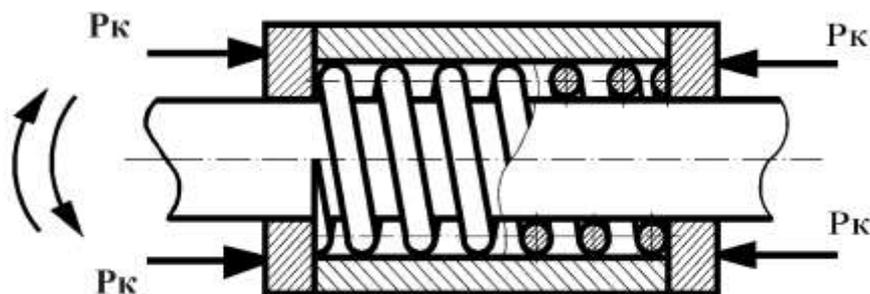


Рис. 6. Схема подшипника с подвижным пружинным вкладышем

Кроме того, постоянно в процессе работы меняется линия контакта на рабочих поверхностях и обеспечивается перемещение смазки за счет винтового вкладыша, что также ведет к снижению износа.

Для возбуждения и поддержания режима безыноса могут быть использованы (при выполнении отмеченных выше условий) различные методы, описанные в специальной литературе: введение в смазку металлоплакирующих присадок, специальная обработка методами ФАБО, применение материалов, содержащих металлоплакирующие компоненты и др.

Для подрегулировки уплотнения, например с целью компенсации износа при ремонте, между одной из опорных шайб и торцом пружинного вкладыша при необходимости могут быть установлены регулировочные шайбы.

Модернизированная пружинными вкладышами (вместо иголок) крестовина автомобилей ВАЗ 2101-2107, представленная на рис. 7, проходит испытания.



Рис. 7. Модернизированные крестовины автомобиля ВАЗ 2101-2107

На данную конструкцию подшипника получен патент № 2162552, кроме того, данная разработка награждена золотой медалью IV Московского международного салона инноваций и инвестиций, состоявшегося на ВВЦ 25-28 февраля 2004 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грозин Б.Д. Повышение эксплуатационной надежности деталей машин / Б.Д. Грозин. М.: Машгиз, 1960. 281 с.
2. Савицкий К.В. Деформация трением переохлажденного аустенита углеродистой стали / К.В. Савицкий, Ю.И. Коган // Трение и износ в машинах: сб. науч. статей. Вып. 15. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 69-74.
3. Старосельский А.В. Долговечность трущихся деталей машин / А.В. Старосельский, Д.Н. Гаркунов. М.: Машиностроение, 1967. 395 с.
4. Виноградов А.Н. Влияние финишной обработки на эксплуатационные характеристики подшипников / А.Н. Виноградов, В.Г. Куранов // Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин: сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию Самар. гос. техн. ун-та: в 2 т. М.: Машиностроение, 2003. Т. 1. С. 147-152.
5. Куранов В.Г. Об идентификации структурных изменений при доводке шаров подшипников методом вихретокового сканирования / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.В. Бузов // Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин: сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию Самар. гос. техн. ун-та: в 2 т. М.: Машиностроение, 2003. Т. 1. С. 352-355.
6. Куранов В.Г. Трибологические эффекты и отказы / В.Г. Куранов // Трение и смазка в машинах и механизмах: приложение к журналу «Сборка в машиностроении, приборостроении». М.: Машиностроение, 2005. № 1 (7). С. 19-23.
7. Автоматизированная вихретоковая дефектоскопия деталей подшипников / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.М. Чистяков // СТИН. 2002. № 4. С. 17-19.
8. Автоматизированная система вихретокового контроля деталей подшипников / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, С.И. Зайцев, С.А. Игнатъев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2005. № 2 (7). С. 45-51.

9. Куранов В.Г. Исследование явления трибоцементации шаров подшипников методом вторичной ионно-ионной эмиссии / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.Г. Жуков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 1 (23). Вып. 3. С. 33-41.

10. Черепин В.Т. Вторичная ионно-ионная эмиссия металлов и сплавов / В.Т. Черепин, М.А. Васильев. Киев: Наукова думка, 1975. 237 с.

11. Автоматизация анализа состава вещества / В.Т. Черепин, Ю.С. Алпатьев, М.А. Васильев, Ю.Н. Иващенко. Киев: Техніка, 1971. 258 с.

Виноградов Александр Николаевич –

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

Статья поступила в редакцию 16.04.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 621.86.001

Б.М. Изнаиров

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ПАРАМЕТРЫ СОБРАННЫХ
ИЗ НИХ МНОГОЗВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Приведен вероятностный анализ распределения случайной величины размера, координирующего расположение рабочих элементов деталей обобщенного многозвенного механизма.

B.M. Iznairov

**STOCHASTIC ANALYSIS OF PARTS PRODUCTION TECHNOLOGICAL
FAULTS INFLUENCE ON PARAMETERS OF ASSEMBLED OUT
OF THEM MULTIJOINT MECHANISMS**

The article describes the stochastic analysis of the random quantity distribution of the size that coordinates the location of working elements of the details of generalized a multijoint mechanism.

В технике используется большое разнообразие многозвенных узлов, в том числе: винтовые передачи скольжения и винтовые передачи качения; двухрядные, трехрядные, сдвоенные подшипники качения; дуплексы, триплексы; шлицевые соединения; зубчатые передачи и т.д., поэтому желательно задачу исследования особенностей технологического обеспечения высоких эксплуатационных свойств этих изделий решить в наиболее общем виде. Поэтому в качестве объекта исследований примем абстрактный объект, обладающий всеми признаками вышеперечисленных многозвенных узлов.

Пусть сборке подвергается некий механизм, включающий «К» деталей, предназначенных для передачи рабочих сил и моментов (рис. 1).

К этим элементам относятся деталь 1 и деталь 2. Деталь 1 содержит множество подобных рабочих элементов определенной формы и размеров. Деталь 2 также содержит множество рабочих элементов.

Каждая из изображенных на рис. 1 деталей в процессе изготовления приобрела погрешности формы и размеров контактирующих поверхностей. Например, деталь 1 имеет погрешность формы профилей в виде дуги окружности в продольном r_2 и поперечном сечениях r_e рабочих элементов и погрешность шага Δs_1 их расположения. Подобные погрешности имеет и деталь 2. Все погрешности носят как систематический, так и случайный характер и укладываются в некоторую величину соответствующего допуска.

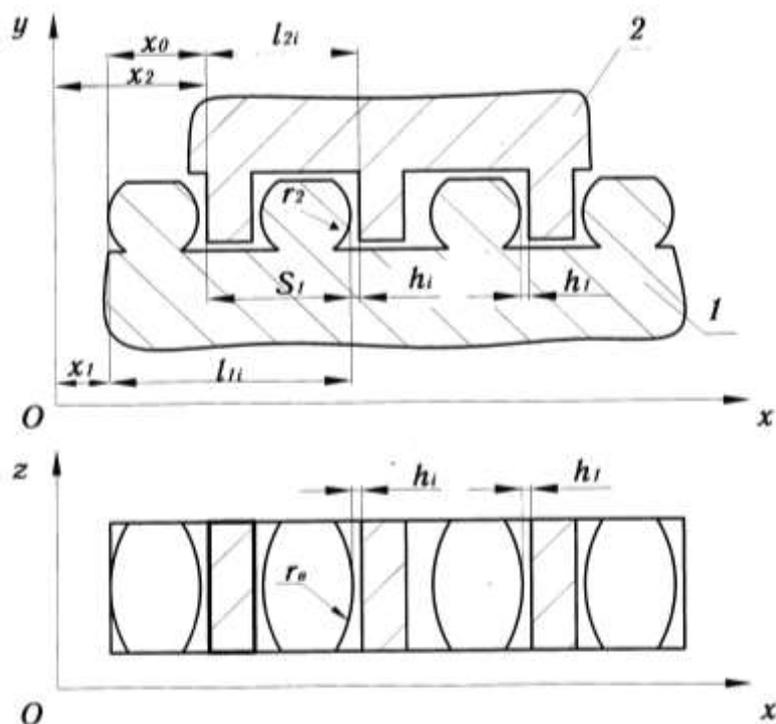


Рис. 1. Схема взаимодействия деталей многозвенного механизма

Соответствующие рабочие элементы деталей, расположенные друг напротив друга и имеющие возможность вступать в контакт с созданием обособленного силового замыкания, будем называть звеном. Обозначим общее число таких звеньев через k . Если элементы механизма собраны без предварительного натяга, между их рабочими поверхностями образуются зазоры, имеющие, вследствие погрешностей изготовления, различную величину в различных звеньях. Если к рабочему органу этого механизма приложить элементарную внешнюю силу (рис. 2), то в одном из звеньев рабочих элементов возникает, в общем случае, точечный контакт.

В общем случае на детали 1 и 2 действуют внешние осевая P , нормальная N нагрузки и момент M , под действием которых в контакт вступают дополнительные звенья механизма (рис. 3).

Под действием этих внешних нагрузок детали смещаются друг относительно друг до касания рабочих элементов. Из-за погрешностей изготовления вначале в контакт вступают только элементы одного из звеньев. Так как внешняя нагрузка уравнивается силой взаимодействия рабочих элементов деталей, то под действием этих нагрузок контактирующие поверхности рабочих элементов звена упруго деформируются.

Упругая деформация контактирующих поверхностей частично компенсирует погрешности изготовления деталей. Поэтому с увеличением внешней нагрузки в контакт могут

вступать и другие рабочие элементы деталей. В таком случае внешняя нагрузка уравновешивается упругим взаимодействием всех вступивших в контакт рабочих элементов. Однако степень этого взаимодействия различна и зависит от их взаимного расположения и порядкового номера вступившего в контакт звена.

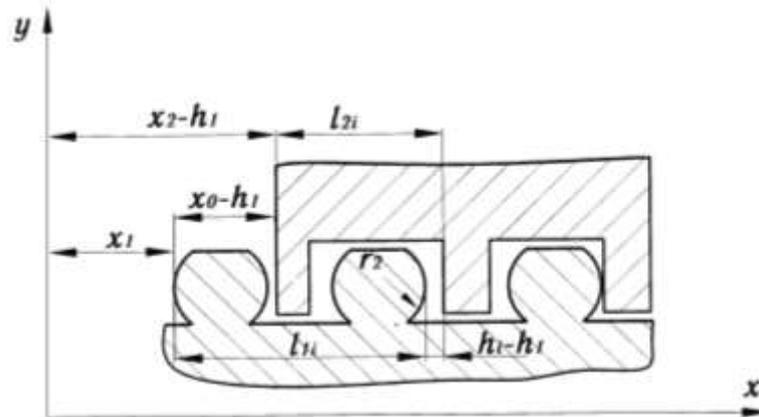


Рис. 2. Первичный контакт в многозвенном механизме

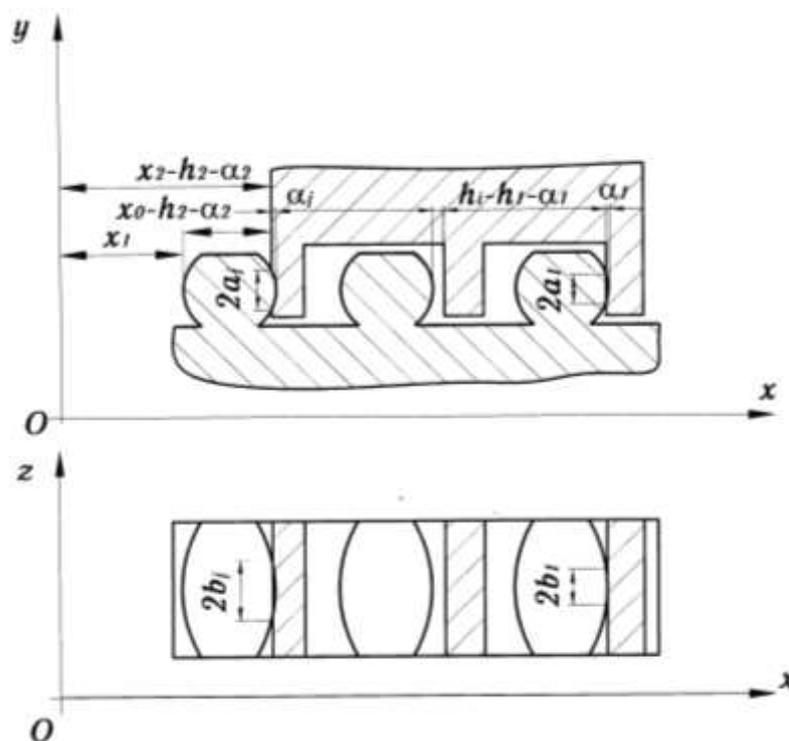


Рис. 3. Контакт в двух звеньях многозвенного механизма

Так как рабочие поверхности механизма имеют не только систематические, но и случайные погрешности, то соответствующие группы рабочих элементов деталей вступают под действием внешней нагрузки в контакт в последовательности, не соответствующей их порядковому номеру расположения на деталях. В дальнейшем под номером звена, в котором соответствующие элементы деталей вступили в контакт, будем понимать порядковый номер их вступления в контакт относительно первого вступившего в контакт звена (последовательность вступления в контакт).

Кроме того, в основу дальнейших исследований положим следующие допущения:

1. Число рабочих элементов деталей многозвенного соединения может быть не равным между собой. Например, деталь 1 может иметь множество таких элементов, а деталь 2 – ограниченное их число (два, три и т.д.). В этом случае число групп k равно наименьшему числу рабочих элементов из этих деталей.

2. Деталь с меньшим числом элементов может занимать либо фиксированное заданное, либо произвольное равновероятное положение относительно детали с большим числом элементов.

3. Шаг рабочих элементов деталей может иметь как случайные, так и систематические погрешности.

4. Начальный контакт рабочих элементов деталей в каждой группе является точечным. Рабочие поверхности некоторых конструкций роликовых подшипников, винтовых передач скольжения, шлицевых соединений выполняются с прямолинейным профилем. Но известно, что работоспособность таких соединений очень низка, так как из-за взаимного перекоса деталей и неточностей изготовления между рабочими поверхностями деталей возникает кромочный контакт, приводящий к резкому повышению контактных напряжений и снижению работоспособности. Для таких неответственных сопряжений не требуются точные методы прогнозирования работоспособности.

5. Контакт рабочих поверхностей деталей, возникающий под действием внешней нагрузки, является упругим и рассчитывается с использованием основных закономерностей теории упругости. Площадка контакта имеет форму эллипса, ее размеры зависят от внешней нагрузки, упругих свойств материалов деталей и формы их поверхностей.

Изгиб витков и другие виды объемной деформации в данном случае интереса не представляют.

Шероховатость поверхностей контактирующих деталей настолько мала, что можно пренебречь ее влиянием на параметры упругого контакта поверхностей. Обычно шероховатость рабочих поверхностей многозвенных соединений обеспечивается не хуже $R_a=0,32$ мкм. При такой шероховатости отношение фактической площадки контакта к площади описанного эллипса находится в пределах 0,90-0,95 и не оказывает существенного влияния на форму пятна контакта, контактные напряжения и связанную с этим работоспособность соединений.

На рис. 4 изображен профиль детали 1. Он имеет рабочие элементы 1, у которых поверхности 2 являются рабочими, а остальные поверхности – несопряженные.

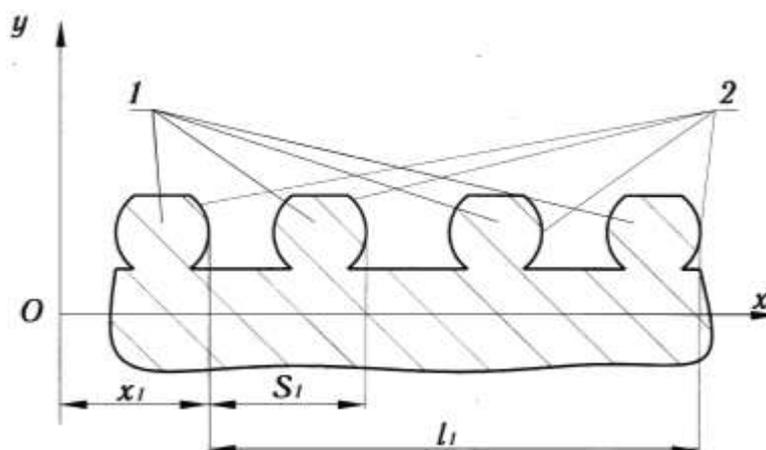


Рис. 4. Профиль детали 1

Построим декартову систему координат. Расположим ось Ox по направлению расположения рабочих элементов, а ось Oy – в перпендикулярном направлении в плоскости чертежа.

Допустим, что профили рабочих поверхностей этих элементов в заданной декартовой системе координат описываются уравнениями:

$$\varphi_1(x_1, y_1), \varphi_2(x_2, y_2), \dots, \varphi_i(x_i, y_i), \dots, \varphi_k = (x_k, y_k). \quad (1)$$

Всего деталь 1 имеет k_1 рабочих элементов. Расстояние от оси OY до первого рабочего элемента равно x_1 . Шаг расположения рабочих элементов равен S_1 .

На рис. 5 изображена деталь 2. Она имеет k_2 рабочих элементов, форма профиля рабочих поверхностей которых описывается функциями, аналогичными (1). Ось OX проведена в направлении расположения рабочих элементов, ось OY – в перпендикулярном ей направлении. Расстояние от первого рабочего элемента до оси OY равно x_2 , шаг расположения элементов равен S_2 .

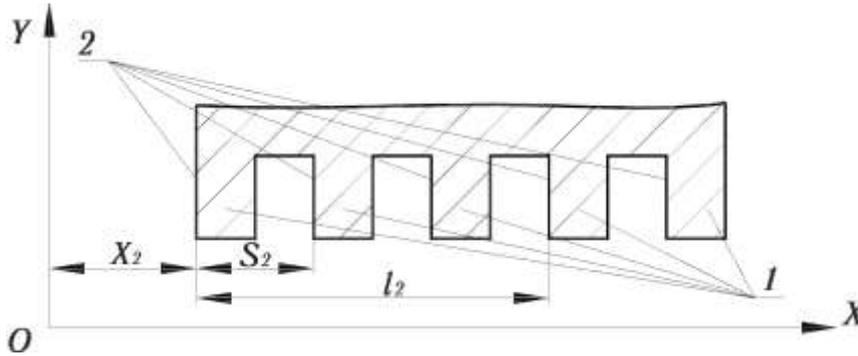


Рис. 5. Профиль детали 2

Рассмотрим произвольный λ -й элемент первой детали. Расстояние рабочей поверхности λ -го элемента детали 1 от ее первого рабочего элемента равно следующей алгебраической сумме:

$$l_1 = (\lambda - 1)S_1 + \xi_{1\lambda} + \xi_1, \quad (2)$$

где λ – порядковый номер рассматриваемой группы элементов, начиная от первого элемента первой детали; S_1 – величина шага первого рабочего элемента первой детали; $\xi_{1\lambda}$ – систематическая погрешность шага расположения элементов первой детали; ξ_1 – случайная составляющая погрешности шага первой детали.

Величина λ может с равной вероятностью принимать любое целое значение в пределах $0 \leq \lambda \leq k_2$. Следовательно, величина l_1 может также иметь произвольное значение.

Подобной же зависимостью определим расстояние рабочей поверхности i -го элемента от первого рабочего элемента второй детали:

$$l_2 = (i - 1)S_2 + \xi_i + \xi_2, \quad (3)$$

где S_2 , ξ_i и ξ_2 – соответственно шаг второго рабочего элемента, систематическая и случайная погрешности шага второй детали.

Величины ξ_1 и ξ_2 являются случайными. Величины ξ_i и S для каждой из конкретных деталей являются постоянными. На рис. 6 приведен пример одной из реализаций l_{1C} . По оси абсцисс показан порядковый номер рабочих элементов C , начиная от первого, по оси ординат – расстояние от C -го рабочего элемента до первого.

Из рис. 6 наглядно видно, что случайная погрешность шага ξ_1 образует поле рассеивания ω_{ξ_1} . Значение абсциссы центра рассеивания случайных погрешностей λ -го рабочего элемента является алгебраической суммой значений шага первого рабочего элемента и накопленной систематической погрешности. Случайное значение величины l_1 является разностью значений координат центра рассеивания случайных погрешностей ξ_1 и случайного значения этой погрешности, соответствующей i -му витку.

измерительного устройства, если позиционирование осуществляется с помощью такового; от точности прибора активного контроля, если позиционирование осуществляется с помощью прибора активного контроля, и т.д.

Систематические погрешности вызываются рядом других причин. Обычно такими причинами являются: износ режущего инструмента и температурные деформации технологической системы, деформация деталей под действием внутренних напряжений. Величина ζ_i зависит от порядкового номера рабочего элемента детали. Т.е. она либо равномерно возрастает, либо равномерно убывает, и может быть описана в общем случае выражением вида:

$$\zeta_{1\lambda} = 0,5(\lambda - 1)(\lambda - 2)e_1, \quad (4)$$

где e_1 – приращение значения шага рабочих элементов деталей.

Величина e_1 имеет знак «плюс» или «минус» в зависимости от того, возрастает значение $\zeta_{1\lambda}$ с увеличением номера рабочего элемента λ или уменьшается.

Величины мгновенных случайных погрешностей зависят от множества случайных факторов: колебания величины твердости заготовок, колебания значения припуска на механическую обработку, вибраций технологической системы и др.

Из приведенных примеров видно, что все эти погрешности, как правило, возникают независимо друг от друга. Следовательно, случайные величины S , e и ξ , составляющие случайные функции (2) или (3), тоже являются независимыми случайными величинами.

Подставим в выражения (2) и (3) равенство (4). Получим:

$$\ell = 0,5\lambda^2 e + \lambda(S - 1,5e) - (S - e) + \xi. \quad (5)$$

Известно, что рассеивание случайных значений размеров однотипных элементов деталей подчиняется нормальному закону распределения. Полагая, что мгновенные значения погрешностей шага рассеяны симметрично относительно мгновенного значения математического ожидания, найдем, что плотность вероятностей случайных значений погрешности шага детали 1 описывается выражением:

$$f(\xi_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\xi_1}}} \exp\left[-\frac{\xi_1^2}{2\sigma_{\xi_1}^2}\right], \quad (6)$$

где σ_{ξ_1} – среднее квадратическое отклонение случайных значений погрешностей шага детали 1.

Обозначим в выражении (5):

$$\zeta = 0,5\lambda^2 e + \lambda(S - 1,5e) - (S - e). \quad (7)$$

Найдем распределение случайной величины ζ для какой-то произвольной детали. Для каждой конкретной детали величины S и e являются постоянными, а величина λ – случайная, так как она совместно с другими размерами детали определяет случайный размер ℓ .

Так как мы рассматриваем расстояние ℓ от первого рабочего элемента любого другого рабочего элемента с порядковым номером λ , то случайная величина λ распределена равномерно в пределах от 1 до k , где k – общее число рабочих элементов детали. Плотность вероятностей величины k равна:

$$f(k) = \frac{1}{k-1}, \quad \text{при } 1 \leq \lambda \leq k. \quad (8)$$

При всех других значениях λ значение плотности вероятностей $f(k)$ равно нулю.

Величина ζ является случайной функцией от λ (7). Причем это дифференцируемая, монотонная на всем участке возможных значений аргумента λ функция. Поэтому плотность вероятностей случайной величины ζ найдем из выражения:

$$f(\zeta) = f_\lambda[\psi(\zeta)]|\psi'(\zeta)|, \quad (9)$$

где $\psi(\zeta)$ – функция, обратная по отношению к функции (7).

Из выражения (7):

$$\psi(\zeta) = \frac{-(S - 1,5e) + \sqrt{(S - 1,5e)^2 + 2e(S - e + \zeta)}}{e^2}. \quad (10)$$

Перед знаком корня в правой части равенства (10) стоит знак «плюс», так как величина $\psi(\zeta)$ всегда положительна.

Тогда

$$|\psi'(\zeta)| = \frac{1}{\sqrt{2e\zeta + (S - 0,5e)^2}}. \quad (11)$$

Подставляя выражения (8), (10) и (11) в равенство (9) и учитывая, что случайная величина ζ является дискретной, найдем:

$$f(\zeta) = \sum_1^{\theta} \frac{1}{(k-1)\sqrt{2e\zeta + (S - 0,5e)^2}}, \quad (12)$$

где θ – число значений обратной функции (10) при фиксированном значении ζ .

В равенстве (12)

$$\begin{aligned} \zeta_{\min} &= 0; \\ \zeta_{\max} &= (k-1)S + 0,5(k-1)(k-2)e. \end{aligned} \quad (13)$$

Из равенства (10) следует, что функция $\psi(\zeta)$ имеет только одно значение, поэтому $\theta=1$, а

$$f(\zeta) = \frac{1}{(k-1)\sqrt{2e\zeta + (S - 0,5e)^2}}. \quad (14)$$

Математическое ожидание и дисперсию случайной величины ζ найдем из выражений:

$$\zeta_0 = \int_{\zeta_{\min}}^{\zeta_{\max}} \zeta f(\zeta) d\zeta; \quad (15)$$

$$\sigma_{\zeta}^2 = \int_{\zeta_{\min}}^{\zeta_{\max}} \zeta^2 f(\zeta) d\zeta - \zeta_0^2. \quad (16)$$

Раскрывая в выражении (15) значение $f(\zeta)$ (14) и учитывая дискретность случайной величины ζ , с использованием равенства (7) после преобразования получим:

$$\zeta_0 = \frac{1}{(k-1)} \sum_1^b \frac{(\lambda-1)S + 0,5(\lambda-1)(\lambda-2)e}{S - 1,5e + \lambda e}, \quad (17)$$

где значение λ определяется из равенства (10) с округлением ее до целого числа:

$$\lambda = \frac{-(S - 1,5e) + \sqrt{(S - 1,5e)^2 + 2e(S - e + \ell - \xi)}}{e}.$$

Подобно (17) преобразуем равенство (16):

$$\sigma_{\zeta}^2 = \frac{1}{(k-1)} \sum_1^k \frac{[(\lambda-1)S + 0,5(\lambda-1)(\lambda-2)e]^2}{S - 1,5e + \lambda e} - \zeta_0^2. \quad (18)$$

Случайная величина ℓ (2) является суммой двух случайных величин: ζ (7) и ξ , распределенных по закону (14) и нормальному закону (6). Плотность вероятностей распределения суммы независимых случайных величин находится по формуле:

$$f(\ell) = \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} f(\xi) f_{\zeta}(\ell - \xi) d\xi, \quad (19)$$

где $f_{\zeta}(\ell - \xi)$ – плотность вероятностей распределения величины ζ (14) при подстановке в нее значения $\zeta = (\ell - \xi)$. Тогда

$$f(\ell) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\xi}(k-1)} \times \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \frac{1}{\sqrt{2e(\ell - \xi) + (S - 0,5e)^2}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_{\xi}^2}\right) d\xi. \quad (20)$$

Обозначим

$$\frac{\xi}{\sigma_{\xi}} = t, \text{ откуда } \xi = \sigma_{\xi}t, \text{ а } d\xi = \sigma_{\xi}dt.$$

С учетом этого обозначения выражение (20) примет вид:

$$f(\ell) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(k-1)} \times \int_{\xi_{\min}/\sigma_{\xi}}^{\xi_{\max}/\sigma_{\xi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \frac{dt}{\sqrt{2e(\ell - \sigma_{\xi}t) + (S - 0,5e)^2}}. \quad (21)$$

Таким образом, мы получили функцию распределения обобщенного параметра многозвенного механизма в виде случайной величины расстояния между его рабочими элементами. Это позволяет определить основные характеристики распределения и исследовать в дальнейшем вероятностные параметры сопряжения деталей в собранном механизме.

Изнаиров Борис Михайлович –

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

Статья поступила в редакцию 21.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 621.436-2:620.17

С.П. Косырев, Е.А. Горшков

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Отражены результаты влияния режимов дифференцированного гидродробеструйного упрочнения на начальные остаточные напряжения в поверхностном слое детали. Исследования, проведенные на ОАО «Волжский дизель им. Маминых» на примере шатуна транспортного дизеля, определяют основные возможности и закономерности поверхностного пластического деформирования.

S.P. Kosyrev, E.A. Gorshkov

TRANSPORT DIESEL ENGINES HEAVILY STRESSED DETAILS SUPERFICIAL PLASTIC DEFORMATIONS FEATURES

The present article researches the influences of modes of differentiated GDY on initial residual pressure in a part's blanket. The researches are done in

JSC Volga Diesel Engine on an example of a transport diesel engine connecting rod. The studies define the basic possibilities and laws of superficial plastic deformation.

Сейчас в машиностроении получают развитие перспективные малоотходные технологии поверхностного пластического деформирования (ППД) путем дифференцированного гидродробеструйного упрочнения [1] и ультразвуковой обработки [2]. В условиях знакопеременного динамического нагружения высоконагруженных деталей транспортных дизелей поверхностный слой подвергается интенсивному физико-химическому влиянию: тепловому, механическому, магнитоэлектрическому, химическому и т.д. В этих условиях разрушения деталей, например, усталостные трещины, фреттинг-коррозии, как правило, начинаются с поверхности, в связи с чем к поверхностному слою предъявляются более высокие требования, чем к основному металлу детали [3].

Обработка высоконагруженных деталей ППД сопровождается сложными фазовыми и структурными превращениями. Например, после равномерной дробеударной обработки шатуна из-за влияния масштабного и конструктивного факторов, а также технологической наследственности в пределах объема детали формируется неоднородное исходное состояние металла, которое в сочетании с неравномерностью распределения рабочих знакопеременных циклических напряжений приводит к потере равнопрочности различных участков конструкции. При этом сначала образуется мозаичная структура путем дробления зерен металла на блоки. Из-за развития сдвиговых процессов по плоскостям скольжения создаются мелкие зерна, а кристаллы вытягиваются в направлении деформирования с формированием волокнистой структуры, обладающей анизотропными свойствами. Основная причина упрочнения высоконагруженных деталей дизелей при ППД – лавинообразное развитие дислокаций, которые скапливаются вблизи линий сдвигов, искажают кристаллическую решетку и создают неоднородные объемные изменения (деформации металла по сечению детали) с образованием остаточных напряжений. Тепловые факторы, например неравномерный нагрев детали, сопровождаются термопластическими деформациями с образованием остаточных напряжений растяжения после остывания детали. Процесс же интенсивного охлаждения поверхностного слоя последней создает остаточные напряжения сжатия.

Из отечественной и зарубежной литературы известно, что теоретически напряженное состояние поверхностного слоя детали после упрочнения различными методами ППД и механической обработки является объемным. Однако начальные остаточные напряжения и пластические деформации распространяются в поверхностном слое толщиной в десятые доли миллиметра, что позволяет трактовать напряженное состояние как плоское.

Использованием современных малоотходных технологических методов ППД удается формировать состояние поверхностного слоя детали, требуемое условиями эксплуатации, управлять его структурой, микрогеометрией, уровнем начальных остаточных напряжений, залечивать усталостные трещины, обеспечивая поверхностное упрочнение. Результаты исследований, проведенные на ЗАО «Волжский дизель им. Маминых», показывают, например, следующие особенности влияния ППД и режимов гидродробеупрочнения на начальные остаточные напряжения в поверхностном слое детали. Для всех вариантов упрочнения шариками диаметрами 1,6, 2 и 3 мм в поверхностном слое детали формируются начальные остаточные напряжения. С увеличением диаметра шариков с 1,6 до 3 мм снижается удельная энергия удара, что снижает начальные остаточные напряжения с 600 до 350 МПа и увеличивает глубину их проникновения. Уменьшение же диаметра шариков увеличивает максимальные значения начальных остаточных напряжений сжатия и снижает глубину их залегания в упрочненном слое. Таким образом, для увеличения глубины упрочненного слоя с сжимающими остаточными напряжениями необходимо увеличивать диаметр шариков, а для увеличения уровня начальных остаточных напряжений целесообразно его уменьшать.

Полученные данные дают основание утверждать, что глубина проникновения начальных остаточных напряжений определяется энергетическими возможностями установки ГДЭУ-5, ее производительностью и кинетикой удара шариков.

При ППД детали гидродробеструйным упрочнением вторым после диаметра шариков по значимости фактором, определяющим скорость полета шариков и влияющим на начальные остаточные напряжения, является давление жидкости. Увеличение давления жидкости в ГДЭУ-5 с 0,4 до 0,6 МПа способствует увеличению скорости деформации и скорости полета шариков с одновременным возрастанием энергии удара, глубины и степени наклепа с последующей их стабилизацией. Дальнейший рост давления жидкости, как показали исследования, может привести к снижению начальных остаточных напряжений с последующим перемещением подслоного максимума вглубь образца.

Время, необходимое для упрочнения образца, определяется экспериментально по прогибу пластин. В исследуемых пределах с увеличением времени упрочнения с 1 до 8 минут характер эпюры начальных остаточных напряжений изменяется незначительно - от монотонного роста до медленного снижения. С повышением времени обработки увеличивается эпюра начальных остаточных напряжений за счет роста последних и глубины их залегания. С течением времени интенсивность роста прогиба снижается, величина его стабилизируется. Это указывает на то, что степень, глубина наклепа, достигнув определенного уровня, определяется физико-механическими свойствами материала детали и режимами ППД. Дальнейшее упрочнение приводит к перенаклепу, который является недопустимым, так как снижает эксплуатационные свойства детали.

Результаты исследования начальных остаточных напряжений, полученные на ЗАО «Волжский дизель им. Маминых», показывают, что кинетическая энергия удара и интенсивность деформации поверхностного слоя детали во времени непосредственно определяют максимальные значения и глубину проникновения начальных остаточных напряжений сжатия.

Проведенные исследования определяют основные возможности ППД и те изменения, которые происходят в поверхностных слоях и при обработке образцов из заданного материала детали, заданной геометрии и шероховатости поверхности от предшествующей обработки.

Изложенные закономерности ППД высоконагруженных деталей транспортных дизелей позволяют получить следующие результаты на ЗАО «Волжский дизель им. Маминых»:

- повысить коэффициент использования металла до $K_{им} = (0,8-0,9)$;
- снизить в 3,5-4 раза неравномерность распределения результирующих напряжений по поверхностям деталей;
- снизить энергозатраты в 2 раза на изготовление высоконагруженных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косырев С.П. Безотходные технологические методы повышения работоспособности элементов КШМ высокофорсированных дизелей / С.П. Косырев. Балаково: Вирма, 1997. 48 с.
2. Патент России № 2133282. Способы стабилизации остаточных напряжений в поверхностном слое детали / В.Г. Кочерэженко, Б.Н. Степанов, С.П. Косырев, В.В. Петухов, Д.В. Аникин.
3. Косырев С.П. Остаточные напряжения – резерв прочности нагруженных деталей высокофорсированных дизелей / С.П. Косырев, Л.А. Сорокина, Р.М. Рафиков // Современные технологии в машиностроении – 2003: сб. статей VI Всерос. науч.-практ. конф. Пенза: Приволж. Дом знаний, 2003. С. 306-308.

Косырев Сергей Петрович –

доктор технических наук,
профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»
Балаковского института техники, технологии и управления (филиала)
Саратовского государственного технического университета

Горшков Евгений Александрович –
аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»
Балаковского института техники, технологии и управления (филиала)
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 16.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 62.192:621.43-229

С.П. Косырев, И.О. Кудашева

**ОЦЕНКА ВИБРОУДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ И НАЧАЛЬНЫХ
ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОРШНЕЙ И ЗОЛОТНИКОВ РЕГУЛЯТОРОВ
СКОРОСТИ ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Расчётно-экспериментальным методом в динамической постановке исследована возможность учёта комплексного критерия – коэффициента динамичности после поверхностного пластического деформирования. Разработан экспериментальный метод определения начальных остаточных напряжений в детали с учётом динамики нагружения.

S.P. Kosyrev, I.O. Kudasheva

**VIBRATION STRESS AND INITIAL RESIDUAL PRESSURE ESTIMATION
AFTER SUPERFICIAL PLASTIC DEFORMATION OF PISTONS
AND SPEED REGULATORS SLIDES OF THE FORCED DIESEL ENGINES**

Through calculative experimental method in a dynamic state, the article studies possibilities of the account of complex criterion – factor of dynamism after superficial plastic deformation. The experimental method of definition of initial residual pressure in a detail with dynamics account stress is developed here.

Поверхностные слои поршней и золотников регуляторов скорости форсированных дизелей являются особо ответственными, так как в большинстве случаев усталостное разрушение от динамического приложения нагрузок располагается именно в этих поверхностных слоях. Несущая способность поршней и золотников существенно повышается за счёт сжимающих остаточных напряжений, создаваемых в поверхностном слое в процессе поверхностного пластического деформирования, например, гидродробеструйного упрочнения (ГДУ) на установке ГДЭУ-5 (рис. 1).

Исследования элементов привода этой установки в ОАО «Волжский дизель им. Маминых» показали, что наличие в системе смазки гидродинамических колебаний в сочетании с кинетической энергией виброудара шаров является причиной значительного динамического нагружения в процессе ГДУ деталей. Осциллографированием подтверждено, что при ГДУ в системе смазки ГДЭУ-5 имеют место вынужденные гармонические колебания – пульсация давления масла с круговой частотой, пропорциональной частоте вращения вала масляного насоса $\theta = \pi\lambda/30$.

Для комплексной оценки изменения физико-механического состояния поверхностных слоев при ГДУ в производственных условиях используют контрольные пластины как образцы-свидетели, изготавливаемые из того же материала, что и упрочняемый поршень и золотник регулятора скорости. При этом считается [1-3], что статическая стрела прогиба пластины служит мерой интенсивности и стабильности процесса ГДУ. Вместе с тем известно, что виброударное нагружение поршня и золотника регулятора скорости и контрольных пластин при ГДУ, в отличие от статического, «вызывает более сложные процессы в металле, которые связаны с изменением диаграммы деформирования во время нагружения с различной степенью циклического упрочнения или разупрочнения материала, а при повышенной частоте циклов, по-видимому, и с перемещением атомов кристаллической решётки за счёт подводимой энергии при вибрировании» [4].

При переменной нагрузке соблюдается принцип суммирования времени запаздывания текучести, связанного с механизмом размножения дислокации, что особенно важно в зонах с концентрацией напряжений в золотниках и поршнях, где пластическая деформация заканчивается быстрее при росте градиента концентрации напряжений.

Данные об учёте динамики нагружения при ГДУ поршней и золотников регуляторов скорости в технической литературе отсутствуют. Вместе с тем, если не учитывать характер нагружения указанных деталей и его влияния на уровень остаточных напряжений, это может привести к существенной ошибке при оценке запасов несущей способности и неверному представлению о прогнозируемом ресурсе, долговечности и эксплуатационной надёжности регуляторов скорости транспортных дизелей. Следовательно, нужны новые подходы к оценке начальных остаточных напряжений в контрольных пластинах-свидетелях при виброударном динамическом нагружении в камере ГДЭУ-5.

Для оценки динамической напряженности и связи показателей виброударного нагружения при ГДУ с конструктивными параметрами консольно закрепленной пластины как образца-свидетеля примем комплексный критерий – коэффициент динамичности нагрузки K_d . Чтобы определить, как зависит уровень начальных остаточных напряжений от этого критерия, используем принцип Сен-Венана – заменим распределенную виброударную нагрузку на консольно закрепленную пластину при ГДУ равнодействующей гармонически меняющейся сосредоточенной вибрационной силой $P \cdot \sin \omega t$ (рис. 2), полагая при этом, что пульсирующий характер движения масла в системе ГДЭУ-5 близок к гармоническому.

Используя уравнение амплитуды динамического прогиба для консольной пластины, подверженной действию вынужденных гармонических колебаний [5]



Рис. 1. Установка ГДЭУ-5 для дифференцированного упрочнения деталей

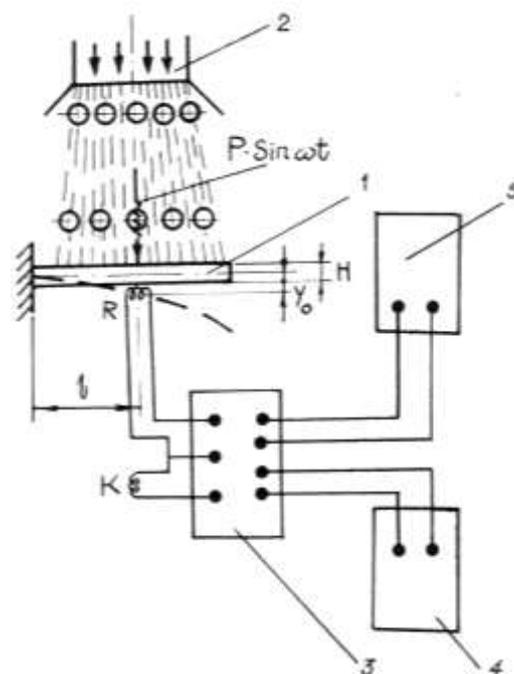


Рис. 2. Схема исследования динамического нагружения и остаточных напряжений

$$y_l = y_0 A_l + \varphi_0 B_l \frac{1}{K} + M_0 C_l \frac{1}{EJK^2} + Q_0 D_l \frac{1}{EJK^3} + \frac{1}{EJK^2} \left\{ \sum M_i C r_i + \frac{1}{K} \sum P_i D_{s_i} - \theta^2 \sum J_i \varphi_i C_i + \frac{\theta^2}{K} \sum M_i Y_i D_{t_i} \right\}$$

и приняв начало координат в точке приложения гармонической силы $P \cdot \sin \omega t$, запишем граничное условие на левом конце (в заделке) консольной пластины

$$y_l = y_0 \cdot A_l + \varphi_0 \cdot B_l \cdot \frac{1}{k} - P D_l \cdot \frac{1}{E \cdot I \cdot k^3} = 0. \quad (1)$$

Решая (1), получаем амплитуду динамического прогиба консольной пластины в точке приложения гармонической силы

$$y_0 = \frac{P}{E \cdot I \cdot k^3} \cdot \frac{-A_l \cdot D_l + B_l \cdot C_l}{A_l^2 - B_l \cdot D_l}, \quad (2)$$

где $K = \sqrt[4]{q\theta^2 / gJE}$; θ – частота внешней пульсирующей нагрузки; Q – погонный вес пластины; P – пульсирующая сосредоточенная сила; J – момент инерции поперечного сечения пластины; A_l, B_l, C_l и D_l – функции влияния, вычисляемые по выражениям табл. 6 из [5].

При статистическом действии силы P стрела прогиба для консольно закреплённой пластины [6]

$$y_c = Pl^3 / 3EI.$$

Коэффициент динамичности нагрузки

$$K_D = y_0 / y_c = \frac{3}{k^3 \cdot l^3} \cdot \left(\frac{-A_l \cdot D_l + B_l \cdot C_l}{A_l^2 - B_l \cdot D_l} \right). \quad (3)$$

Так как глубина поверхностного слоя с высокими начальными остаточными напряжениями мала по сравнению с высотой сечения поршня или золотника, нормальные остаточные напряжения, направленные по длине консольной пластины после ГДО, определяются зависимостью

$$\sigma_x^0 = \frac{8E}{l^2} \cdot (H/2 - h) y_c, \quad (4)$$

где H – толщина пластины; y_c – стрела статистического прогиба середины консольной пластины при тарировке; h – глубина наклёпанного, пластически деформированного слоя, подсчитанная по методике [2].

Принимая во внимание виброударный характер нагружения консольной пластины в процессе ГДУ и учитывая при этом амплитуду динамического прогиба $y_0 = K_D y_c$ при снятии образца с гидродробеструйной установки, получим для определения нормальных остаточных напряжений из (4)

$$\sigma_{xx}^{0i} = \frac{8E}{l^2 (H/2 - h) y_0}. \quad (5)$$

По исходным данным для консольно закреплённой пластины $q = 0,0994 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-1}$, $\theta = 303,5 \text{ с}^{-1}$, $k_l = 0,0378$, $A_l = 1$, $B_l = 0,04$, $C_l = 0,008$, $D_l = 0,00001$, $l = 0,03 \text{ м}$, $I = 17,14 \cdot 10^{-9}$, $H = 4 \cdot 10^{-4}$, $h = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, $y_0 = 8,54 \text{ м}$ расчетные значения $K_D = 1,22$ и $\sigma_{xx}^{0i} = -130,71 \text{ МПа}$.

Для экспериментальной оценки коэффициента динамичности K_D и его влияния на уровень начальных остаточных напряжений в контрольной пластине после ГДУ в ОАО «Волжский дизель им. Маминых» проведены специальные исследования, блок-схема которых приведена на рис. 2. Консольная пластина 1 односторонне обрабатывалась виброударно шарами из сопла 2 в камере установки ГДЭУ-5. На противоположной – неупрочнённой стороне посередине пластины наклеивались рабочий R и компенсационный K тензорезисторы,

включённые в усилитель 3 тензостанции 8 АНЧ-ТМ. Преобразованный сигнал динамической деформации пластины регистрировался на шлейфовом осциллографе 4 марки Н-115. Схема питалась от блока питания П-131(5). Перед проведением исследований рабочий тензорезистор тарировался статически на специальном приспособлении с заданием прогиба пластины микрометром и контролем его по индикатору.

На рис. 3 представлена осциллограмма динамических напряжений в консольной пластине в процессе ГДУ. Анализ показывает, что напряжения образованы сложением двух вынужденных колебаний первой и второй гармоник. При этом динамическое вибрационное нагружение действует с частотой кратковременных, периодически повторяющихся пиков, близких к затухающим синусоидальным колебаниям. Уровень динамики нагружения консольной пластины в процессе ГДУ, оцениваемый коэффициентом динамичности K_D , определяется из соотношения $K_D=1+f/F$, где f – относительное динамическое изменение напряжений в пластине – разность между средними значениями пиков амплитуды I и II гармоник; F – среднее относительное значение амплитуды I гармоник напряжений в пластине. Согласно осциллограмме $K_D=1+6,6/33=1,2$. Начальные остаточные напряжения σ_{xx}^{0i} в пластине при виброударном нагружении 1 определяются между двумя нулевыми линиями 2 и 3, отмеченными на осциллограмме до и после гидродробеструйного упрочнения. Зависимость σ_{xx}^{0i} от величины K_D представлена графически на рис. 4.

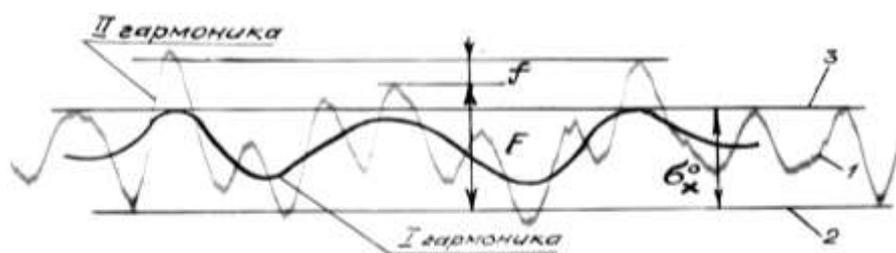


Рис. 3. Осциллограмма динамического нагружения образца-свидетеля при ГДУ

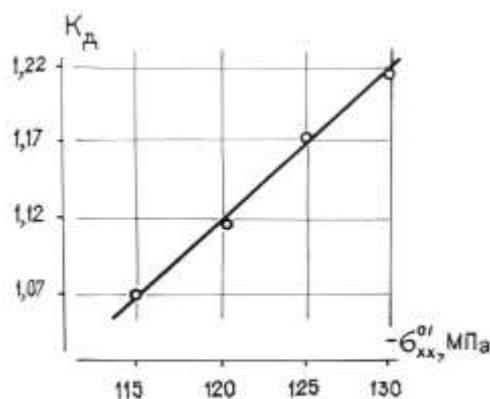


Рис. 4. Зависимость σ_{xx}^{0i} от K_D

Заключение

1. В динамической постановке расчётно-экспериментальным методом исследована возможность учёта комплексного критерия – коэффициента динамичности при виброударном нагружении ГДУ консольно закреплённой пластины. Показано, что изменение амплитуды вибрационного нагружения в консольной пластине достигает 22%, что необходимо учитывать при оценке уровня остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования поршней и золотников регуляторов скорости.

2. Разработан экспериментальный способ измерения начальных остаточных напряжений в детали путём учёта динамики нагружения, согласно которому начальные остаточные напряжения определяют между двумя нулевыми линиями, отмеченными на осциллограмме динамической напряжённости образца-свидетеля до и после гидродробеструйного упрочнения.

3. Так как при ГДУ происходит локальная пластическая деформация сжатия поверхностных слоев золотника и поршня, особенно в зонах концентрации напряжений, несущая способность конструкции существенно зависит от остаточных напряжений, которые при сложении с рабочими напряжениями могут привести к возникновению разрушающих напряжений. Влияние остаточных напряжений в расчётах на усталостную долговечность и эксплуатационную надёжность должно учитываться при определении предела выносливости материала конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента / В.В. Петросов. М.: Машиностроение, 1977. 180 с.
2. Рыковский Б.П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклёпом / Б.П. Рыковский, В.А. Смирнов, Г.М. Щетинин. М.: Машиностроение, 1985. 160 с.
3. Саверин М.М. Дробеструйный наклёп / М.М. Саверин. М.: Машгиз, 1955. 312 с.
4. Ряхин В.А. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин / В.А. Ряхин, В.Н. Мошкарёв. М.: Машиностроение, 1984. 69 с.
5. Безухов Н.И. Устойчивость и динамика нагружения в примерах и задачах / Н.И. Безухов, О.В. Лужин, Н.В. Колкунов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. 320 с.
6. Тимошенко С.П. Механика материалов / С.П. Тимошенко, Дж. Гере. М.: Мир, 1976. 380 с.

Косырев Сергей Петрович –

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

Кудашева Ирина Олеговна –

аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 16.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 621.735

В.М. Никитенко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ ВЫТЯЖКОЙ-ОТБОРТОВКОЙ

Представлены экспериментальные исследования процесса вытяжки-отбортовки деталей коробчатой формы. Выявлены режимы энергосиловых параметров формообразования.

V.M. Nikitenko

ENGINEERING PROCESS PERFECTION OF BOX-SHAPED COMPONENTS MANUFACTURING BY DRAWING AND CRIMP SEAL

The experimental researches of the process of drawing and crimp seal of the box-shaped details are presented in this article. The conditions of energy-power parameters of shaping are revealed here.

Анализ номенклатуры деталей промышленных предприятий автомобильной отрасли (листоштамповочное производство) позволяет сделать вывод о возможности разработки мероприятий ресурсосбережения при формоизменении деталей коробчатой формы с реализацией технологической схемы вытяжки-отбортовки (рис. 1).

Автором разработана и подготовлена к внедрению прогрессивная технология процесса формообразования деталей коробчатой формы при вытяжке-отбортовке. В рамках экспериментальных исследований изучалось влияние технологических режимов вытяжки, конструкции инструмента, материала на энергосиловые параметры деформирования. На процесс формоизменения заготовки при вытяжке-отбортовке деталей коробчатой формы с отверстием в донной части, характеризующейся уменьшением фланца, увеличением диаметра отверстия, утонением на кромке отверстия, влияют следующие факторы: толщина материала, размеры и форма заготовки отверстия, радиусы закругления матрицы и пуансона и др.

Определена степень влияния каждого из них, что позволяет корректно построить технологический процесс формообразования. Радиус закругления матрицы r_m оказывает существенное влияние на ход процесса вытяжки-отбортовки и влияет на следующие режимы процесса: усилие, необходимое для вытяжки; образование складок; утонение материала стенок; коэффициент вытяжки и число вытяжных операций; стойкость штампа, напряженно-деформированное состояние в характерных зонах деталей.

Чем больше радиус закругления r_m , тем меньше потребное усилие для вытяжки, тем больше участок у края вытягиваемого изделия, на котором образуются складки, тем меньше утонение материала и количество операций, необходимых для получения изделий. Радиус закругления пуансона r_n на усилие вытяжки влияет незначительно, но оказывает существенное влияние на утонение стенок у дна изделия. При малом радиусе снижается эффективная прочность в опасном сечении (у дна) изделия, а, следовательно, увеличивается предельное значение коэффициента вытяжки (уменьшается степень вытяжки). Для того, чтобы можно было работать при большом радиусе закругления матрицы, не опасаясь образования складок, применяют штампы с дополнительным радиусным прижимом, который во время работы прижимает заготовку также и по закругленной части матрицы, что позволяет увеличить степень деформации без образования складок.

Графическая интерпретация экспериментальных исследований представлена на рис. 2, 3, 4. Проведенные экспериментальные исследования позволяют существенно расширить

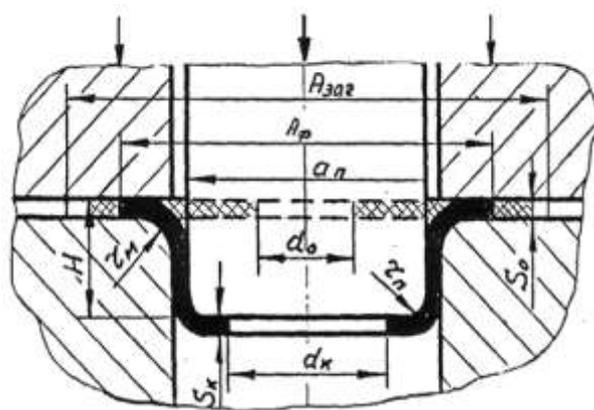


Рис. 1. Схема вытяжки-отбортовки

технологические возможности формообразования при вытяжке-отбортовке, повысить эффективность листоштамповочного производства при изготовлении деталей коробчатой формы.

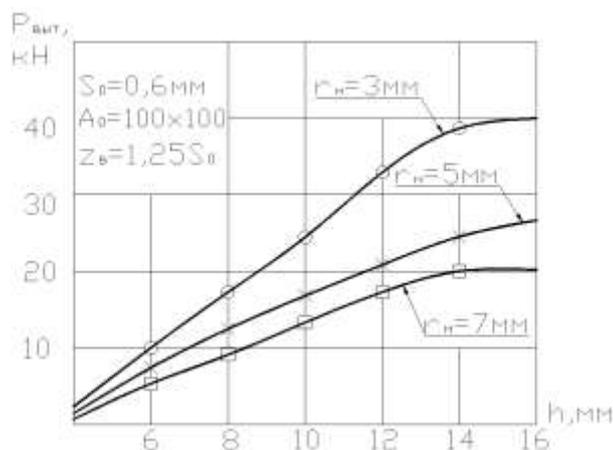


Рис. 2. Влияние радиуса закругления матрицы (r_m) на ход процесса вытяжки при толщине материала $S_0=0,6$ мм

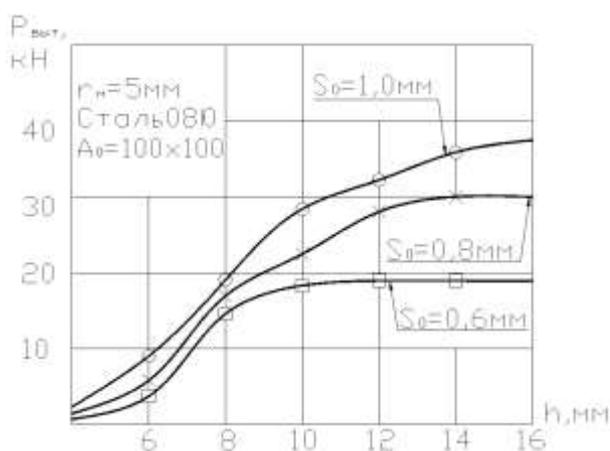


Рис. 3. Влияние радиуса закругления матрицы (r_m) на ход процесса вытяжки при разной толщине материала: $S_0=0,6; 0,8; 1,0$ мм

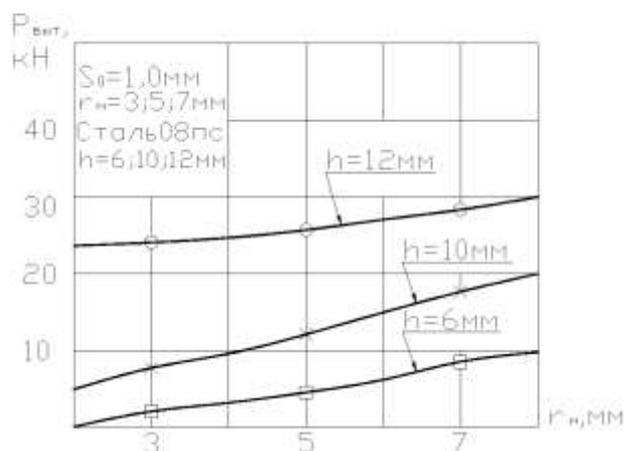


Рис. 4. Влияние радиусов закругления матрицы (r_m) на ход процесса вытяжки при толщине материала $S_0=1,0$ мм и глубине вытяжки $h = 6; 10; 12$ мм

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкиев Ю.А. Технология холодной штамповки / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев. М.: Машиностроение, 1989. 280 с.
2. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка / под ред. Л.И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988. 340 с.
3. Берлет Ю.Н. Об условиях протекания процесса вытяжки, совмещенного с неполной отбортовкой / Ю.Н. Берлет, В.И. Филимонов, Ю.А. Титов // Кузнечно-штамповочное производство. 2000. № 2. С. 16-22.

Никитенко Валентина Михайловна – старший преподаватель кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 21.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.8

А.Н. Антамошин, А.А. Большаков

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Описаны синтез комбинированной модели дифференциально-диагностического процесса и результаты экспериментальной проверки ее адекватности. Предложены способ извлечения знаний из экспертов, а также схема многоагентной экспертной системы для дифференциально-диагностического поиска заболеваний в области экстренной хирургии брюшной полости. Приведена структура созданной экспертной системы на платформе постреляционной СУБД «CACHE» компании InterSystems.

A.N. Antamoshin, A.A. Bolshakov

INTELLECTUAL AGENTS APPLICATION IN A DIFFERENTIAL-DIAGNOSTIC PROCESS

Synthesis of the combined model of a differential-diagnostic process and results of experimental check of its adequacy are described here. The way of extraction of knowledge from experts, and also the scheme of multi agent expert system for differential-diagnostic search of diseases of emergency surgery of a belly cavity is offered here. The structure of the created expert system on a platform post-relational database InterSystems Cachÿ is presented in this article as well.

Введение

Дифференциальная диагностика является одним из важнейших направлений медицины. Ее целью [5] служит нахождение кратчайшего пути от самого яркого симптома к диагнозу. Будем понимать под процессом дифференциальной диагностики идентификацию состояния больного, т.е. распознавание поразившей его болезни. Таким образом, требуется определить болезнь (нозологическую форму), при которой устанавливаются непротиворечивые отношения между наблюдаемыми признаками и интегрирующим понятием диагноза. При этом указанные отношения могут быть неполными из-за отсутствия каких-либо из соответствующих данному заболеванию признаков [3].

Предметной областью исследования настоящей работы является экстренная хирургия брюшной полости. В качестве исходных данных используется матрица симптомов, включающая 120 клинических случаев и 35 симптомов. Задача работы заключается в формировании прогноза положительного или летального исхода. Для ее решения используется аппарат дифференциальной диагностики, который обычно используют медицинские работники на практике.

Дифференциально-диагностический процесс можно подразделить на три взаимосвязанных этапа [2]: постановка первичного диагноза (предварительная гипотеза), построение дифференциально-диагностического ряда (выдвижение дополнительных гипотез), окончательный диагноз (обоснование окончательной гипотезы).

На первом этапе на основе входного симптомокомплекса устанавливается предварительный (первичный) диагноз, т.е. построение исходной диагностической гипотезы на основе «неаргументированного» рассуждения, по принципу «поскольку имеются признаки..., то может быть диагноз...». При построении гипотезы учитывается также возможность фоновых заболеваний, симптомы которых могут «деформировать» картину основного заболевания [6].

На втором этапе осуществляется аргументация «за», обеспечивающая привлечение дополнительных диагностических гипотез. Формируется дифференциально-диагностический ряд, т.е. ряд заболеваний, при которых встречаются определяемые у больного признаки и для которых могут быть характерны похожие начальные проявления. Иначе, осуществляется расширение диагностической последовательности для принятия окончательного решения. Этот этап крайне важен, т.к. предохраняет от ошибочного решения в пользу первой диагностической гипотезы, из-за того, что определенные состояния могут имитировать далекие друг от друга заболевания. В медицине такие ситуации принято определять как проявление одного заболевания под «маской» другого [4].

На третьем этапе осуществляется процесс последовательного исключения нозологических форм, включенных ранее в дифференциальный ряд, на основе одного из трех принципов дифференцирования.

В результате получаем окончательный диагноз. Вышеописанный процесс можно представить в виде схемы [1], изображенной на рис. 1.

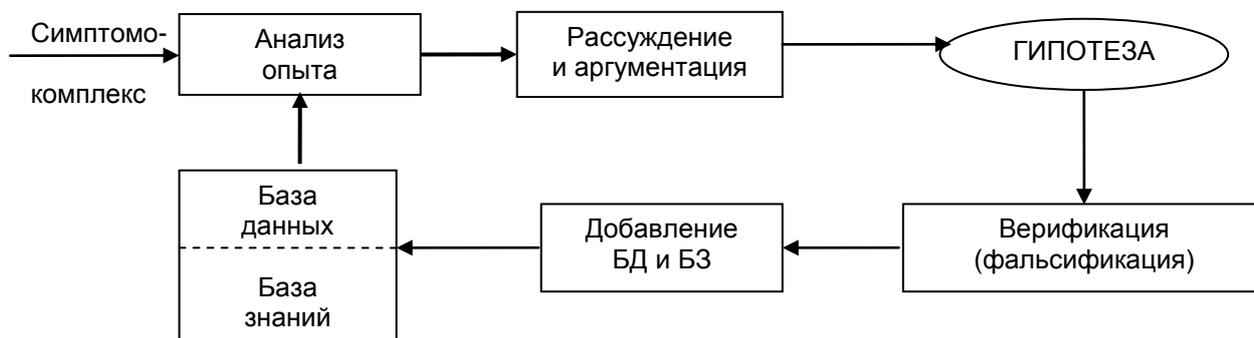


Рис. 1. Схема дифференциально-диагностического процесса

Разработка модели дифференциально-диагностического процесса включает следующие этапы:

1. Подготовка исходных данных, выделение наиболее значимых переменных.
2. Выбор модели или метода постановки первичного диагноза и формирования дифференциально-диагностического ряда и выбора наиболее достоверного диагноза.
3. Реализация спроектированной модели.

Построение комбинированной модели дифференциально-диагностического процесса

Первичная подготовка исходных данных включала определение наиболее значимых переменных. Для этого выбран способ, основанный на построении и анализе корреляционной матрицы. Ее экспертный анализ позволил выделить значимые для оценки выживаемости пациентов переменные: пол X1; задержка газов X2; частота дыхательных движений X3; глюкоза, ацетон, пигменты в моче X4; мочевины крови X5; сахарный диабет X6; эффективность предоперационной обработки X7; объем оперативного вмешательства X8.

Для построения дифференциально-диагностического ряда выбран метод «ближайшего соседа» из области распознавания образов, который в пространстве признаков локализовал некую область с 3-5 заболеваниями.

Такой подход позволяет совместить первые два этапа дифференциально-диагностического процесса, когда составляется ряд наиболее симптоматически похожих заболеваний.

Далее с помощью эвристических правил, а именно продукций, введенных экспертом, машина вывода выбирает наиболее близкий не по расстоянию в пространстве признаков, а по «смыслу» прецедент. Помимо этого данная методика позволяет учитывать «незначимые» параметры, которые отсеяли на этапе выделения значимых переменных, что позволяет повысить точность предсказания. Также такой подход позволяет эффективно учитывать такие особенности медицинской информации, как пропуски и «дикие» выбросы данных.

Данная модель реализует функции третьего этапа дифференциально-диагностического процесса, на котором осуществляется выбор из достаточно небольшого ряда заболеваний, наиболее достоверного.

Также следует отметить, что обучение такой модели разделяется на два этапа: предварительный и финишный. На этапе предварительного обучения происходит простое добавление в базу фактов конкретного клинического случая с исходом. Процесс финишного обучения – самый сложный и требует непосредственной работы эксперта. На этом этапе эксперт, руководствуясь принципами дифференциальной диагностики, создает правила для разделения похожих по симптомам диагностических случаев.

В результате построения и обучения данной модели получены следующие результаты, которые можно признать удовлетворительными (см. табл. 1).

Таблица 1

Результаты прогноза на основе комбинированного метода

Наблюдения	Предсказан положительный исход	Предсказан летальный исход	Процент корректности
Положительный исход	36	2	94%
Летальный исход	1	10	90%

Основным преимуществом синтезированной модели является её точность, в сравнении с классическими методами (см. табл. 2), которая достигнута использованием достоинств двух методов. Метод поиска «ближайшего соседа» из области распознавания образов, позволяет быстро и эффективно построить дифференциально-диагностический ряд заболеваний, однако он часто дает неверный результат при наличии близких в пространстве признаков состояний. Данный недостаток устраняется применением классического метода представления знаний эксперта – продукций, с помощью которых из определенного ранее ряда заболеваний определялся наиболее подходящий диагноз.

Таблица 2

Результаты прогноза различными методами

Наименование метода	Корректность прогноза летального исхода	Корректность прогноза положительного исхода
Логистическая регрессия	54%	78%
Нейронные сети	72%	86%
Комбинированная модель	90%	94%

Недостатком можно считать, что выходом модели является не вероятность выживаемости, а логическое значение, которое, возможно, хуже воспринимается.

Характеристика метода извлечения экспертных знаний

Для извлечения знаний из эксперта применена технология инженерии знаний – индивидуальная диагностическая экспертная игра. Игрой называют такой вид человеческой деятельности, который отражает (воссоздает) другие её виды. При этом для игры характерны одновременно условность и серьезность. Диагностическая игра – это игра, применяемая для диагностики методов принятия решения в медицине (диагностика методов диагностики). Эти игры возникли при исследовании способов передачи опыта от опытных врачей новичкам. В данной работе применена игра под условным названием «фокусировка на контексте». В ней эксперт играет роль экспертной системы, а инженер по знаниям – роль пользователя. Разыгрывалась ситуация итоговой консультации, когда необходимо дифференцировать заболевание от 2-3 симптоматически похожих. Перед игрой определены принципы, по которым происходила дифференциация заболеваний. Первый из них – так называемый принцип существенного различия. Формулировка этого принципа: наблюдаемый случай заболевания не принадлежит к виду, с которыми его сравнивают, т.к. в данном случае находят симптом, который в сравниваемом виде заболевания никогда не встречается. Второй принцип дифференциации – исключение через противоположность: наблюдаемый случай не является заболеванием, с которым его сравнивают, т.к. постоянно встречается симптом, прямо противоположный. Третий принцип – несовпадение признаков. Сравнивая качество, интенсивность и особенности наблюдающегося симптома с симптомами того же порядка, можно убедиться в их несовпадении, различном характере и разном происхождении, что заставляет сомневаться и исключить предполагаемое заболевание.

Использование интеллектуальных агентов для медицинской диагностики

Анализируя проблемы теории принятия решений и представления знаний в медицине, можно прийти к выводу, что для решения этих проблем может быть использован аппарат распределенного искусственного интеллекта, а именно, применена технология интеллектуальных агентов, которая обладает следующими преимуществами. Во-первых, агентная технология позволяет представлять и решать трудноформализуемые проблемы более естественным образом, т.е. система описывается в виде ролей, которые выполняют агенты. Во-вторых, появляется возможность агентного моделирования. В-третьих, возможна реализация распределенного в пространстве и задачах комплекса программного обеспечения.

Агентом является все, что может рассматриваться как воспринимающее свою среду с помощью датчиков и воздействия на эту среду с помощью исполнительных механизмов. Также агенты могут взаимодействовать друг с другом. Системы, в которых агенты взаимодействуют друг с другом, называются многоагентными. Разработанную нами экспертную систему можно представить как многоагентную систему, схема которой представлена на рис. 2.

В предложенной системе центральным звеном является машина вывода, для обслуживания которой предназначены агенты. Для интеллектуального агента заполнения базы знаний средой является база знаний эксперта. На вход данного агента через интерфейс поступают знания эксперта, который пытается добавить в базу знаний новое правило. Результатами действий агента заполнения базы знаний является проверка на полноту, корректность, отсутствие дубликатов правил в базе знаний и, собственно, добавление правила в базу знаний. Для интеллектуального агента формирования логики средой является машина вывода, а также знания эксперта о том, каким образом осуществлять исключение заболеваний из дифференциально-диагностического ряда. Используя эти знания, агент управляет машиной вывода так, как описал эксперт. Интеллектуальный агент поиска прецедентов выполняет формирование дифференциально-диагностического ряда с помощью метода поиска «ближайшего соседа».

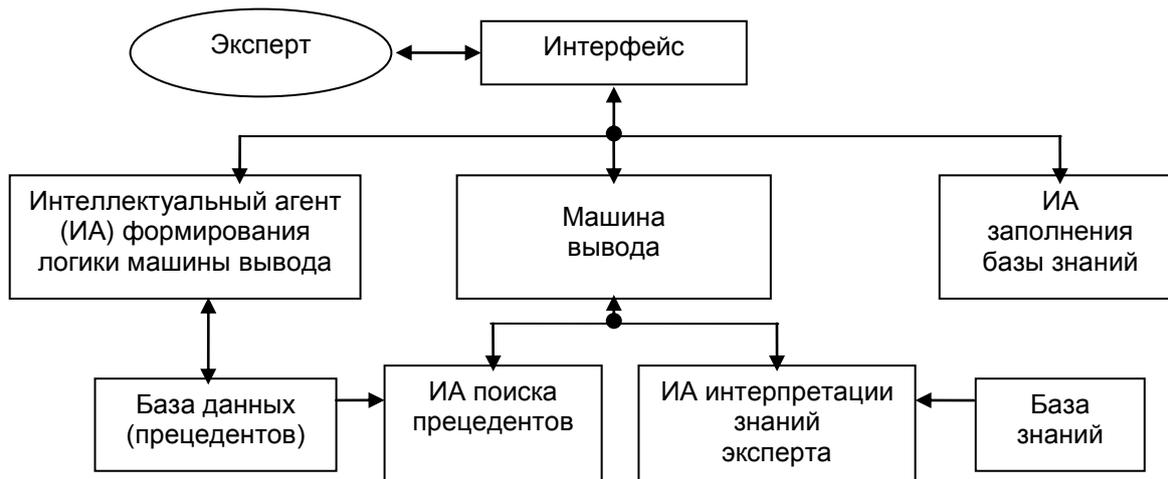


Рис. 2. Структура многоагентной экспертной системы

Программная реализация комбинированной модели

На базе разработанной комбинированной модели реализована экспертная система, структура которой представлена на рис. 3. Ядром экспертной системы является постреляционная система управления базами данных CACHE. Такой выбор сделан, исходя из следующих преимуществ:

- объектная модель представления знаний в СУБД;

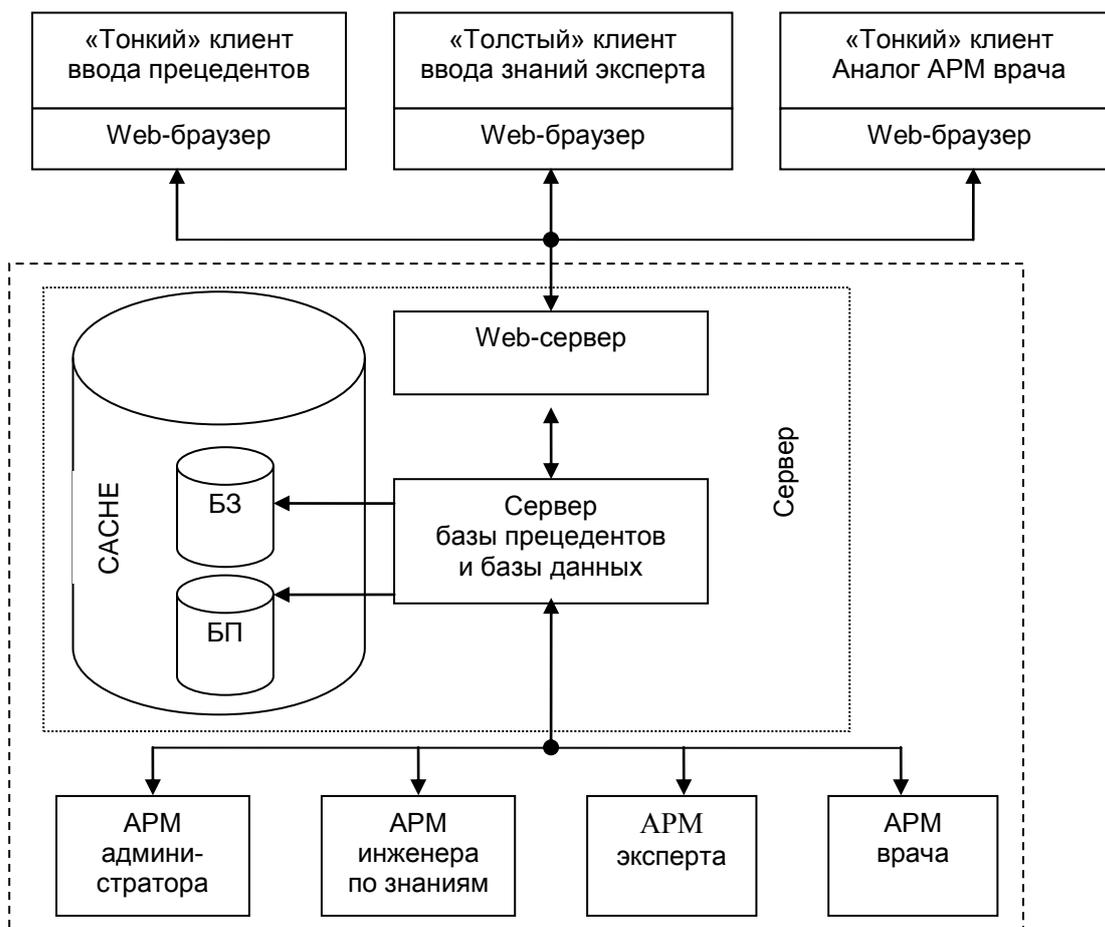


Рис. 3. Структура экспертной системы

- применение специализированного, встроенного языка программирования M/MSM, который разрабатывался как язык для обработки медицинских данных;
- встроенная виртуальная машина, что позволяет добавлять продукции, выработанные экспертом и инженером по знанию, без модификации программного кода;
- встроенный WEB-сервер.

Эти факторы позволили сформировать программный комплекс на единой платформе и снизить стоимость экспертной системы в целом.

Выводы

Построена комбинированная модель дифференциально-диагностического поиска заболевания в области экстренной хирургии брюшной полости. Эта модель совмещает два метода искусственного интеллекта: поиска «ближайшего соседа» из области распознавания образов и классический метод представления знаний эксперта – использование продукций.

Предложена структура многоагентной экспертной системы для дифференциально-диагностического поиска заболевания в области экстренной хирургии брюшной полости на основе идеологии распределенного искусственного интеллекта и методологии его применения в медицине.

Это позволило создать постреляционную систему управления базами данных САСНЕ, а также сформировать базу данных, базу знаний и машину вывода в единой программной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антамошин А.Н. Построение медицинских экспертных систем на основе нечеткого моделирования знаний экспертов / А.Н. Антамошин, А.А. Большаков // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов 19-й Междунар. науч. конф.: в 5 т. Воронеж: ВГТУ, 2006. Т. 5. С. 149-150.
2. Методология создания медицинских экспертных систем в области хирургии / А.Н. Антамошин, А.А. Большаков, А.Л. Левчук, В.А. Сотникова // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов 18-й Междунар. науч. конф.: в 6 т. Казань: КГТУ, 2005. Т. 6. С. 176-179.
3. Кобринский Б.А. Системы искусственного интеллекта в медицине: состояние, проблемы и перспективы / Б.А. Кобринский // Новости искусственного интеллекта. 1995. № 2. С. 45-46.
4. Кулинич А.А. Модель поддержки формирования знаний в плохо определенных проблемных областях / А.А. Кулинич // Искусственный интеллект в 21-м веке: труды Международ. конгресса. Дивноморск, 2001. С. 84-92.
5. Мухин Н.А. Пропедевтика внутренних болезней. 3-е изд., испр. / Н.А. Мухин, Н.С. Моисеев. М.: ГЭОТАР, 2006. 768 с.
6. Рахманова З.Б. Медицинское знание: от прошлого к будущему, или экспертные системы в медицине / З.Б. Рахманова // Новости искусственного интеллекта. 1995. № 3. С. 33-36.

Антамошин Андрей Николаевич –
аспирант кафедры «Системы искусственного интеллекта»
Саратовского государственного технического университета

Большаков Александр Афанасьевич –
доктор технических наук, профессор кафедры «Системы искусственного интеллекта»
Саратовского государственного технического университета

УДК 620.187:539.25

В.Б. Байбурин, Н.В. Беспалова, Ю.П. Волков

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИЕЙ

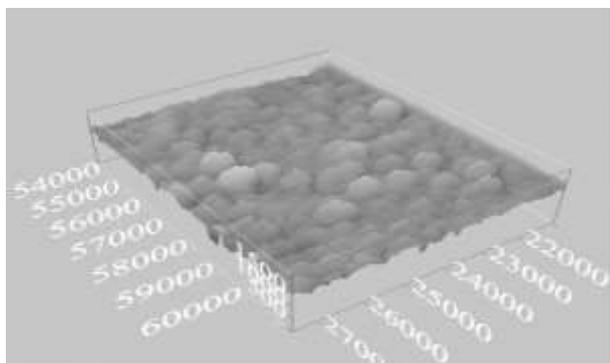
Представлено описание различных способов обработки изображений поверхностей, полученных методами сканирующей зондовой микроскопии. Рассмотрены достоинства метода устранения различных искажений структуры исследуемых объектов на основе дискретного вейвлет-преобразования.

V.B. Baiburin, N.V. Bespalova, Yu. P. Volkov

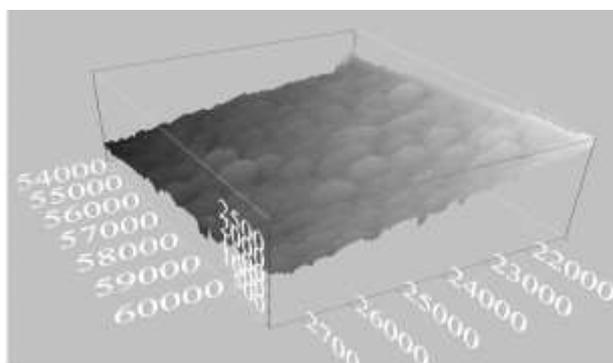
SCANING PROBE MICROSCOPY IMAGE PROCESSING ALGORITHMS

Various processing algorithms of surface images obtained by scanning probe microscope are discussed in this article. Advantages of discrete wavelet transform as a method of enhancement of sample topography is shown here.

В настоящее время в связи с развитием нанотехнологий особую актуальность получили исследования объектов методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). СЗМ – технологии позволяют получать изображения рельефа исследуемой поверхности, а также измерять ряд локальных характеристик объекта с нанометровым разрешением. Однако, полученные изображения зачастую необходимо подвергать различного рода обработке, поскольку СЗМ способна вносить искажения специфического характера, например, тепловой дрейф, шумы и т.д. Существуют различные математические методы исправления искажений изображения. Примером может служить метод вычитания плоскости, наиболее точно преобразующий изображения, дефект которых заключается в наклоне исходной поверхности под некоторым углом (рис. 1).



а



б

Рис. 1. СЗМ изображение тонкой пленки алюминия, напыленной на полированную кремниевую подложку: а – до обработки; б – после обработки с помощью метода вычитания плоскости

СЗМ изображения также можно обрабатывать с помощью преобразований Фурье. Однако, поскольку преобразования Фурье представляют собой разложение сигнала на элементарные гармонические колебания с различными частотами, они не способны корректно отображать участки изображения, содержащие различного рода экстремумы, как-то: скачки, разрывы. На результирующем изображении подобные участки будут размыты. Кроме того, преобразования Фурье способны вносить дополнительные искажения в рельеф поверхности. Из рис. 2 видно, что изображение после обработки быстрым преобразованием Фурье стало более плоским, однако у него появились резкие скачки на границе.

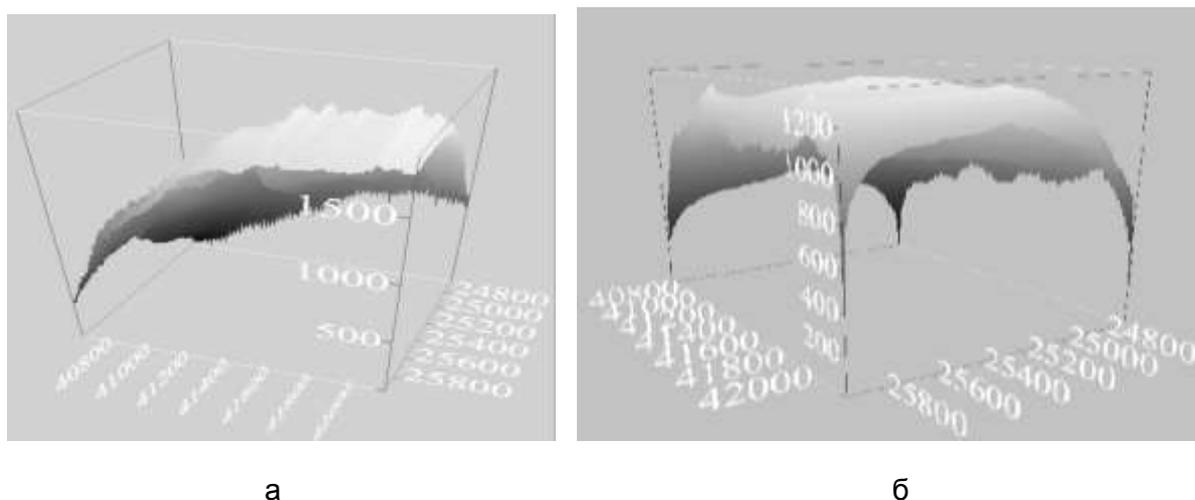


Рис. 2. ССМ изображение окиси редкоземельного металла CeO, полученное методом термического окисления на полированной кремниевой подложке: а – до обработки; б – после обработки с помощью быстрого преобразования Фурье

Аналогом преобразований Фурье являются вейвлеты, которые представляют собой особый тип линейного преобразования сигналов. В отличие от преобразований Фурье, вейвлет-преобразования описывают не только частотную, но и временную локализацию сигнала, что позволяет исследовать экстремумы, появляющиеся на малых промежутках времени.

Вейвлеты делятся на непрерывные и дискретные, в зависимости от типа преобразований, которые проводятся над исходной поверхностью.

Непрерывные вейвлет-преобразования сигнала $s(t)$ в пространстве $L^2(R)$ можно представить функцией двух переменных

$$W_n = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\psi_{ab}(t) dt, \quad a, b \in R, \quad a \neq 0, \quad (1)$$

где вейвлеты $\psi_{ab}(t)$ – масштабированные и сдвинутые копии порождающего вейвлета $\psi(t) \in L^2(R)$, совокупность которых создает новый базис пространства $L^2(R)$. Порождающий вейвлет не является стандартным и его выбор зависит от конкретной ситуации.

Формулы для дискретного вейвлет-преобразования нельзя получить просто дискретизацией соответствующих формул непрерывного преобразования. В общем виде их невозможно представить аналитически, однако можно охарактеризовать набором численных коэффициентов в некоторых функциональных уравнениях. Кратномасштабный анализ, лежа-

щий в основе дискретных вейвлет-преобразований, позволяет представить исходный сигнал в виде суммы разнотипных составляющих: аппроксимирующих (низкочастотных) – $\varphi(t)$, детализирующих (высокочастотных) – $\psi(t)$. Аппроксимирующие коэффициенты, формируемые скейлинг-функцией $\varphi(t)$ (индивидуальной для каждого из вейвлетов) вместе с детализирующими коэффициентами, формируемыми вейвлет-функцией $\psi(t)$, которая описывает изменения сигнала в пределах каждого нового участка аппроксимации, позволяют корректно восстанавливать значения коэффициентов на более широких участках аппроксимации, а, соответственно, и всего исходного дискретного сигнала.

Сначала сигнал пропускается через низкочастотный фильтр с импульсным откликом g , и получается свертка

$$W(m) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} s(k) g(m-k). \quad (2)$$

Одновременно сигнал раскладывается с помощью высокочастотного фильтра h . В результате получают детализирующие коэффициенты (после высокочастотного фильтра) и коэффициенты аппроксимации (после низкочастотного фильтра) формирующие вейвлет-функцию и скейлинг-функцию соответственно. Эти два фильтра связаны между собой и называются квадратурными зеркальными фильтрами. Отфильтровав, таким образом, половину частотного диапазона, отсчеты сигналов можно проредить в 2 раза:

$$W_L(m) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} s(k) g(2m-k); \quad (3)$$

$$W_H(m) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} s(k) h(2m-k). \quad (4)$$

Такое разложение корректно, т.к., с одной стороны, вдвое уменьшилось разрешение по времени в силу прореживания сигнала, с другой стороны, каждый из получившихся сигналов представляет половину частотной полосы исходного сигнала, так что частотное разрешение удвоилось.

Для обработки изображений наше предпочтение было отдано дискретным вейвлет-преобразованиям, как более точным и наглядным. Использование непрерывных вейвлет-преобразований не всегда удобно, поскольку одномерный сигнал они переводят в двумерное изображение, а двумерное изображение в общем случае – в четырехмерную картинку, что само по себе непредставимо. Однако это обстоятельство не мешает использовать непрерывные вейвлет-преобразования для различных срезов поверхности.

Как показывают исследования, порождающий вейвлет должен быть подобен исследуемой поверхности, в нашем случае поверхность гладкая, поэтому в качестве рабочего вейвлета был выбран вейвлет Добеши 4-8-го порядков. Коэффициенты вейвлета Добеши уже подсчитаны и были взяты из соответствующих таблиц [2].

Убирая из рассмотрения детализирующие коэффициенты, рельеф поверхности избавлялся от различного рода дефектов, таких как вздутие, загиб поверхности, наклон поверхности и т.д., вызванных внешними помехами в процессе сканирования поверхности. Рис. 3 демонстрирует исчезновение дефекта вздутия с наклоном при неизменном рельефе поверхности.

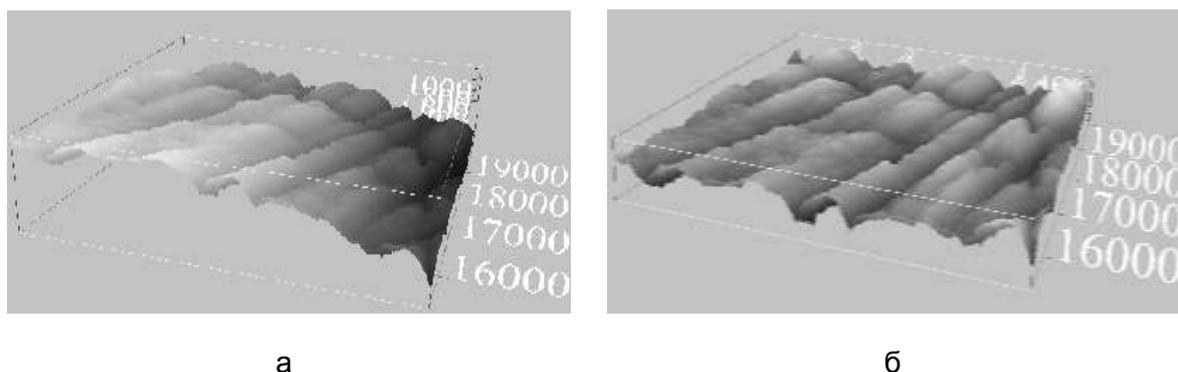


Рис. 3. СЗМ изображение полированной поликорой пластины (бугры на поверхности представляют собой увеличенные изображения следов полировки абразивным порошком): а – до обработки; б – после обработки вейвлетом Добеши 8-го порядка (очистка от дефектов)

Таким образом, наиболее эффективными методами обработки СЗМ изображений можно считать вычитание плоскости для поверхностей, имеющих постоянный наклон и дискретные вейвлет-преобразования для поверхностей произвольной топографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. 2001. Т. 171. № 5. С. 465-501.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 160 с.
3. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145-1170.
4. Левкович-Маслюк Л. Введение в вейвлет-анализ: учеб. курс / Л. Левкович-Маслюк. М.: ГрафиКон'99, 1999. 180 с.

Байбурин Вил Бариевич –

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

Беспалова Наталья Викторовна –

ассистент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

Волков Юрий Петрович –

профессор кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 18.04.07, принята к опубликованию 03.07.07

А.А. Егоров, Н.П. Митяшин

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ЭВАКУАЦИИ

Предлагаются методики моделирования процессов эвакуации из корпусов учебных заведений в ЧС при помощи аппарата сетей Петри и оптимизации эвакуации генетическими алгоритмами.

A.A. Egorov, N.P. Mityashin

THE EVOLUTIONARY MODEL OF EVACUATION PROCESSES

An approach in modeling of evacuation processes from educational institutions in emergency with help of Petri Nets and optimization of evacuation by evolutionary algorithms is presented here.

Оптимизация процесса эвакуации людей из помещений здания при возникновении чрезвычайных ситуаций является актуальной задачей. Ее особенность в случае корпусов учебных заведений состоит в нестационарности распределения людей по помещениям, связанной с расписанием занятий. В связи с этим оптимальные схемы эвакуации необходимо просчитывать для каждой конфигурации системы, возникающей несколько раз в сутки. В основу методики решения поставленной оптимизационной задачи должен быть положен метод моделирования движения потоков людей.

Одним из эффективных методов моделирования дискретных параллельных процессов является аппарат сетей Петри. Существуют различные вариации сетей Петри. При моделировании движения людского потока на микроуровне (т.е. с учетом индивидуальных характеристик каждого отдельного человека) можно использовать раскрашенные сети Петри, сопоставив людям с определенными физическим и психологическим состояниями маркеры некоторого цвета. Использование различных вариаций сетей Петри позволит в дальнейшем достаточно просто и эффективно развивать существующую модель.

Формально сеть Петри представляет собой граф специального вида с дополнительными правилами, которые определяют динамику процесса функционирования сети Петри. Обобщенная маркированная сеть Петри (или кратко сеть Петри) – это пятерка $C = (P, T, I, O, m_0)$, где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечное множество позиций сети Петри; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ – конечное множество переходов сети Петри; I – входная функция переходов, которая определяется как отображение $I : P \times T \rightarrow N_0$; O – выходная функция переходов, которая определяется как отображение $O : T \times P \rightarrow N_0$; $m_0 = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$ – вектор начальной маркировки сети Петри, при этом $m_i^0 \in N_0 (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\})$ и m_i^0 – компонент вектора начальной маркировки сети Петри, соответствующий позиции $p_n \in P$; N_0 – множество натуральных чисел и ноль, т.е. $N_0 = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$.

Графически сеть Петри изображается ориентированным двудольным графом специального вида. Множество вершин графа сети Петри есть $V = P \cup T$, а множество дуг определяется входной и выходной функциями переходов. Дуги графа соединяют переходы только с позициями, а позиции – только с переходами. Начальная маркировка изображается точками. Количество таких точек, получивших название маркеров, в позициях сети Петри равно зна-

чению соответствующего компонента вектора начальной маркировки. Пример сети Петри изображен на рис. 1.

Позиции, дуги из которых ведут в переход $t_j \in T$ сети Петри, называются входными позициями перехода t_j ; аналогично, позиции, в которые ведут дуги из перехода $t_j \in T$, называются выходными позициями этого перехода.

Динамика изменения начальной и последующих маркировок сети Петри после момента ее запуска подчиняется следующим Правилам $P(C)[1]$:

• (P_1) *Правило определения текущего состояния* сети Петри. Любое состояние сети Петри $C = (P, T, I, O, m_0)$ определяется некоторой маркировкой, которая представляет собой вектор $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$. При этом m_i является компонентом вектора маркировки сети Петри, соответствующим позиции $p_n \in P$.

• (P_2) *Правило (условие) активности переходов*. Переход, где $t_j \in T$ сети Петри $C = (P, T, I, O, m_0)$ называется активным (разрешенным или возбужденным) при некоторой маркировке $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, если выполнено следующее условие:

$$m_i \geq I(t_j, p_i) \quad (\forall p_i \in P) . \quad (1)$$

Другими словами, некоторый переход сети Петри является активным, если в каждой из его входных позиций имеется такое количество маркеров, которое больше или равно количеству дуг, соединяющих соответствующую входную позицию с данным переходом.

• (P_3) *Правило срабатывания перехода*. Если некоторый переход $t_j \in T$ сети Петри $C = (P, T, I, O, m_0)$ активен при маркировке $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, т.е. для данного перехода выполнено условие (1), то срабатывание этого перехода, осуществляемое мгновенным образом, приводит к новой маркировке $m_v = (m_1^v, m_2^v, \dots, m_n^v)$, компоненты вектора которой определяются по следующей формуле:

$$m_i^v = m_i + O(t_j, p_i) - I(p_i, t_j), \quad (\forall p_i \in P) . \quad (2)$$

Другими словами, срабатывание некоторого активного перехода сети Петри «перемещает» маркеры из входных позиций данного перехода в его выходные позиции таким образом, что во всех его входных позициях «исчезает» столько маркеров, сколько дуг соединяет эту входную позицию с данным переходом.

Моделирование движения людей внутри здания

При помощи сетей Петри предлагается представить структуру здания. В такой сети каждой позиции будет соответствовать некоторый участок пути длиной l_k , дугам с переходами – поперечные сечения коридоров, лестниц, проходов и выходы из комнат, через которые люди будут переходить из одного участка пути на другой. Количество маркеров будет соответствовать числу людей в позиции.

Особенностью сети в данном случае является то, что каждый переход соединяется с позициями одной дугой. Следовательно, условием активности перехода должно быть наличие во входной позиции хотя бы одного маркера. Но в рассматриваемой сети условие активности перехода включает в себя ещё и наличие «свободного места» в выходной позиции. Если плотность потока на участке пути, соответствующего выходной позиции, превышает не-

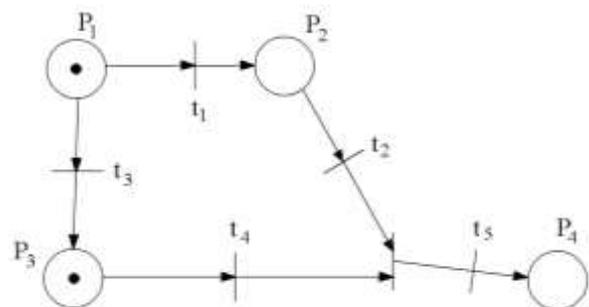


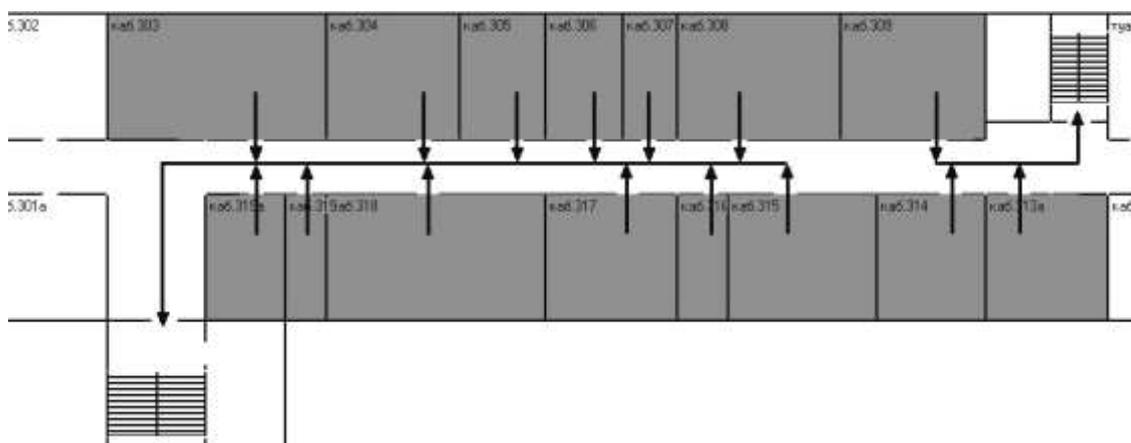
Рис. 1. Пример сети Петри

которую критическую величину, то переход становится неактивным. Кроме того, переход становится неактивным в случае, если количество прошедших через него маркеров сравнялось с максимальной «пропускной способностью» перехода.

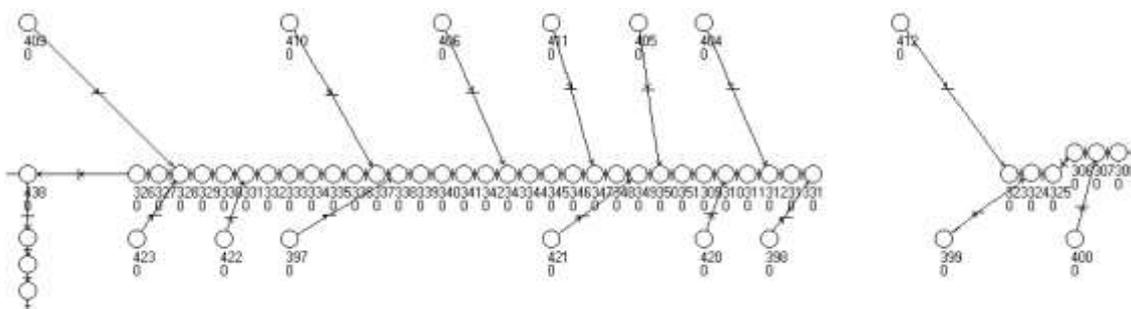
Разметка сети может изменяться только в некоторые моменты времени t . В момент времени t переход может сработать несколько раз подряд. Число срабатываний определяется количеством маркеров во входной позиции и «пропускной способностью перехода». Временное упорядочение функционирования сети осуществляется изменением разметки сети через равные промежутки времени Δt .

Сеть организовывается так, чтобы из определенных позиций, соответствующих учебным аудиториям, маркеры в конечном итоге переходили в позиции, соответствующие пространству вне здания. Количество подобных позиций равно количеству выходов в здании. Таким образом, на базе одного здания формируется несколько подсетей. Пример представления структуры некоторого здания в виде двух сетей Петри приведен на рис. 2.

Нестационарность распределения людей по помещениям здания, связанную с расписанием занятий, возможно отобразить путем окрашивания маркеров в начальных позициях в различные цвета. Определенный цвет будет соответствовать определенному занятию в определенный день недели. В каждую начальную позицию помещается максимально возможное для данной позиции количество маркеров. В зависимости от времени t некоторое количество маркеров, равное числу людей в соответствующей комнате, окрашивается в определенный цвет. Остальные маркеры помечаются как «неактивные». Если все маркеры в начальной позиции отмечаются как «неактивные», то такую позицию можно исключить из сети на некоторое время (равное продолжительности занятия).



а



б

Рис. 2. Пример представления структуры здания (а) в виде сети Петри (б)

Плотность потока на участке пути, которому будет соответствовать j -я позиция, определяем по формуле (8) в [2], учитывая площадь горизонтальной проекции каждого человека

$$D_k = \frac{\sum_{i=0}^l f_i}{l_k \cdot \delta_k}, \quad (3)$$

где f_i – площадь горизонтальной проекции i -го человека; l – количество людей на k -м участке пути; l_k – длина k -го участка пути; δ_k – поперечное сечение k -го участка пути.

Пропускная способность поперечного сечения прохода, которому соответствует j -й переход, рассчитывается по формуле (26) в [3], адаптированной для нашей задачи

$$Q_j = \frac{q_k \cdot b_j}{f_{cp}}, \quad (4)$$

где q_k – интенсивность потока на k -м участке пути, соответствующего входной позиции j -го перехода; b_j – ширина поперечного сечения прохода, которому соответствует j -й переход; f_{cpk} – средняя площадь горизонтальной проекции человека.

Число маркеров, которые смогут перейти через переход за время Δt , определяется следующим образом

$$n_j = Q_j \cdot \Delta t. \quad (5)$$

Каждому маркеру в соответствие устанавливаем определенное значение площади горизонтальной проекции f_i , скорость свободного движения V_{0i} .

Скорость движения человека, которому соответствует i -й маркер, будем определять как скорость движения людского потока с учетом уровня психологической напряженности ситуации. Подобная методика расчета предложена в [4].

$$V_i = V_{0i} \left(1 - a_l \ln \frac{D_k}{D_{0l}} \right), \quad (6)$$

где V_i – скорость движения людского потока по l -му виду пути при плотности потока D_k с учетом уровня психологической напряженности ситуации; D_k – плотность людского потока на k -м участке эвакуационного пути; V_{0l} – скорость свободного движения людей по l -му виду пути при значениях плотности потока D_{0l} с учетом уровня психологической напряженности ситуации; D_{0l} – значение плотности людского потока на l -м виде пути, при достижении которого плотность потока начинает оказывать влияние на скорость движения людей в потоке; a_l – безразмерный коэффициент, отражающий степень влияния плотности людского потока на его скорость при движении по l -му виду пути.

Время задержки i -го маркера в k -й позиции определяем по формуле

$$t_i = \frac{l_k}{V_i \cdot \Delta t}, \quad (7)$$

где l_k – длина участка пути, соответствующего k -й позиции; V_i – скорость человека, соответствующего i -му маркеру.

По предложенной методике было проведено моделирование эвакуации 100 человек в уличной одежде, находящихся в потоке с плотностью 0,4 в начале сорокаметрового коридора шириной 2 м, разделенного посередине стеной с проемом шириной 1 м. На основе моделирования было определено время эвакуации и время существования скопления перед стеной с проемом. Подобный выбор конфигурации эвакуационного пути и начальных условий позволяет сравнить результаты моделирования движения людских потоков при помощи сетей Петри с результатами расчета времени эвакуации другими методами и моделями, представленными в [5].

В [5] конфигурация эвакуационного пути и начальные условия аналогичны используемым в нашем случае. Время эвакуации рассчитывается по формулам ГОСТ 12.1.004, графо-

аналитическим методом, моделированием эвакуации при помощи программы ADLPV. Программа ADLPV использует для расчета скорости потока людей ту же зависимость (6), что и рассматриваемое моделирование движения людских потоков при помощи сетей Петри. В [5] приведены сравнительная таблица результатов расчета времени эвакуации и график, отображающий динамику образования и «рассасывания» скопления перед стеной с проемом в середине коридора. Дополнив таблицу и график результатами моделирования движения людских потоков при помощи сетей Петри, получим:

Сравнительная таблица результатов расчета времени эвакуации и времени существования скопления в коридоре длиной 100 м

Метод расчета	Расчетное время эвакуации, мин	Время существования скопления, мин
По формулам ГОСТ 12.1.004	2,18	1,84
Графоаналитический	2,31	2,00
Модель ADLPV	1,90	1,25
Моделирование при помощи сетей Петри	1,82	1,07



Рис. 3. Динамика расчета скопления людей перед проемом по формулам ГОСТ, графоаналитическим методом, при помощи модели ADLPV и сетей Петри

Моделирование движения людских потоков при помощи сетей Петри дает результаты, близкие к модели ADLPV. Разница в результатах может быть связана с различным распределением случайной величины V_{0l} , которая учитывается при расчете скорости движения людского потока по формуле (6).

Оптимизация эвакуации из здания

Целевая функция оптимизации зависит от множества параметров и имеет следующий вид

$$\psi = \max(t_{p1}, t_{p2}, t_{p3}, \dots, t_{pj}), \quad (8)$$

где $t_{p1}, t_{p2}, t_{p3}, \dots, t_{pj}$ — расчетное время эвакуации людей через j -й выход. При оптимизации необходимо стремиться к минимизации функции ψ .

Данную задачу принципиально можно решить методом полного перебора, сформировав набор всех возможных планов эвакуации и выбрав из них наилучший. Однако при решении описываемой задачи методом перебора можно столкнуться с тем, что пространство по-

иска оптимального решения окажется достаточно большим. Величину пространства поиска будут определять такие факторы, как размер и конфигурация здания. Кроме того, будет сказываться и нестационарность распределения людей по помещениям здания. При сложной конфигурации здания и определенном расписании занятий поиск оптимального решения для каждой конфигурации может занять неоправданно большое время. В этой ситуации метод полного перебора становится неэффективным. Возникает необходимость использования метода, позволяющего достаточно быстро найти оптимальное решение. В данном случае эффективной была бы методика поиска, позволяющая целенаправленно «развивать» группу случайно выбранных возможных решений с получением в результате некоторого оптимального решения задачи. Подобным образом действуют эволюционные алгоритмы [6]. Они функционируют по аналогии с законами эволюции в природных системах, реализуя механизмы изменчивости и отбора. Одной из разновидностей эволюционных алгоритмов являются генетические алгоритмы, которые моделируют развитие биологических популяций организмов в течение нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора. В биологических популяциях особи ведут конкурентную борьбу за существование. Наиболее приспособленные к окружающим условиям особи имеют больше шансов воспроизвести потомство. Слабые особи либо совсем не производят потомства, либо их потомство немногочисленно. Благодаря этому признаки наиболее приспособленных особей распространяются в увеличивающемся количестве потомков на каждом последующем поколении. Комбинация признаков от двух сильных родителей может приводить к появлению потомка, чья приспособленность будет лучше, чем приспособленность любого из его родителей. Так популяция развивается, всё более и более приспособляясь к окружающей среде.

Генетические алгоритмы работают с совокупностью особей (популяцией), каждая из которых представляет собой возможное решение проблемы. Каждая особь оценивается мерой приспособленности, т.е. насколько хорошо соответствующее ей решение. Наиболее «приспособленные» особи скрещиваются, что приводит к появлению потомков, которые несут в себе некоторые признаки, наследуемые от родителей. Наименее приспособленные особи с меньшей вероятностью могут воспроизводить потомков, и соответствующие им свойства будут исчезать из популяции в ходе эволюции. Таким образом, наилучшие характеристики будут из поколения в поколение всё больше распространяться в популяции, и в определенный момент популяция сойдется к некоторому оптимальному решению задачи.

В задаче оптимизации эвакуации из здания каждому возможному варианту решения будет соответствовать некоторая особь. Плану эвакуации, представленному на рис.2, будет соответствовать следующая особь:

$$\begin{array}{cccccccccccccccc} \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \text{каб.303} & \text{каб.319а} & \text{каб.319} & \text{каб.304} & \text{каб.318} & \text{каб.305} & \text{каб.306} & \text{каб.317} & \text{каб.307} & \text{каб.316} & \text{каб.308} & \text{каб.315} & \text{каб.309} & \text{каб.314} & \text{каб.313} \end{array}$$

Здесь 0 или 1 означает правый или левый лестничный марш, по которому должны эвакуироваться люди из соответствующего помещения на улицу. Приспособленность каждой особи определяется при помощи функции (8).

Расчетное время эвакуации через j -й выход определяется как сумма времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле

$$t_{pj} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (9)$$

где t_1 – время движения людского потока на начальном участке; t_2, t_3, \dots, t_i – время движения людского потока на каждом из следующих после начального участка пути.

Время движения людского потока по каждому участку пути вычисляется по формуле

$$t_i = \frac{l_i}{V_i}, \quad (10)$$

где l_i – длина i -го участка пути; V_i – значение скорости движения людского потока на i -м участке пути, определяемое как функция от интенсивности движения по табл. 2.1 [2]

$$q_i = f(D_i), \quad \text{если } q_i \neq 0. \quad (11)$$

Если $q_i > q_{\max}$, где q_{\max} – максимально возможная интенсивность людского потока на i -м участке пути (определяется по табл. 2.1 [2]), то на i -м участке из-за образования скоплений будут задержки. Продолжительность задержки определяется по формуле В.М. Предтеченского [3]

$$t_i^3 = Nf \left(\frac{1}{q_{\text{пред}} \delta_i} - \frac{1}{q_{i-1} \delta_{i-1}} \right), \quad (12)$$

где t_i^3 – время задержки на i -м участке; N – количество эвакуирующихся; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека; $q_{\text{пред}}$ – предельное значение интенсивности; q_{i-1} – интенсивность движения на предыдущем участке; δ_i, δ_{i-1} – ширина предыдущего и последующего участков.

В каждом поколении отбираются наиболее «приспособленные» особи (те решения, для которых функция ψ имеет наименьшее значение). Выбранные особи скрещиваются, в результате чего получают новые особи, которые переходят в следующее поколение.

В качестве условия останова можно использовать ограничение на максимальное число итераций функционирования алгоритма, или определение сходимости алгоритма, путем сравнения приспособленности популяции на нескольких итерациях и остановке при стабилизации данного параметра.

Поставленная задача эффективно решается генетическими алгоритмами. Оптимизация эвакуации из здания, план которого представлен на рис. 2, а, методом полного перебора дает решение с общим временем эвакуации 1835 с. Оптимизация эвакуации генетическими алгоритмами при тех же начальных условиях дает решение с полным временем эвакуации 1845 с. В данном случае оптимизация генетическими алгоритмами дала приемлемое решение за значительно меньшее время, чем оптимизация методом полного перебора.

Заключение

Проведено моделирование движения людских потоков при помощи сетей Петри. Определены общее время эвакуации и время существования скопления людей. Результаты моделирования приведены в таблице и на рис. 3. Кроме того, представлено сравнение результатов оптимизации эвакуации методом полного перебора и эволюционными алгоритмами, доказавшее высокую эффективность последних для решения поставленной задачи

ЛИТЕРАТУРА

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
2. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1996. 83 с.
3. Предтеченский В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. М.: Стройиздат, 1979. 374 с.
4. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... доктора техн. наук / В.В. Холщевников. М., 1983. 429 с.
5. Самошин Д.А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы / Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. 2004. № 1. С. 4-30.
6. Популярно о генетических алгоритмах. <http://www.algolist.ncstu.ru/ai/ga/ga1.php>

Егоров Алексей Александрович –
аспирант кафедры «Системотехника»
Саратовского государственного технического университета

Митяшин Никита Петрович –
доктор технических наук, профессор кафедры «Системотехника»
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 18.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 662.7

Г.В. Антропов, И.В. Трушина

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ

В котловой воде протекают сложные физико-химические процессы, в результате которых происходит выпадение твердой фазы как на внутренних поверхностях труб котла, так и в толще котловой воды. Одна из перспектив для предотвращения накипеобразования – применение ультразвука. Результаты испытаний ультразвуковой установки «Волна» показали надежность и эффективность ее применения в котельных.

G.V. Antropov, I.V. Trushina

ULTRASOUND APPLICATION IN SCALE FORMATION PREVENTION

There are complicated physicochemical processes in boiler water. And as a result hard faze falling out happens from inside surfaces of boiler tubes and in thickness of boiler water. One of prospects for prevention of scale formation is application of ultrasound. The results of tests of ultrasound installation «Wave» demonstrated the reliability and efficiency of this application in boiler rooms.

В котловой воде протекают сложные физико-химические процессы, в результате которых происходит выпадение твердой фазы как на внутренних поверхностях труб котла, так и в толще котловой воды. В первом случае такое выпадение осадка называют первичным процессом накипеобразования, в результате которого образуются твердые, прочно пристающие к металлу отложения. Во втором случае осадок не связан со стенкой трубы и находится в толще воды в виде взвешенных частиц – шлама. В дальнейшем шлам либо превращается в рыхлую массу, которая не прикипает к поверхности труб и выводится из котла продувкой, либо прикипает к поверхности труб, образуя вторичные отложения.

Причиной выпадения твердой фазы из котловой воды может быть: реакция между различными веществами, находящимися в воде; понижение растворимости некоторых солей с повышением температуры; повышение концентрации солей при кипении воды.

Образующиеся отложения накипи, независимо от ее химического состава, имеют низкий коэффициент теплопроводности, поэтому даже очень тонкий слой накипи приводит к

резкому увеличению температуры стенки, ее перегреву, появлению на трубах вздутий, трещин и их разрыву, что значительно сокращает межремонтные сроки, увеличивает затраты на обслуживание и ремонт.

Наличие накипи снижает КПД котла и приводит к значительному перерасходу топлива. По данным Всероссийского теплотехнического института (ВТИ), слой накипи толщиной 3 мм приводит к перерасходу топлива на 5,5%.

Большое количество промышленных и коммунальных котельных используют воду, не проходящую химическую обработку, или воду низкого качества. Такие котлы ежегодно по окончании отопительного сезона проходят очистку механическим или химическим способами, которые отличаются высокой трудоемкостью и опасностью повреждения металла поверхностей нагрева. В период между чистками накипь образуется вновь, что опять приводит к перерасходу топлива и увеличению эксплуатационных затрат.

В последние годы, наряду с химическими, находят применение безреагентные методы предотвращения накипеобразования, в частности, ультразвуковой. Ультразвуковой метод не требует значительных затрат, имеет невысокую трудоемкость и не вызывает загрязнения окружающей среды.

Сущность метода заключается в том, что в массу металла котла или теплообменника вводятся ультразвуковые колебания, которые воздействуют на поверхности нагрева и создают знакопеременные механические усилия, разрушающие связи внутри накипи, а также между накипью и металлом, образуя трещины в толще накипи. Вода, проникающая в трещины, испаряется, а пар вспучивает накипь и способствует ее отслоению от поверхности металла. Кроме этого, нарушается процесс кристаллизации в пристенном слое и ультразвук оказывает дробящее действие на кристаллы накипи, выделившиеся в массе воды.

Кафедрой «Котельные установки и теплофикация» (СГТУ), НПП «Агроприбор» (г. Пенза), предприятием «Системы технического надзора» (г. Саратов) были проведены исследования и получены результаты практического использования ультразвуковой установки «Волна» [1, 2] на котлах ДКВР-10-13 и котлах Е-1/9.

Ультразвуковая установка «Волна» конструктивно представляет собой генератор импульсов в комплекте с двумя магнитострикционными преобразователями. Количество преобразователей и точки их расположения выбираются с учетом конструкции котла, его мощности и среднего количества накипи за сезон эксплуатации котла.

При первоначальном осмотре котлов толщина накипи в экранных трубах составляла 3 мм, а в трубах испарительного конвективного пучка 1 мм.

Проверенные замеры амплитуды колебаний в местах приварки преобразователей на барабанах и коллекторах показали, что эти значения находятся в диапазоне 3,2...3,5 мкм, и соответствуют техническим данным установки «Волна». Амплитуды колебаний по сечениям верхнего барабана лежат в диапазоне 0,5...0,02 мкм, по сечениям нижнего барабана – в диапазоне 0,34...0,1 мкм. Амплитуды колебаний по трубам бокового топчного экрана – от 0,021 до 0,01 мкм (в сечении выхода труб из обмуровки) и от 0,043 до 0,01 мкм в сечении на высоте 1,5 м от пода. Амплитуды колебаний в сечении труб заднего экрана (котел ДКВР-10-13, сечение на высоте 1,5 м от пода) лежат в диапазоне 0,032...0,065 мкм.

Через месяц эксплуатации котлы были осмотрены. Установлено, что отложения накипи стали рыхлыми и носят очаговый характер. Примерно через три месяца непрерывной работы котла и установки «Волна» ранее образовавшаяся накипь под действием ультразвука отслоилась в виде рыхлого шлама и небольших чешуек. Новая накипь, как правило, не образуется. Удаление из котлов выделяющегося шлама осуществляется периодическими продувками в дренаж, а при останове котла для профилактического осмотра – промывкой струей воды.

Таким образом, результаты испытаний показали соответствие рабочих технических характеристик установки «Волна» паспортным данным, подтвердили устойчивую работу

установок, более низкую стоимость этого метода по сравнению с механической и химической очисткой котла, простоту и безопасность эксплуатации ультразвуковой установки «Волна».

Годовой экономический эффект от внедрения УЗК «Волна» за счет экономии топлива, снижения затрат на химреактивы, отсутствия затрат на химическую и механическую очистки котла, составляет на один котел ДКВР-10-13 примерно 80 млн. рублей.

Выводы

1. Наличие накипи снижает КПД котла и приводит к значительному перерасходу топлива. Результаты испытаний показали соответствие рабочих технических характеристик установки «Волна» паспортным данным, подтвердили устойчивую работу установок, более низкую стоимость этого метода по сравнению с механической и химической очистками котла, простоту и безопасность эксплуатации ультразвуковой установки «Волна».

2. Годовой экономический эффект от внедрения УЗК «Волна» за счет экономии топлива, снижения затрат на химреактивы, отсутствия затрат на химическую и механическую очистки котла, составляет на один котел ДКВР-10-13 примерно 80 млн. рублей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2005562. Установка ультразвуковая «Волна». Изготовитель: научно-производственное предприятие «Агроприбор», г. Пенза.

2. Лицензия на право серийного производства ультразвуковых установок «Волна», на монтажные и пусконаладочные работы ультразвуковых установок «Волна». Рег. № 58 Пз12ММ99/2630.

Антропов Георгий Васильевич –

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

Трушина Ирина Викторовна –

старший специалист 2-го разряда
Управления по технологическому и экологическому надзору
Ростехнадзора по Саратовской области

Статья поступила в редакцию 22.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 621.311:621.56

А.М. Клер, Э.А. Тюрина, В.В. Степанов

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК КОМБИНИРОВАННОГО ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ГЕЛИЯ

Рассматриваются вопросы математического моделирования и оптимизационных исследований энерготехнологических установок комбинированного получения сжиженного природного газа и электроэнергии с извлечением гелия.

A.M. Kler, E.A. Tyurina, V.V. Stepanov

**COMPREHENSIVE STUDIES OF ENERGY TECHNOLOGY INSTALLATIONS
FOR COMBINED PRODUCTION OF LIQUEFIED NATURAL GAS
AND ELECTRIC ENERGY WITH HELIUM EXTRACTION**

The paper addresses the problems of mathematical modeling and optimization studies of energy technology installations for combined production of liquefied natural gas and electricity with helium extraction.

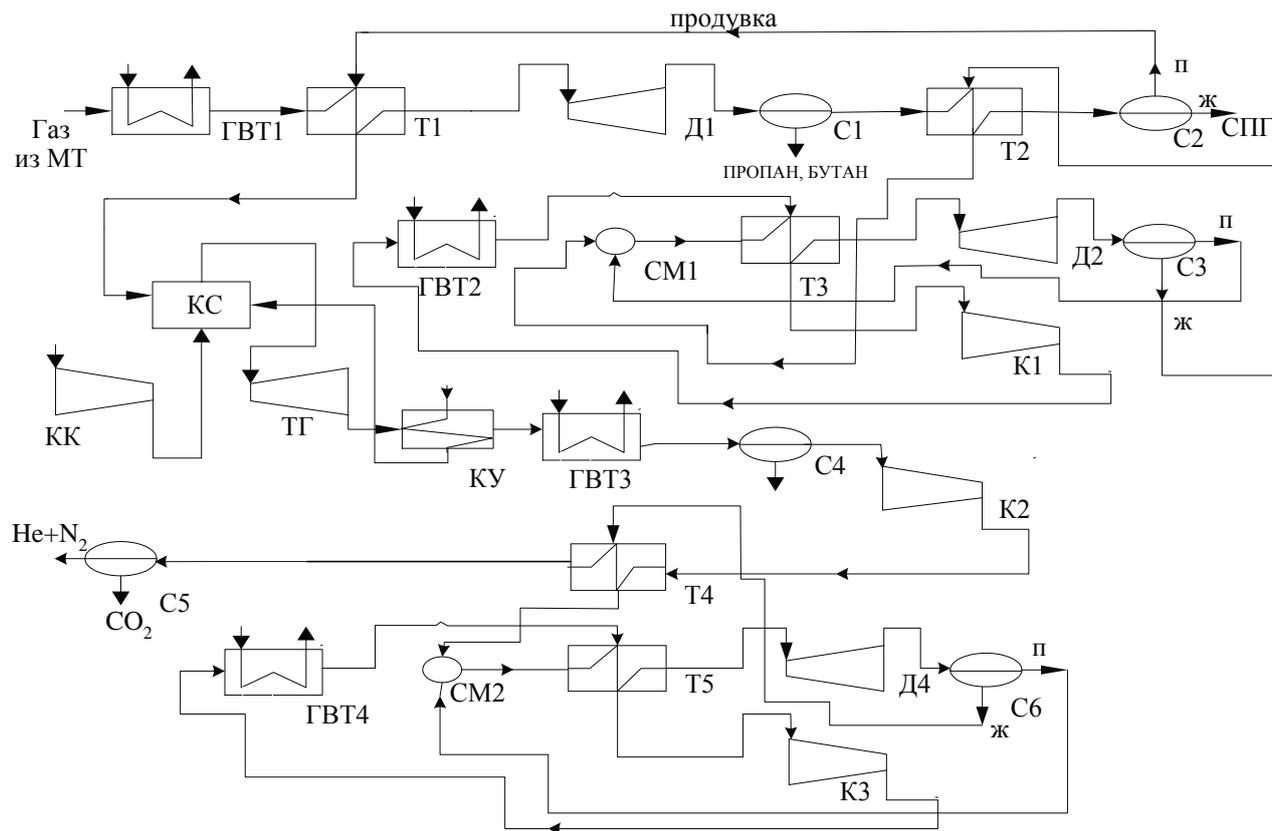
Гелий является важной основой для многих направлений высокотехнологичных производств. Растущую потребность в этом сырье испытывают наиболее развитые страны мира [12, 13].

Все российские месторождения с содержанием гелия более 0,2% (экономически оправданным для извлечения) находятся преимущественно в Восточной Сибири, поэтому на базе месторождений Иркутской области, Красноярского края и республики Саха Россия в первой четверти XXI века вполне может стать крупнейшим производителем и экспортером гелия. По оценкам специалистов, возможно наращивание добычи гелия в Восточной Сибири до 140 млн. м³ к 2020 году и до 150 млн.м³ к 2030 г. [6].

При освоении газовых ресурсов Сибирской платформы целесообразно создание мощностей по отделению гелия и других ценных продуктов, их переработки с целью последующей транспортировки в другие регионы страны и на экспорт.

1. Технологическая схема ЭТУ. Установки получения сжиженного природного газа (СПГ) характеризуются значительным потреблением механической и электрической энергии на собственные нужды. Поэтому представляется эффективным комбинирование в одной энерготехнологической установке (ЭТУ) процессов получения СПГ и электроэнергии. Такое комбинирование дает возможность покрытия собственных нужд, при необходимости - производства дополнительной электроэнергии, а также утилизации для производства электроэнергии несконденсировавшихся газов с последней ступени сепарации, так называемой продувки, которая необходима для удаления из холодильного цикла балластных газов (азота, гелия). Последнее обстоятельство повышает перспективы эффективного извлечения из газов продувки гелия, поскольку ее объем незначителен и может в пределе сводиться к объему, необходимому для производства электроэнергии для удовлетворения собственных нужд.

На основе прежнего опыта моделирования и расчёта технологических схем получения СПГ, а также анализа последних исследований криогенных технологий, была разработана перспективная технологическая схема ЭТУ комбинированного производства СПГ и электроэнергии с извлечением гелия с четырьмя ступенями охлаждения в цикле ожижения природного газа (ПГ) и с тремя ступенями – для извлечения гелиевого концентрата из продуктов сгорания [5, 7]. Упрощенная технологическая схема такой установки представлена на рисунке. В схеме для выработки электроэнергии из продувочного газа применяется установка комбинированного цикла ПГУ–STIG с впрыском пара, получаемого в котле-утилизаторе, в камеру сгорания и использованием кислородного дутья. Данные обстоятельства позволяют сократить объем продуктов сгорания и избежать поступления азота из воздуха в продукты сгорания, что существенно снижает энергетические и материальные затраты на извлечение гелия. Продукты сгорания, образующиеся после камеры сгорания, состоят из двуокиси углерода, следов кислорода, азота, содержащегося в исходном природном газе, и гелия. Таким образом, для получения гелиевого концентрата из продуктов сгорания в разработанной схеме необходимо удалить CO₂. Для ожижения двуокиси углерода используется азот внешнего холодильного цикла. Двуокись углерода в сжиженном виде отводится из сепаратора С5, гелиевый концентрат в паре поступает на выход установки.



Упрощенная технологическая схема установки сжижения ПГ и получения гелия:
 МТ – магистральный трубопровод; Т1 – группа регенеративных охладителей ПГ (предварительное охлаждение); Т2 – группа охладителей на внешнем хладагенте;
 Т3 – группа охладителей азотного холодильного цикла; Д1 – турбодетандер;
 С1-С4 – сепараторы-отделители жидкой фазы; ТГ – газовая турбина на продуктах сгорания;
 КС – камера сгорания; КК – кислородный компрессор для нагнетания кислорода в КС;
 ГВТ1 – газовойодяной теплообменник для предварительного охлаждения ПГ;
 ГВТ2 – газовойодяной теплообменник азотного холодильного цикла;
 ГВТ3 – газовойодяной теплообменник на продуктах сгорания;
 КУ – котел-утилизатор на продуктах сгорания для получения пара требуемых параметров;
 К1 – компрессор азотного холодильного цикла; К2 – компрессор на продуктах сгорания

На первой ступени охлаждения природного газа (в сепараторе С1) из установки отбираются легкоожижаемые компоненты (бутан, пропан), так называемые сжиженные углеводородные газы. В разработанной расчетной схеме они являются целевыми продуктами. Часть газа (так называемая продуквка) в паре с последней ступени получения СПГ (сепаратор С2) поступает на первую ступень для регенерации холода в системе теплообменников Т1, где испаряется, и идет далее в камеру сгорания газовой турбины, СПГ идёт на реализацию. Для сжижения ПГ применяется азотный холодильный цикл с детандерами и регенерацией холода.

ЭТУ комбинированного получения СПГ, электроэнергии и выделения гелиевого концентрата являются многоцелевыми комплексными техническими системами. Описание процессов, происходящих в их элементах, характеризуется высокой сложностью, что обусловлено, в первую очередь, необходимостью расчёта свойств ПГ с учётом фазового состояния входящих в него компонентов. При расчётах элементов технологических схем ЭТУ сжижения ПГ возникает необходимость в определении термодинамически равновесного состава многокомпонентных парожидкостных смесей. Точность и скорость нахождения такого со-

става в значительной мере определяют точность и скорость расчётов указанных систем в целом. Как показал опыт исследований, определение равновесного состава многокомпонентных парожидкостных смесей является достаточно сложной задачей и требует специального подхода к ее решению. Поэтому возникла необходимость разработки эффективного (быстродействующего и устойчиво работающего) метода определения термодинамически равновесного состава многокомпонентных парожидкостных смесей.

2. Эффективный метод определения термодинамически равновесного состава многокомпонентных парожидкостных смесей

Нахождение равновесного состава многокомпонентных парожидкостных систем осложняется тем, что отдельные вещества, входящие в эти системы, могут находиться в существенно различающихся состояниях: близком к состоянию идеального газа; близком к критическому состоянию; закритическом состоянии; с совместным существованием как паровой, так и жидкой фаз; с существованием только паровой фазы.

С математической точки зрения, расчёт равновесного фазового состояния многокомпонентных парожидкостных систем сводится к минимизации функции Гиббса с учётом ограничений–равенств по материальному балансу, ограничений–неравенств, требующих неотрицательности масс отдельных фаз, логических условий, определяющих область, в которой ищется решение (докритическая, закритическая, с возможностью совместного существования жидкой и паровой фаз, только паровой фазы).

$$\min_{x^g \in X^{kp} \cup X^{nac}} G(x^g, T, P), \quad (1)$$

$$x_i^g = x_i^g + x_i^{lc}, \quad (2)$$

$$x_i^g \geq 0, x_i^{lc} \geq 0, \quad i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Здесь x^g – вектор расходов компонентов смеси в газовой фазе; x_i^g – суммарный расход i -го компонента смеси; x_i^g – расход i -го компонента в газовой фазе; x_i^{lc} – расход i -го компонента в жидкой фазе; T, P – температура и давление парожидкостной смеси; N – число компонентов парожидкостной смеси. Множества X^{kp} и X^{nac} отвечают условиям:

а) $x^g \in X^{kp}$, если для всех i , для которых выполняется условие $T > T_i^{kp}$, имеет место равенство $x_i^g = x_i^g, x_i^{lc} = 0$;

б) $x^g \in X^{nac}$, если для всех i , для которых выполняется условие $T > T_i^{nac}$, имеет место равенство $x_i^g = x_i^g, x_i^{lc} = 0$. Здесь T_i^{nac} – температура насыщения i -го компонента при заданном давлении смеси, T_i^{kp} – критическая температура i -го компонента.

Функция Гиббса системы может быть представлена в виде суммы функций Гиббса для отдельных компонентов смеси

$$G = \sum_{i=1, N} G_i,$$

$$G_i = H_i^g(T, P_i) \cdot x_i^g + H_i^{lc}(T, P) \cdot x_i^{lc} - T(S_i^g(T, P_i) \cdot x_i^g + S_i^{lc}(T, P) \cdot x_i^{lc}), \quad (4)$$

где P_i – парциальное давление i -го компонента; H_i^g, H_i^{lc} – энтальпии i -го компонента смеси в газовой и жидкой фазах; S_i^g, S_i^{lc} – энтропии i -го компонента смеси в газовой и жидкой фазах.

Парциальное давление газа определяется выражением

$$P_i = P \cdot \frac{x_i^g / \mu_i}{\sum_{j=1}^N x_j^g / \mu_j}, \quad (5)$$

где μ_i – молекулярная масса i -го компонента.

С учётом (4) и (2) G_i определяется как

$$G_i = H_i^c(T, P_i) \cdot x_i^c + (x_i^c - x_i^s) \cdot H_i^{жс}(T, P) - T(S_i^c(T, P_i) \cdot x_i^c + S_i^{жс}(T, P) \cdot (x_i^c - x_i^s)). \quad (6)$$

Отметим, что

$$\sum_{j=1}^N x_j^c / \mu_j = Q_\Sigma^c, \quad (7)$$

где Q_Σ^c – суммарное количество молей в системе, находящихся в газовой фазе. Если бы Q_Σ^c в точке решения задачи (1)-(6) было заранее известно, то решение этой экстремальной N -мерной задачи распалось бы на решение N независимых одномерных экстремальных задач вида

$$\min_{x_i^c \in X^{гп} \cup X^{нас}} \bar{G}_i \quad (8)$$

при условиях

$$P_i = \frac{x_i^c / \mu_i}{Q_\Sigma^c} \cdot P, \quad x_i^c \geq x_i^s \geq 0. \quad (9)$$

Пусть при решении N задач (8)-(9) с Q_Σ^c , равном \tilde{Q}_Σ^c , выполняется условие

$$\tilde{Q}_\Sigma^c = \sum_{j=1}^N \tilde{x}_j^c / \mu_j, \quad (10)$$

где \tilde{x}_j^c – решение j -й задачи (8)-(9). Очевидно, что \tilde{x}_j^c является решением исходной задачи (1)-(6).

Указанные особенности позволяют организовать двухуровневый (двухэтапный) алгоритм решения задачи(1)-(6). На верхнем уровне ищется Q_Σ^c , отвечающее условию (7), а на нижнем уровне решаются задачи (8)-(9). При этом они решаются для каждого рассматриваемого значения Q_Σ^c .

Обозначим x_j^c , являющееся результатом решения j -й одномерной задачи (8)-(10) при заданном Q_Σ^c , через $x_j^c(Q_\Sigma^c)$. На каждом шаге верхнего уровня решения задачи (1)-(6) определяется невязка

$$\delta(Q_\Sigma^c) = \sum_{j=1}^N x_j^c(Q_\Sigma^c) / \mu_j - \tilde{Q}_\Sigma^c. \quad (11)$$

Анализ знака δ позволяет с учётом вида зависимости (11) определить, больше или меньше заданное значение Q_Σ^c , чем искомое решение \tilde{Q}_Σ^c . Если $\delta > 0$, то $Q_\Sigma^c < \tilde{Q}_\Sigma^c$, а если $\delta < 0$, то $Q_\Sigma^c > \tilde{Q}_\Sigma^c$.

Учет указанных условий позволяет на верхнем уровне (для поиска точки, в которой $\delta=0$) использовать сочетание метода половинного деления и метода хорд, что обеспечивает как устойчивость процесса поиска \tilde{Q}_Σ^c , так и его хорошую сходимость.

На нижнем уровне для поиска решения задачи (8)-(9) используется производная функции \bar{G}_i по x_i^c

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{G}_i}{dx_i^c} = & H_i^c(T, P_i) - H_i^{жс}(T, P) - \frac{\partial H_i^c(T, P_i)}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial x_i^c} \cdot x_i^c - T \cdot S_i^c(T, P_i) + \\ & + T \cdot S_i^{жс}(T, P) + T \cdot \frac{\partial S_i^c(T, P_i)}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial x_i^c} \cdot x_i^c. \end{aligned} \quad (12)$$

Частные производные $\frac{\partial H_i^c}{\partial P_i}$ и $\frac{\partial S_i^c}{\partial P_i}$ определяются конечно-разностным способом, а частная производная $\frac{\partial P_i}{\partial x_i^c}$ – на основе уравнения (9).

Для поиска минимума функции Гиббса \bar{G}_i используется сочетание методов половинного деления и хорд, так же как и на верхнем уровне. При этом учитывается, что в силу выпуклости функций $\bar{G}_i(x_i^c)$, если $\frac{d\bar{G}_i(x_i^c)}{dx_i^c} < 0$, то $x_i^c < \tilde{x}_i^c$, и, если $\frac{d\bar{G}_i(x_i^c)}{dx_i^c} > 0$, то $x_i^c > \tilde{x}_i^c$.

Помимо задачи поиска равновесия при T и P в практических расчётах часто возникают задачи поиска равновесия при заданных давлении и суммарных энтальпии или энтропии. Этот поиск осуществляется с использованием (в итерационном процессе) алгоритма расчёта равновесия при заданных T и P . Обозначим через $T_{тек}$ – текущее (на очередной итерации поиска) значение температуры газовой смеси, через $H_{тек}$ и $S_{тек}$ – текущие значения энтальпии и энтропии. Через \tilde{H} и \tilde{S} обозначим заданные значения энтальпии и энтропии, а через \tilde{T} – искомую температуру, при которой достигаются эти значения. Поиск \tilde{T} основывается на условиях:

- а) если $H_{тек} > \tilde{H}$, то $T_{тек} > \tilde{T}$;
- б) если $H_{тек} < \tilde{H}$, то $T_{тек} < \tilde{T}$;
- в) если $S_{тек} > \tilde{S}$, то $T_{тек} > \tilde{T}$;
- г) если $S_{тек} < \tilde{S}$, то $T_{тек} < \tilde{T}$.

Если в результате поиска (основанного на сочетании методов половинного деления и метода хорд) найдется такое $T_{тек}$, что

$$|H_{тек} - \tilde{H}| \leq \varepsilon_n, \quad (13)$$

то принимается, что $\tilde{T} = T_{тек}$, а $\tilde{x}^c = x_{тек}^c$, где \tilde{x}^c – искомый равновесный состав компонентов смеси в газовой фазе, $x_{тек}^c$ – равновесный газовый состав при температуре $T_{тек}$.

Следует отметить, что температура $T_{тек}$, для которой выполняется условие (14), не всегда может быть найдена. Например, если для чистого вещества его \tilde{H} соответствует энтальпии пара с влажностью 50%, то при любой более высокой температуре $H_{тек}$ будет выше на конечную величину заданной энтальпии, а при любой более низкой температуре – ниже на конечную величину. Однако, если найти две температуры, отвечающие условиям $|T_2 - T_1| \leq \varepsilon_n$, $H_2 > \tilde{H}$, $H_1 < \tilde{H}$, где H_1 и H_2 – суммарные энтальпии, соответствующие температурам T_1 и T_2 , то \tilde{x}^c и \tilde{S} могут быть определены из соотношений

$$\tilde{x}^c = x_1^c \cdot \left(1 - \frac{\tilde{H} - H_1}{H_2 - H_1}\right) + x_2^c \cdot \frac{\tilde{H} - H_1}{H_2 - H_1}, \quad (14)$$

$$S = S_1 \cdot \left(1 - \frac{\tilde{H} - H_1}{H_2 - H_1}\right) + S_2 \cdot \frac{\tilde{H} - H_1}{H_2 - H_1}. \quad (15)$$

Аналогичным образом определяется \tilde{H} при заданном \tilde{S} .

Следует отметить, что математические модели всех входящих в ЭТУ элементов, в расчетах которых требуется нахождение термодинамического равновесия парожидкостных многокомпонентных смесей, построены с использованием вышеописанного подхода.

3. Математическое моделирование ЭТУ. Целью расчёта технологических схем ЭТУ получения СПГ и производства электроэнергии с извлечением гелия является определение

термодинамических параметров и расходов рабочих тел и теплоносителей в различных элементах (аппаратах) схемы, состава всех компонентов рабочих тел и теплоносителей в жидкости и паре, мощностей детандеров, компрессоров, площадей теплообменников, других конструктивных характеристик элементов и их стоимостей, энергозатрат, суммарных капиталовложений и критериев экономической эффективности такого производства. Проведение указанных расчётов в объёме, необходимом для принятия рациональных предпроектных решений по параметрам и структуре схем, становится возможным с использованием их математических моделей. Построение математических моделей отдельных элементов ЭТУ получения СПГ, производства электроэнергии, извлечения гелиевого концентрата и установки в целом, проведение оптимизационных технико-экономических исследований на математических моделях ЭТУ являются основными задачами работы.

При построении математической модели ЭТУ были разработаны модели входящих в нее элементов: регенеративных теплообменников, конденсаторов (испарителей), компрессоров, сепараторов, дросселей, турбодетандеров, газодводяных теплообменников, газовой турбины и др. Математические модели элементов позволяют вести расчёт схем для ПГ различных газоконденсатных месторождений.

В математических моделях теплообменников-охладителей ПГ охлаждающей средой является жидкий азот или компоненты природного газа с последующих ступеней охлаждения. Охлаждаемый поток – природный газ (азот в охладителе азотного цикла). В моделях обеспечивается расчет энтальпии и температуры нагреваемой среды на выходе из теплообменника, выходных давлений нагреваемой и охлаждаемой сред, количества в паре и жидкости для всех компонентов потоков, конструктивных характеристик (площади поверхности теплообменника, веса металла) и др. Расчет теплообменника основан на методиках, изложенных в работах [1, 3]. Исходными данными для моделей охладителей служат расход и состав охлаждаемого газа, его входное давление, входная и выходная энтальпии, состав, расход и энтальпия нагреваемого теплоносителя и его входное давление. Кроме того, задаются массовые скорости охлаждающей и охлаждаемой сред, конструктивные характеристики (диаметры труб, продольный и поперечный шаги труб, коэффициент, учитывающий потери тепла, коэффициент неравномерности восприятия тепла по стенке и т.д.). Для увеличения точности расчетов диапазон между входной и выходной энтальпиями охлаждаемого потока разбивается на значительное число участков (до 10 участков и более). Для расчета теплофизических и термодинамических свойств парожидкостной смеси на участке в качестве расчетной принимается средняя между входной и выходной энтальпиями, за расчетное давление – среднее между входным и выходным. Итерационно уточняемыми переменными являются перепады давлений по тракту нагреваемого и охлаждаемого потоков.

В моделях турбодетандеров (компрессоров), газовых турбин проводится расчет процесса изоэнтропийного расширения или сжатия рабочего тела с учетом поправок на неидеальность, определяются полезная или потребляемая мощность, выходные энтальпия и температура рабочего тела, покомпонентный расход в жидкости и паре на каждой ступени расширения или сжатия. При этом задаются адиабатный и механический КПД, выходное давление рабочего тела.

Модель камеры сгорания газовой турбины на парокислородном дутье предназначена для определения состава продуктов сгорания при заданных: расходе, составе, давлении и температуре продувочного газа, температуре продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания, температуре и коэффициенте избытка кислорода, доле потерь тепла от химического недожога. Она включает уравнения теплового и материального (по отдельным химическим элементам) балансов.

Модель смесителя предназначается для определения выходной температуры после смешения двух потоков газов, жидкостей или двухфазной смеси, суммарного покомпонентного расхода и фазового состава выходящего потока.

Модель сепаратора служит для определения количества жидкой фазы, отводимой из парожидкостной смеси, энтальпий разделяемых потоков.

Необходимо отметить, что для определения термодинамических и теплофизических свойств всех компонентов природного газа в паровой и жидкой фазах (энтальпии, энтропии, удельного объема, вязкости, теплопроводности и др.) использованы расчетные методы [11]. В случаях, когда эти методы не дают удовлетворительных результатов, проводится интерполяция табличных значений [2].

В связи с тем, что при оптимизации параметров ЭТУ возникли вычислительные трудности, связанные с большим временем и точностью расчета систем уравнений, описывающих математические модели отдельных элементов криогенных установок, в настоящей работе используется новый подход к решению задачи оптимизации параметров схем ЭТУ с применением *адаптированных моделей* таких элементов, в частности теплообменников-охладителей. В первом оптимизационном расчете в такой модели используются зависимости, полученные в результате линеаризации зависимостей выходных параметров от входных в исходной точке. На втором шаге в модель добавляется аналогичная линейная зависимость, полученная в оптимальной точке второго оптимизационного расчета, и т.д. Зависимость между входными и выходными параметрами модели в текущей точке определяется как линейная комбинация линеаризаций в базовых точках с коэффициентами, определяемыми специальной функцией «расстояния» между базовыми точками и текущей точкой. За несколько шагов такого расчета получается достаточно хорошая зависимость выходных параметров модели теплообменников от входных. Кроме того, эта модель не создает погрешностей, обусловленных итерационными методами решения больших систем нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений, и хорошо совпадает с точной моделью вблизи решения точной задачи оптимизации.

Математическая модель установки в целом была разработана на базе математических моделей отдельных элементов ЭТУ, она ориентирована на конструкторский расчёт элементов (включает 375 входных, 478 выходных и 8 итерационно-уточняемых параметров).

4. Оптимизационные исследования ЭТУ. Целью оптимизационных исследований на математических моделях ЭТУ получения гелиевого концентрата является определение оптимальных технико-экономических параметров ЭТУ комбинированного производства СПГ, электроэнергии с выделением гелия в принятом допустимом диапазоне изменения их параметров при минимальных затратах в получение гелиевого концентрата.

Оптимизация проводилась по критерию минимума цены гелия при заданных значениях внутренней нормы возврата капиталовложений, цены СПГ и цены на производимую электроэнергию. В формализованном виде задача оптимизации параметров ЭТУ имеет вид

$$\min C_{He}(K_{ЭТУ}, U_{пг}^{год}, U_{N_2}^{год}, \mathcal{E}^{год}, П_{спг}^{год}, x, y) \quad (16)$$

при условиях

$$H(x, y) = 0, \quad (17)$$

$$G(x, y) \geq 0, \quad (18)$$

$$\underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \quad (19)$$

$$IRR(K_{ЭТУ}, U_{пг}^{год}, U_{N_2}^{год}, \mathcal{E}^{год}, П_{спг}^{год}, x, y) = IRR_Z, \quad (20)$$

$$C_{спг} = C_Z. \quad (21)$$

Здесь $K_{ЭТУ}$ – капиталовложения в энерготехнологическую установку; $U_{пг}^{год}$ – цена ПГ на входе в установку; $U_{N_2}^{год}$ – цена азота внешнего холодильного цикла; $\mathcal{E}^{год}$ – выручка от продажи электроэнергии; $П_{спг}^{год}$ – прибыль от продажи СПГ; H – векторная m -мерная функция

ограничений-равенств конструкторского расчета; x – вектор независимых оптимизируемых параметров, определяющих конструктивные характеристики установки; y – m -мерный вектор вычисляемых параметров при конструкторском расчете (включает термодинамические параметры и расходы рабочих тел в различных элементах технологической схемы ЭТУ, а также конструктивные характеристики); G – l -мерная векторная функция ограничений-неравенств при конструкторском расчете; \underline{x} и \bar{x} – векторы, задающие интервалы определения оптимизируемых параметров; IRR_Z – заданная внутренняя норма возврата капиталовложений; C_{He} – стоимость производства гелия; C_z – определенная в результате оптимизационных исследований ЭТУ производства СПГ без извлечения гелия стоимость производства СПГ в равных условиях функционирования рассматриваемых установок.

Всего в задаче оптимизировалось 23 параметра технологической схемы (давление газа на выходе компрессора азота, изменение энтальпий холодных потоков в теплообменниках-охладителях, расход внешнего азота, перепады давлений в детандерах и компрессорах и др.). Система ограничений включает условия на неотрицательность конечных температурных напоров теплообменников, неотрицательность перепадов давлений вдоль проточной части детандеров, компрессоров, газовых турбин, ограничения на расчетные температуры и механические напряжения металла труб теплообменников, на минимальную и максимальную долю природного газа, поступающего на выработку электроэнергии, а также на предельно допустимую степень расширения или сжатия в отсеках детандеров или компрессоров и т.д. (120 ограничений).

Основная исходная информация выбрана в результате анализа существующих стоимостных характеристик материалов и оборудования, смет энергетических и технологических объектов с распределением затрат по различным статьям [4, 5, 8-10]. Все варианты рассчитывались при одинаковом расходе ПГ, равном 2,2 млрд. м³ в год (2,5 млн. т у. т./год). Цена природного газа принята равной 50 дол./тыс. м³, внутренняя норма возврата капиталовложений – 15%. Состав ПГ, который использовался в расчетах (%): CH₄ – 91,53; C₂H₆ – 3,51; C₃H₈ – 2,51; N₂ – 2,13; He – 0,31.

В исследованиях, проводимых ранее [5], рассматривалась технологическая схема комбинированного получения СПГ и электроэнергии без извлечения гелиевого концентрата. В работе было показано, что при принятых условиях функционирования (ценах на ПГ, электроэнергию, оборудование, заданной рентабельности) *цены на СПГ на выходе из ЭТУ лежат в диапазоне 95-115 дол./т у.т.* Эти цены на СПГ (при равной стоимости электроэнергии) являются базовыми при проведении оптимизационных исследований ЭТУ с извлечением гелия, так как они получены с использованием таких же математических моделей, уровней цен на оборудование, топливо и продукцию ЭТУ, как и в настоящих исследованиях.

Ниже приведены оптимальные значения оптимизируемых параметров, полученных в результате решения задач нелинейной оптимизации (обозначения элементов соответствуют рисунку).

1. Давление газа на выходе компрессора К1, МПа	14,2
2. Давление газа на выходе компрессора К2, МПа	0,52
3. Давление газа на выходе компрессора К3, МПа	9,1
4. Изменение энтальпии холодного потока в регенеративном теплообменнике Т1, кДж/кг	206,0
5. Массовая скорость холодного потока в регенеративном теплообменнике Т1, кг/(м ² с)	187,1
6. Изменение энтальпии холодного потока в регенеративном теплообменнике Т2, кДж/кг	190,5
7. Массовая скорость холодного потока в регенеративном теплообменнике Т2, кг/(м ² с)	148,7

8. Расход азота на входе регенеративного теплообменника Т3, кг/с	214,9
9. Изменение энтальпии холодного потока в регенеративном теплообменнике Т3, кДж/кг	167,0
10. Массовая скорость холодного потока в регенеративном теплообменнике Т3, $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$	38,9
11. Изменение энтальпии холодного потока в регенеративном теплообменнике Т4, кДж/кг	158,6
12. Массовая скорость холодного потока в регенеративном теплообменнике Т4, $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$	51,2
13. Расход азота на входе регенеративного теплообменника Т5, кг/с	154,9
14. Изменение энтальпии холодного потока в регенеративном теплообменнике Т5, кДж/кг	197,2
15. Массовая скорость холодного потока в регенеративном теплообменнике Т5, $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$	42,2
16. Перепад давления в турбодетандере Д1, МПа	4,82
17. Перепад давления в турбодетандере Д3, МПа	0,42
18. Температура продуктов сгорания на входе в газовую турбину, К	1482,2
19. Температура продуктов сгорания на выходе котла-утилизатора, К	412,0
20. Расход воды в котле-утилизаторе, кг/с	174,6
21. Энтальпия впрыскиваемой воды в камеру сгорания, кДж/кг	1426,2
22. Массовая скорость пара в теплообменных поверхностях котла-утилизатора, $\text{кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$	513,0
23. Продувка природного газа, поступающая на производство электроэнергии, кг/с (%)	14,0 (25)

Видно, что для ожижения CO_2 , содержащегося в продуктах сгорания, требуются значительно меньшие энергетические затраты, т.е. меньший расход азота в контуре (Т5, Д4, К3, ГВТ4), предназначенном для охлаждения продуктов сгорания в Т4, и меньшее давление на выходе компрессора К3 по сравнению со ступенями ожижения природного газа. Кроме того, в цикле ожижения CO_2 требуется незначительное повышение давления в компрессоре К2, в основном для преодоления гидравлического сопротивления потока продуктов сгорания по трактам системы теплообменников Т4.

Процесс сгорания продувки ПГ организован на кислородном дутье, чтобы не допустить попадания в камеру сгорания газовой турбины больших объемов трудноотделимого от гелия азота воздуха. Для поддержания приемлемого температурного уровня в камере сгорания необходимо подавать значительное количество пара. Поскольку этот пар образуется в котле-утилизаторе за счет тепла уходящих газов, его энтальпия имеет низкие значения.

В таблице представлены расходы компонентов природного газа и продуктов сгорания в паровой и жидкой фазах по сепараторам. Сепаратор С4 предназначен для отвода воды из продуктов сгорания и в таблице не указан.

Итоговые технико-экономические показатели ЭТУ получения СПГ и производства электроэнергии с извлечением гелия следующие (при цене на отпускаемую ЭТУ электроэнергию – 5 цент/кВт ч).

Мощность, МВт:	
– газовой турбины	305
– детандеров	56
– компрессоров азота	164
– кислородного компрессора	25
– полезная	172

Годовой расход ПГ:	
– условного, тыс. т у.т.	2500
– натурального, млн. м ³	2200
Годовое производство СПГ:	
– условного, тыс. т у.т.	1360
– натурального, тыс. т	820
Годовой отпуск электроэнергии, млн. кВт ч	1200
Годовой выход гелия, тыс. м ³	6308
Годовой выход жидкого СО ₂ , тыс. т	886
Капиталовложения в установку, млн. дол.	560
КПД установки эксергетический, %	65
Цена СПГ, дол./т у.т.	95
Цена гелиевого концентрата, дол./м ³	2,7

Расходы компонентов ПГ или продуктов сгорания
в паровой и жидкой фазах по сепараторам, кг/с

Элемент	Параметры (размерность)	Фазовое состояние	Компоненты парогазовой смеси					
			СН ₄	С ₂ Н ₆	С ₃ Н ₈	N ₂	СО ₂	He
С1	Расход, кг/с – 55,36	пар	45,92	4,06	4·10 ⁻⁵	1,39	-	0,05
	Давление, МПа – 2,7 Температура, К – 214,2	жидкость	1·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁵	3,94	-	-	-
С2	Расход, кг/с – 51,4	пар	13,99	0,005	-	1,39	-	0,05
	Давление, МПа – 2,7 Температура, К – 173,7	жидкость	31,93	4,06	4·10 ⁻⁵	-	-	-
С3	Расход, кг/с – 214,9	пар	-	-	-	120,7	-	-
	Давление, МПа – 0,2 Температура, К – 83,9	жидкость	-	-	-	94,2	-	-
С5	Расход, кг/с – 39,83	пар	-	-	-	1,39	6·10 ⁻⁴	0,05
	Давление, МПа – 0,1 Температура, К – 178,2	жидкость	-	-	-	-	38,39	-
С6	Расход, кг/с – 154,0	пар	-	-	-	118,6	-	-
	Давление, МПа – 0,2 Температура, К – 83,9	жидкость	-	-	-	35,4	-	-

В случае, если гелий не удастся реализовать (из-за ограниченности его рынка) и он будет закачиваться в хранилища, то цена СПГ, компенсирующая затраты на извлечение гелия, составит 110 дол./т у.т. Видно, что затраты на производство СПГ, связанные с извлечением гелия, составляют порядка 15 дол./т у.т. СПГ, что в пересчете на гелий – 2,7 дол./м³.

Следует отметить, что в установке образуется жидкий СО₂, который можно использовать как целевой продукт для производства, например, карбамидов, или в соответствии с Киотским протоколом утилизировать.

Выводы. Разработан эффективный в вычислительном плане метод определения термодинамически равновесного состава многокомпонентных парожидкостных смесей, являющийся базовым при расчете большинства математических моделей элементов ЭТУ, характеризующийся высокой точностью и достаточно малым временем счета.

Разработаны математические модели элементов (аппаратов) ЭТУ получения СПГ, электроэнергии, гелиевого концентрата и установок в целом, которые достаточно точно описывают реальные процессы тепло- и массообмена и позволяют вести расчет при любом составе и параметрах природного газа, продувочного газа и продуктов сгорания.

Проведены оптимизационные технико-экономические исследования ЭТУ комбинированного производства СПГ и электроэнергии с выделением гелия, которые показали, что при принятых условиях функционирования ЭТУ цена гелия составляет порядка 2,7 дол./м³.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-08-00964.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Г.С. Основные процессы и аппараты химической технологии / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский. М.: Химия, 1991. 496 с.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. М.: Наука, 1972. 720 с.
3. Григорьев В.А. Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники: учеб. пособие для вузов / В.А. Григорьев, Ю.И. Крохин. М.: Энергоатомиздат, 1982. 312 с.
4. Клер А.М. Математическое моделирование и технико-экономические исследования энерготехнологических установок синтеза метанола / А.М. Клер, Э.А. Тюрина. Новосибирск: Наука, 1998. 127 с.
5. Клер А.М. Оптимизационные исследования энерготехнологических установок сжижения природного газа / А.М. Клер, Э.А. Тюрина, В.В. Степанов // Перспективы энергетики. 2006. Т. 10. С. 191-202.
6. Контарович А.Э. Сырьевая база и перспективы развития гелиевой промышленности России и мира / А.Э. Контарович, А.Г. Коржубаев, Л.В. Эдер // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 2. С. 17-24.
7. Концепция освоения СПГ в качестве энергоносителя в отраслях хозяйства Российской Федерации (утверждена в 1998 г. «Росавиакосмосом», Министерством топлива и энергетики РФ, ОАО «Газпром»), 1998. <http://www.transgasindustry.com/gas/lng/1/lng1.shtml>.
8. Мировые, контрактные и внутренние цены // Справочно-информационный сб. «Цены и рынок». Книга 3 за 2001 г. М., 2001. 186 с.
9. Ольховский Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России // Теплоэнергетика. 1999. № 1. С. 2-9.
10. Прогноз цен на 2000 г., 2001 г. и до 2003 г. Мировые и внутренние цены // Справочно-информационный сб. «Цены и рынок». Книга 10 за 2000 г. М., 2000. 123 с.
11. Рид Р. Свойства газов и жидкостей: справ. пособие / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. Л.: Химия, 1982. 592 с.
12. LPG World. News, prices and analysis // Petroleum Argus, 2003. www.petroleumargus.ru
13. Tyler R. Short-term LNG trading growth requires solid market and contract framework / R. Tyler, M. Goodrich // LNG journal. Oct. 2005. P. 10-16.

Клер Александр Матвеевич –

доктор технических наук, профессор,
заведующий отделом теплосиловых систем
Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск

Тюрина Элина Александровна –

доктор технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник отдела теплосиловых систем
Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск

Степанов Виталий Викторович –

младший научный сотрудник отдела теплосиловых систем
Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск

Статья поступила в редакцию 28.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

ЭКОНОМИКА

УДК 338.24:621

О.Ю. Гордашникова

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Представлен методический инструментарий оценки экономического потенциала системы менеджмента качества, основанный на трех подходах: ресурсном, результативном, резервном. Проведено исследование ресурсной составляющей системы менеджмента качества. Рассмотрен результативный подход к оценке экономического потенциала СМК как способность системы осваивать, перерабатывать имеющиеся ресурсы для удовлетворения заинтересованных сторон. Выявлены резервы повышения эффективности использования функциональных составляющих экономического потенциала СМК.

O. J. Gordashnikova

APPROACHES IN ECONOMICAL ESTIMATIONS OF MACHINE BUILDING ENTERPRISES QUALITY SYSTEM MANAGEMENT POTENTIALS

The author presents a methodical approach of estimation of economical potential of the quality management system based on the three types of approaches as resource, result and reserve. The resource component was studied as well the other two ones within the whole system of estimation of the QMS as the system able to cope with, process the resources in possession for the satisfaction of the interested parties. The ways to increase the QMS components potentials are described here as well.

В рыночных условиях предприятия самостоятельно осуществляют экономическую деятельность, разрабатывают стратегию и тактику развития. Анализ экономической деятельности ряда машиностроительных предприятий показал, что на современном этапе развития экономики претерпевают значительные изменения технологии, с помощью которых предприятие может оценивать свое текущее состояние, в т.ч. и функционирование системы менеджмента качества, и вырабатывать эффективные и результативные стратегии будущего развития.

Разумеется, стремление к эффективной производственной деятельности, к устойчивому развитию, во многом определяется наличием и использованием экономического потенциала. На взгляд автора, его измерение и оценка имеют место и в системе менеджмента качества – части общей системы управления предприятием. Своевременно говорить об эффективности управления экономическим потенциалом системы менеджмента качества, однако ключевой проблемой в этом вопросе остается отсутствие адекватных инструментов его измерения и методов управления.

В целях развития теоретической базы экономического потенциала СМК необходимо выявить множество подходов в исследованиях ученых-экономистов к определению, содержанию, критериям оценки категорий «потенциал», «экономический потенциал». На сегодняшний день существует множество различных определений и трактовок понятий «потенциал». Однако дискуссионные монографии и статьи являются свидетельствами того, что однозначно признаваемых всеми суждений по поводу понятия «потенциал» до сих пор не существует. В большинстве работ отмечается важность изучения проблем оценки потенциала и указывается на существование значительных различий в определении самого понятия потенциала, его сущности, состава и соотношения с другими категориями.

В словаре иностранных слов приводится толкование термина «потенциал» как «мощь», «сила» [3]. В Советском энциклопедическом словаре приводится определение данного термина как «...средства, запасы, источники, которые могут быть использованы для достижения определенных целей, осуществления плана: решения какой-либо задачи; возможности отдельного лица, общества, государства в определенной области» [4]. Иногда термин «потенциал» трактуется как «возможность» или «способность», но в каждый определенный момент времени можно обозначить совокупность средств, определяющих данную способность [1].

Из трактовки смыслового содержания термина «потенциал», приведенной в Большой советской энциклопедии, видно, что его можно применить к различным отраслям науки и деятельности человека. Это толкование включает в себе два аспекта: наличие ресурсов и целевую направленность их использования.

В свою очередь, специалист в области исследования региональной экономики К.М. Миско дает определение «потенциала» как предел человеческих познаний внутренних, скрытых возможностей результативного использования изучаемого объекта, которые могут быть количественно оценены и в конечном счете реализованы при идеальных условиях практической деятельности [2].

Небезынтересна точка зрения Б.А. Райзберга, который рассматривает «потенциал» как систему средств, запасов, источников, имеющихся в наличии и могущих быть использованными для достижения определенной цели, решения какой-либо задачи.

На взгляд автора, заслуживает внимания подход к понятию «потенциал» Т.Г. Храмовой. В ее интерпретации: «потенциал – это не только и не просто количество ресурсов, но и заключенная в них возможность развития системы в заданном направлении» [5].

На основании вышесказанного можно прийти к выводу, что в самом общем понимании потенциал – это совокупность имеющихся средств, возможностей, которые могут быть мобилизованы, приведены в действие, использованы для достижения определенных целей. Данное определение встречается в любой экономической литературе практически без изменений, чего нельзя сказать о толковании такого понятия как «экономический потенциал».

По мнению автора, подходы к анализу объекта исследования должны различаться глубиной, системностью и комплексностью рассмотрения проблемы, поскольку потенциал создается благодаря сочетанию нескольких факторов (ресурсы, результаты, резервы). Комплексный анализ позволит дать обобщенную оценку эффективности использования экономического потенциала, наличие и рост которого определяют конкурентоспособность предприятия, служат гарантом эффективной реализации управленческих решений.

Следует заметить, что развитие менеджмента качества на машиностроительном предприятии зависит от экономического потенциала СМК, содержание которого может быть выражено, с одной стороны, способностью системы эффективно использовать имеющиеся ресурсы в достижении поставленных целей, с другой стороны, через функциональные составляющие: производственный, финансовый, научно-технический, организационный, управленческий, рыночный, экологический. Для установления взаимосвязи элементов, формирующих экономический потенциал СМК, необходима функциональная структура, которая должна учитывать все функции машиностроительного производства и быть представлена совокупностью потенциалов, каждый из которых отражает возможность использования соответствующих ресурсов и реализации соответствующих функций (рис. 1).

Состав и содержание экономического потенциала системы менеджмента качества представлены в табл. 1.



Рис. 1. Функциональные составляющие экономического потенциала СМК

Таблица 1

Характеристика функциональных составляющих экономического потенциала системы менеджмента качества

Функциональная составляющая СМК	Содержание
Производственный потенциал	Наличие материально-вещественных средств и возможностей их использования в производственном процессе
Финансовый потенциал	Наличие финансовых средств и возможностей их использования в деятельности предприятия для реализации целей политики в области качества
Научно-технический потенциал	Наличие возможностей и способностей предприятия развивать и внедрять результаты НТП в СМК
Организационный потенциал	Наличие механизмов, обеспечивающих упорядочение, согласование и эффективное использование потенциалов предприятия, достижение динамичности, устойчивости и целей его развития на основе современных методов управления
Управленческий потенциал	Наличие условий функционирования предприятия, систематический мониторинг внутренних потенциалов управления, определение масштабов и целей управленческой подготовки и выделение соответствующих ресурсов
Рыночный потенциал: маркетинговый, логистический	Наличие маркетинговых и логистических наработок и возможностей по их эффективному совокупному использованию для комплексного развития СМК
Экологический потенциал	Наличие механизма, способного сохранять экосистему

Большой практический интерес представляет вопрос о его характеристике и оценке. Для характеристики экономического потенциала СМК следует определить его величину, найти его количественное выражение, т.е. формализованное значение функциональных составляющих.

Автор полагает, что уровень использования экономического потенциала СМК позволит не только оценить эффективность управления машиностроительным предприятием, но также позволит:

- во-первых, охарактеризовать использование ресурсов в настоящее время;
- во-вторых, выявить потенциальные возможности СМК для развития в будущем;
- в-третьих, определить оптимальные направления совершенствования СМК с целью повышения эффективности использования экономического потенциала;
- в-четвертых, определить уровень использования каждой функциональной составляющей экономического потенциала СМК для выявления резервных возможностей;
- в-пятых, выявить основные направления вложения средств в развитие экономического потенциала СМК.

Однако анализ публикаций по проблемам системы менеджмента качества на уровне отдельной отрасли (машиностроения и приборостроения) констатирует тот факт, что вопросы оценки экономического потенциала СМК остались в стороне от внимания исследователей.

По мнению автора, методический инструментарий для оценки экономического потенциала СМК можно условно разделить на три группы (рис. 2).

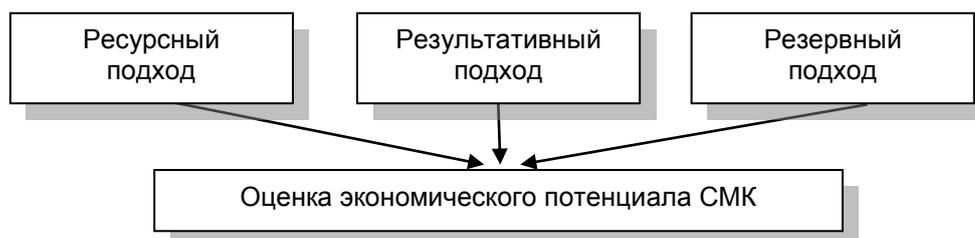


Рис. 2. Подходы к оценке экономического потенциала СМК

Каждый из подходов дает возможность выявить определенные характеристики оцениваемого объекта, каковыми в данном случае являются функциональные составляющие экономического потенциала СМК. В связи с тем, что процесс оценки состоит из комплексных и неотделимых друг от друга процедур, все три подхода взаимосвязаны и предназначены для получения объективной оценки.

Первая группа инструментария базируется на ресурсном подходе, в ходе которого экономический потенциал рассматривается как совокупность использованных в системе ресурсов, средств и предметов производства, что может обеспечить конкурентное преимущество машиностроительному предприятию. В данном случае поддается оценке только ресурсная составляющая экономического потенциала (технические, материальные, кадровые, информационные, финансовые, управленческие ресурсы), которая основана на определении ее величины на всех стадиях производственного процесса. В результате взаимодействия всех ресурсов, составляющих всю систему, в процессе производственной деятельности начинает действовать эффект целостности, т.е. получаются новые потребительские свойства, которыми каждый отдельный вид ресурса не обладает. Оценка сводится к определению объема и качества ресурсов, стоимости, источников пополнения, взаимозаменяемости, аккумулярования и расходования ресурсов, значимости, доступности, разделению ресурсов на реальные, потенциальные, имеющиеся и недостающие.

Следование правилам, вытекающим из ресурсного подхода, предполагает выполнение нескольких требований:

– во-первых, необходимо постоянно фиксировать наличие, доступность, объем и качество ресурсов;

– во-вторых, необходимо постоянно осуществлять измерение ресурса.

Выполнение последнего требования имеет особое значение для развития методического инструментария, применительно к системе менеджмента качества (табл. 2).

Таблица 2

Методический инструментарий исследования
ресурсной составляющей СМК

Функциональная составляющая СМК	Характеристика	Показатели (критерии) оценки
Трудовой потенциал	Количественный и качественный состав трудовых ресурсов предприятия, их соответствие уровню используемой техники и технологии	Экономические критерии к оценке роли человеческого фактора в производстве, организации, управлении предприятием: объем произведенной продукции в натуральном и стоимостном выражении; удельный вес основных рабочих в общей численности предприятия; удовлетворенность персонала условиям труда и др.
Производственный потенциал	Потенциальные возможности производства к выпуску конкурентоспособной продукции при эффективном использовании основных факторов производства	Технический уровень отдельных видов оборудования Уровень технологической оснащенности оборудованием, оснасткой и инструментом Оценка отдельных элементов применяемой технологии Фондовооруженность и др.
Научно-технический потенциал	Своевременность периодического обновления производства, смена или усовершенствование технологий, разработка новых продуктов, возможность качественной обработки и анализа научно-технической информации	Готовые к внедрению в производство научно-технические разработки Быстрота прохождения информационных потоков Возможность предприятия развивать и внедрять результаты НТП Количество внедренных комплектов управленческих программ для станков с ЧПУ Среднее значение отношения реального и запланированного цикла разработки продукции и др.
Финансовый потенциал	Количество и качество финансовых ресурсов, определяющих возможности функционирования и развития СМК	Стоимость имущества предприятия Данные о затратах на качество Достаточность оборотных средств Возможность использования собственных и заемных финансовых средств Норма накопления прибыли и др.
Экологический потенциал	Возможность предприятия осуществлять производственную деятельность, сохраняя экосистему	Уровень использования экологических технологий
Маркетинговый потенциал	Возможность предприятия использовать маркетинговые наработки для комплексного развития СМК	Критерии к оценке удовлетворенности потребителей: отношение общего количества заключенных договоров к количеству полученных заявок и др.

Функциональная составляющая СМК	Характеристика	Показатели (критерии) оценки
Логистический потенциал	Степень готовности предприятия организовать рациональное движение и преобразование внутренних и внешних потоковых процессов, т.е. осуществлять наиболее продуктивную комбинацию производственно-технологических операций и элементов для получения более высоких конечных результатов	Результаты оценки поставщиков Результативность процесса входного контроля товарно-материальных ценностей Количество срывов сроков поставки продукции по договорам Количество претензий потребителей из-за некачественного или несвоевременного обслуживания Отсутствие задержки в производстве из-за несвоевременного проведения входного контроля Уровень соблюдения условий хранения и др.

Вторая группа инструментария основана на результативном подходе, который заключается в идентификации возможных результатов машиностроительного предприятия от функционирования системы менеджмента качества. Результативный подход определяет экономический потенциал как способность СМК осваивать, перерабатывать имеющиеся ресурсы для удовлетворения заинтересованных сторон (потребителей, персонала, инвесторов, общества в целом). Для реализации данного подхода необходимо идентифицировать следующие результаты в целях учета их в оценке функционирования СМК: удовлетворенность потребителей машиностроительной продукции, удовлетворенность персонала машиностроительного предприятия, оценка результативности внутрипроизводственных процессов по обеспечению качества продукции.

Главными стратегическими показателями деятельности машиностроительного предприятия являются показатели удовлетворенности заинтересованных сторон, в том числе индексы удовлетворенности потребителей, которые должны стать постоянным предметом мониторинга со стороны руководства предприятия. Данный показатель отражает изменение положения предприятия относительно предпочтений и взглядов текущих и потенциальных клиентов. Имеются многочисленные доказательства тесной связи этого показателя с главными финансовыми показателями предприятия. Кроме того, внешние заинтересованные стороны (потребители продукции) благодаря правильной политике могут стать важным источником корпоративных ценностей. Вовлечение заинтересованных сторон в деятельность предприятия должно стать стратегическим фактором.

В настоящее время, по оценкам специалистов, потенциал системы менеджмента качества машиностроительных предприятий используется не в полном объеме. Поэтому, на взгляд автора, в неразрывной связи с экономическим потенциалом, следует говорить о выявлении резервов повышения эффективности использования его функциональных составляющих, и их оптимальном сочетании для повышения конкурентоспособности машиностроительного предприятия и производимой им продукции.

Изучение показало, что исследованию различных аспектов резервов совершенствования СМК уделяется незаслуженно мало внимания. По сути дела, отсутствуют экономические работы, в которых проводится систематическое и комплексное исследование таких резервов. Чтобы восполнить данный пробел, необходимо представить современное понятие «резервы СМК», механизм их возникновения и реализации.

По мнению автора, под резервами системы менеджмента качества следует понимать производственные и непроизводственные потенциальные возможности, которые могут быть мобилизованы для обеспечения устойчивости развития системы управления качеством.

В предложенном определении хотелось бы подчеркнуть, что процесс образования резервов непрерывен, так как связан с научно-техническим прогрессом, совершенствованием организации труда и управления. Конечная цель постоянного поиска резервов СМК состоит в обеспечении роста его экономического потенциала. Организация поиска резервов совершенствования СМК возможна лишь тогда, когда имеется четкое представление о характере и местах их возникновения.

На взгляд автора, основополагающим признаком классификации следует считать элементы экономического потенциала. Структура экономического потенциала СМК дает представление о резервах в соответствии с его функциональными составляющими: резервы производства, резервы организации, научно-технические резервы, финансовые резервы, резервы маркетинга и логистики в системе качества, трудовые резервы и др.

Сегодня для машиностроительного производства становится очевидно, что качество превратилось в важный инструмент в борьбе за рынки сбыта, за конкурентоспособность предприятия. Это заставляет машиностроительное предприятие основательно переосмысливать внутривыпускные процессы, связанные с качеством продукции, чтобы достичь оптимальной эффективности мероприятий, важных с точки зрения качества, согласовать их между собой и скоординировать.

Руководству машиностроительного предприятия нужно знать как можно больше и о способах создания высококачественной продукции, и о потребностях рыночной конъюнктуры, ее динамике. Прежние методы управления претерпевают существенные изменения и нуждаются в развитии, адаптации к новым условиям производственно-хозяйственной деятельности. Такие изменения можно осуществлять лишь на основе глубокого проникновения в сущность, природу качества продукции, изучения тех, для кого осуществляются эти процессы, т. е. носителя потребностей, потому что для эффективного управления качеством и победы в конкурентной борьбе, в первую очередь отечественным машиностроительным предприятиям, недостает знаний о запросах, потребностях тех, для кого создается продукция.

Значительную роль в управлении качеством продукции должна играть информация о потребительских свойствах изделий. Эта информация должна носить систематический характер и собираться по всем товарным группам. Реализацию такой задачи может осуществить маркетинг, так как в условиях развитого конкурентного рынка он становится эффективным средством решения проблемы качества.

Думается, что обеспечение выпуска конкурентоспособной продукции в соответствии с постоянно возрастающими потребностями, прежде всего, предполагает целенаправленный поиск и использование имеющихся резервов качества продукции. Выявление таких резервов и своевременное вовлечение их в производственный оборот представляет собой важнейшую приоритетную задачу в системе менеджмента качества, без решения которой в условиях рыночных отношений и острой конкурентной борьбы невозможно стабильное и эффективное развитие любого машиностроительного предприятия.

В результате экономический потенциал СМК следует рассматривать и с точки зрения резервов улучшения функционирования самой системы, поэтому третья группа инструментария должна базироваться на резервном подходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. 3-е изд. М.: Сов. энциклопедия, 1977. Т. 20. 622 с.

2. Миско К.М. Ресурсный потенциал региона (теоретические и методологические аспекты исследования) / К.М. Миско. М.: Наука, 1991. 92 с.
3. Словарь иностранных слов / под ред. И.А. Васюкова. М.: Русский язык, 1972. 650 с.
4. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. 4-е изд. М.: Сов. энциклопедия, 1986. 1600 с.
5. Храмцова Т.Г. Методология исследования социально-экономического потенциала потребительской кооперации: дис. ... доктора экон. наук / Т.Г. Храмцова. Новосибирск, 2002. 410 с.

Гордашникова Ольга Юрьевна –
кандидат экономических наук, доцент кафедры «Маркетинг»
Саратовского государственного социально-экономического университета

Статья поступила в редакцию 28.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 643.01:001.895

Я.В. Кириллов

РОЛЬ ИННОВАЦИЙ В ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Статья посвящена инновациям в сфере жилищно-коммунального хозяйства. В настоящее время в системе жилищно-коммунального хозяйства существует множество проблем, в связи с чем возросла роль инноваций в процессе преобразований жилищно-коммунальной сферы. Автор описывает основные способы энергосбережения, дающие реальный положительный эффект. Предлагаемые меры позволяют снизить затраты и повысить эффективность функционирования коммунального хозяйства.

Y.V. Kirillov

INNOVATION'S ROLE IN REFORMATIONS OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

The article is devoted to innovation in sphere of housing and communal services. Nowadays there are a lot of problems in housing and communal services sphere so innovation play an important role in reforming housing and communal services. The author is describing the main innovation methods of energy saving, which give positive effect. The offering measures allow to reduce expenditures and increase efficiency.

Жилищно-коммунальное хозяйство любого муниципального образования России входит в систему жизнеобеспечения населения, предприятий и учреждений социальной сферы, является одной из основных отраслей народного хозяйства Российской Федерации, охватывающей многоотраслевой производственно-технический комплекс, потребность в продукции

которого практически не ограничена. Жилищно-коммунальное хозяйство города – это самостоятельная сфера в системе народного хозяйства, основной целью функционирования которой является удовлетворение потребностей населения и предприятий в услугах, обеспечивающих нормальные условия жизни и работы (рис. 1).



Рис. 1. Доля основных фондов отрасли в основных фондах России

Жилищно-коммунальное хозяйство формирует соответствующее качество жизни населения, культуру быта и образ жизни, во многом определяет социально-экономический потенциал территорий, их инвестиционную привлекательность.

Несмотря на многоотраслевую структуру жилищно-коммунальное хозяйство представляет собой целостную систему, которая обеспечивает нормальную жизнедеятельность человека, функционирование социальной и производственной инфраструктуры территории.

В настоящей статье рассматриваются, прежде всего, технико-технологические инновации, используемые в жилищно-коммунальном хозяйстве и представляющие конечные результаты инновационной деятельности, получившие воплощение в виде нового или усовершенствованного технологического процесса или способа производства (передачи) услуг, использования новейших образцов техники или материалов, позволяющие в конечном итоге повышать качество предоставляемых услуг. Проанализировав различные определения инновации, автор пришёл к выводу, что специфическая цель инноваций – это изменения, а главной функцией инновационной деятельности является качество изменения. Именно внедрение инновационных энергосберегающих технологий позволит изменить качественные параметры предоставляемых жилищно-коммунальных услуг, а предприятию-поставщику жилищно-коммунальных услуг более эффективно использовать имеющиеся ресурсы.

Суровые климатические условия России, энергорасточительность коммунальной системы, износ основных фондов жилищно-коммунального хозяйства являются основными причинами плохого качества жилищно-коммунальных услуг. Так, например, удельное энергопотребление на единицу площади в жилищно-коммунальном хозяйстве России больше, чем в развитых странах, в 5-10 раз, при этом уровень комфорта зданий и сооружений чрезвычайно низок. Причины повышенной энергоёмкости экономики России заключаются, во-

первых, в суровых климатических условиях, а во-вторых, в неоправданно высоких потерях на всех этапах распределения ресурсов.

На первом этапе, то есть при транспортировке первичного ресурса (газа), потери составляют 20%. Особенности процессов генерации энергии – тепла и электричества – отнимают еще 50%. При доставке энергии потребителям теряется еще 10%. Наконец, непосредственное потребление энергии объектами строительства и жилищно-коммунального хозяйства идет с потерями 70%.

Таким образом, наиболее проблемными являются потребление и генерация энергии. Это и определяет следующую последовательность мероприятий по энергосбережению:

- 1) энергосбережение на этапе производства тепловой энергии;
- 2) энергосбережение на этапе транспортировки тепловой энергии;
- 3) энергосбережение на этапе потребления тепловой энергии (здания и сооружения);
- 4) другие.

Из-за износа основных фондов возрастает число аварий на коммунальных предприятиях, не сокращаются потери ресурсов, во многих регионах отмечается неудовлетворительное качество подаваемой воды. Планово-предупредительный ремонт сетей и оборудования систем водо-, теплоснабжения практически полностью уступил место аварийно-восстановительным работам.

Основные фонды коммунального хозяйства изношены на 65%, 30% выработали свой эксплуатационный ресурс полностью (рис. 2).

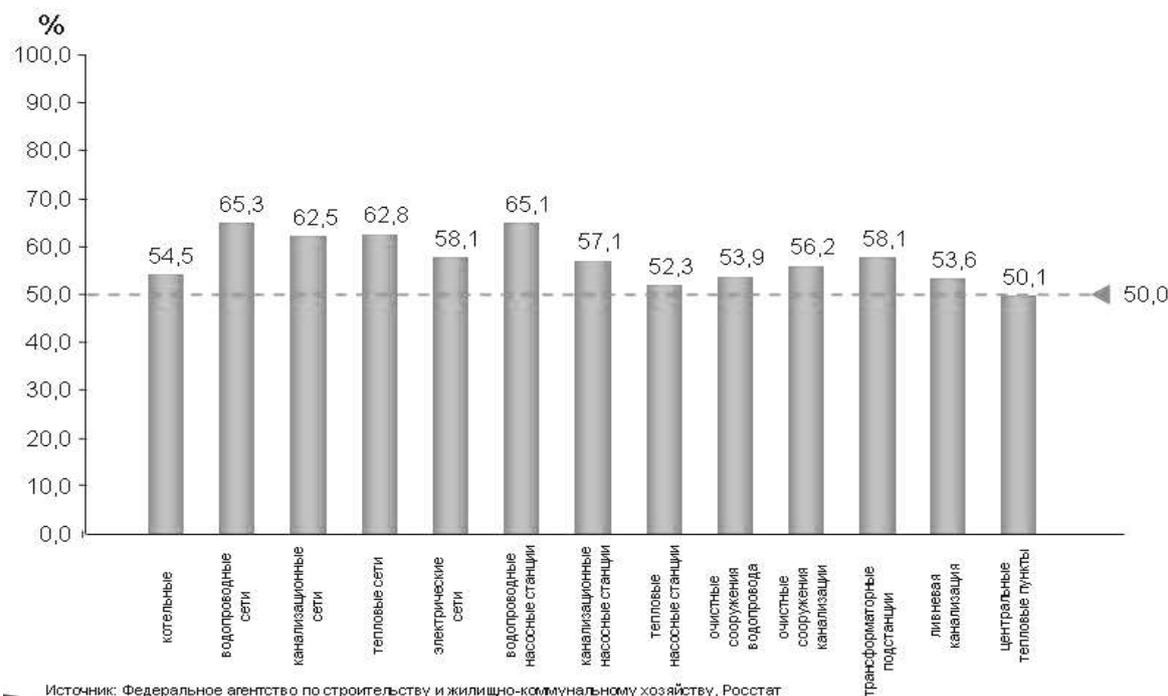


Рис. 2. Уровень износа основных фондов жилищно-коммунального хозяйства

Все эти факты подтверждают необходимость реформирования ЖКХ при помощи перехода на путь повсеместного использования инноваций. Ведь главным фактором конкурентоспособности продукции или услуги является способность удовлетворять потребности покупателей, а для этого необходимо вводить инновации, улучшающие потребительские свойства товаров и услуг. Поэтому негативные тенденции являются своеобразным дополнительным «стимулом», которые должны активизировать более интенсивное внедрение инноваций. Именно внедрение инноваций во все сферы деятельности предприятий жилищно-

коммунального хозяйства, по мнению автора, позволит вывести отрасль из затянувшегося системного кризиса. Однако для обновления отрасли требуются огромные финансовые ресурсы. По предварительным расчётам, для восстановления коммунальной инфраструктуры и жилищного фонда до нормативных значений необходимо 2 трлн. 140 млн. руб.

Для выхода из сложившегося кризиса в условиях дефицита финансовых средств, энергорасточительности коммунальной энергетики необходимо прежде всего сконцентрировать внимание на инновационном развитии систем теплоснабжения, водоснабжения, применении новых материалов при производстве ремонта жилого фонда. Всё это должно дополняться повышением активности жильцов-собственников в вопросах управления жилищным фондом, более интенсивным внедрением управленческих инноваций. Примером применения инновационной модели развития жилищно-коммунального хозяйства может послужить Александрово-Гайское муниципальное унитарное многоотраслевое предприятие жилищно-коммунального хозяйства, расположенное на территории Александрово-Гайского района Саратовской области. Там на протяжении нескольких лет в рамках программы энергосбережения были реализованы следующие мероприятия:

- децентрализация объектов теплоснабжения социально-культурного назначения: это строительство и монтаж мини-котельных и топочных с современным и эффективным тепло-механическим, насосным и контрольно-измерительным оборудованием;
- замена насосного оборудования в котельных и насосных станциях водоснабжения с завышенной мощностью на менее мощные (экономичные);
- замена трубопроводов теплоснабжения завышенного диаметра на экономически обоснованный диаметр;
- снижение тепловых потерь за счет изоляции теплотрасс современными изоляционными материалами;
- реконструкция котельного оборудования с заменой изношенных устаревших котлов на современные, эффективные в работе и модернизация систем автоматики;
- установка систем химводоподготовки на объектах теплоснабжения с целью увеличения срока службы котельного оборудования;
- применение импортного насосного оборудования, имеющего возможность регулирования мощности от необходимой нагрузки;
- ежедневный учет и контроль (приборный) потребляемых энергоносителей (газ, электроэнергия, вода);
- применение современных эффективных материалов (полиэтиленовых, полипропиленовых и полимерных труб) при замене изношенных сетей холодного и горячего водоснабжения, теплосетей как магистральных, так и внутридомовых, включая подвалы;
- применение современных кровельных материалов при ремонте плоских крыш объектов жилищного фонда;
- применение при реконструкции и строительстве объектов современных пластиковых окон с улучшенной теплоизоляцией;
- внедрение частотных преобразователей на насосном оборудовании водоподающих объектов;
- применение современных эффективных светильников уличного освещения;
- перевод автомобильной техники на газовое топливо.

Полученные в результате экономии топливно-энергетических ресурсов средства идут на оснащение производственной базы предприятия, на повышение зарплаты работникам предприятия, текущий и капитальный ремонт техники, дальнейшее внедрение инновационных технологий на различных объектах.

Таким образом, внедрение инноваций является одним из главных источников выхода жилищно-коммунального хозяйства из глубокого кризиса. Помимо замены морально и физически изношенного оборудования, должны более активно внедряться управленческие ин-

новации, выраженные в новых формах управления жилым фондом, таких как управление управляющей компанией, товариществом собственников жилья и непосредственное управление. Эти меры позволят не только снизить аварийность на объектах жилищно-коммунального хозяйства, повысить оперативность реагирования предприятий на внештатные ситуации, но и значительно улучшить качество предоставляемых жилищно-коммунальных услуг, привлечь потребителей услуг к управлению своим жильём, а для поставщиков в конечном итоге повысить уровень платежей за предоставленные услуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Редин И. Основа энергетической безопасности / И. Редин // Коммунальный комплекс России. № 10 (28) октябрь 2006.
2. Круглик С. Эффективная модернизация / С. Круглик // Коммунальный комплекс России. № 11 (17) ноябрь 2005.

Кириллов Ярослав Валерьевич –
аспирант кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 28.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 338.45

И.Б. Николаева

ОТБОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАКАЗА НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСЛУГИ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНОМУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Рассматривается алгоритм процесса определения степени доверия государства к вузу, влияющий на объем государственного заказа на образовательные услуги дополнительного профессионального образования преподавателей.

I.B. Nikolaeva

SELECTION OF EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS ON PERFORMANCE OF THE STATE ORDER FOR EDUCATIONAL SERVICES ON ADDITIONAL VOCATIONAL TRAINING TEACHERS

The algorithm of process of definition of a degree of trust of the Government to the high educational institutions, influencing on volume of the Government's order for educational services of additional vocational training of teachers is considered in this article.

Важнейшим фактором, определяющим развитие рынка образовательных услуг высшего профессионального образования, является государственное регулирование.

В высшем образовании государство берет на себя планирующую, координирующую роль и осуществляет функции контроля над образовательными услугами высших образовательных учреждений:

– государство является заказчиком на образовательные услуги учреждений высшего образования, выделяя бюджетные ассигнования в соответствии с контрольными цифрами на подготовку специалистов с высшим профессиональным образованием и прием слушателей системы повышения квалификации научно-педагогических работников, подведомственных Рособразованию учреждений высшего и дополнительного профессионального образования;

– государственные органы осуществляют прогнозирование развития сферы высшего образования, ее масштабов и структуры с учетом общих тенденций в экономике, научно-техническом прогрессе, структуре общественного производства, требований к общеобразовательной, культурно-технической и профессиональной подготовке населения, динамики валового внутреннего продукта и целого ряда других факторов, определяющих среднесрочные и долгосрочные перспективы социально-экономического развития;

– государственные органы осуществляют контроль за качеством предоставляемых услуг высшего образования путем установления государственных стандартов в сфере образования, аттестации и лицензирования учебных заведений, сертификации удостоверяющих полученное образование документов.

Таким образом, государство на рынке образовательных услуг высшего профессионального образования является заказчиком образовательных услуг, создает условия для его формирования и развития, предоставляя образовательным учреждениям инициативы в увеличении объемов, расширении ассортимента образовательных услуг. При этом, в силу специфики образовательных услуг дополнительного профессионального образования (ДПО) преподавателей, особенно значительна роль государства в обеспечении эффективного развития рынка именно этих образовательных услуг.

Размещение государственного заказа на образовательные услуги ДПО преподавателей в настоящее время осуществляется по трем направлениям:

– в рамках установленных Федеральным агентством по образованию контрольных цифр приема слушателей системы ДПО преподавателей;

– за счет средств федерального бюджета для целевого повышения квалификации преподавателей;

– в рамках федеральных целевых программ развития образования.

Повышение квалификации профессорско-преподавательского состава (ППС) вузов, финансируемое путем сметных назначений согласно ежегодным приказам «О контрольных цифрах приема слушателей системы дополнительного профессионального образования Рособразованию, обучающихся за счет средств федерального бюджета», осуществляется на базе 181 вуза и 17 учреждений дополнительного образования, подведомственных Рособразованию, и обеспечивает обучение 58 899 слушателей ежегодно [1].

Формирование перечня вузов в соответствии с этими приказами происходит с учетом нормативного требования п. 2 ст. 21 Федерального закона от 22.08.1996 № 125-ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» о гарантировании государством создания необходимых условий для повышения квалификации ППС не реже, чем один раз в пять лет.

Начиная с 2005 года дополнительно к сметному финансированию вузов, соответствующему выделенным контрольным цифрам, выделяются средства федерального бюджета в объеме 125 млн. рублей для проведения целевого повышения квалификации ППС. Более 5000 преподавателей всех вузов, подведомственных Рособразованию, ежегодно проходят повышение квалификации согласно новой модели, не только предусматривающей поддержку вузов, реализующих инновационные программы ДПО, но и обеспечивающей внутрироссийскую мобильность преподавателей. Выделенные Минфином России дополнительные средства приблизили экономические показатели повышения квалификации специалистов образо-

вательной отрасли к показателям, существующим в других отраслях экономики России, – примерно 30 тыс. рублей на одного слушателя при объеме программ повышения квалификации 72 часа [1].

Критерии отбора вузов, организующих повышение квалификации профессорско-преподавательского состава за счет дополнительных средств федерального бюджета, базируются на известных достижениях вузов в области образования и активности их позиций в процессах модернизации российского образования. Главным критерием для выбора является значимость предлагаемых программ, именно по этому критерию организуется конкурс [1].

В 2005 году предпочтение было отдано вузам, реализующим образовательные услуги ДПО преподавателей по следующим направлениям: информационно-коммуникационные технологии; современные педагогические технологии; управление качеством; гуманитарные проблемы современности; подготовка кадров для оборонной отрасли; менеджмент в образовании; инновационная деятельность; история и философия науки.

В последующие годы была проведена коррекция приоритетных направлений ДПО преподавателей и в результате основными направлениями были названы:

– в 2006 году – информационно-коммуникационные технологии; современные педагогические технологии; управление качеством; гуманитарные проблемы современности; менеджмент в образовании; инновационная деятельность; русский язык; экология и природопользование; современная биология; экономическая теория и правоведение;

– в 2007 году – информационно-коммуникационные технологии; современные педагогические технологии; управление качеством образования; гуманитарные проблемы современности; инновационная деятельность; русский язык; экология и природопользование; современная биология, экономика образования и правоведение, сфера услуг [1].

Наряду со сметным финансированием вузов, в соответствии с выделенными контрольными цифрами приема слушателей системы повышения квалификации научно-педагогических работников и целевого финансирования повышения квалификации ППС, важнейшим инструментом в последние годы стало финансирование развития системы ДПО преподавателей на основе федеральных целевых программ.

В рамках указанных программ в первую очередь финансируется создание современных образовательных инфраструктур, среди которых можно выделить образовательные компьютерные сети, образовательные базы данных и знаний, электронные библиотеки образовательных программ, учебных и учебно-методических материалов, системы оценивания качества знаний и системы аттестации и аккредитации образовательных программ, программные комплексы обеспечения управления образованием.

Финансирование образовательных учреждений на основе федеральных целевых программ призвано обеспечить благоприятные условия для реализации крупных проектов развития учебно-научной деятельности образовательных учреждений, их социально-культурной инфраструктуры.

Реализуя принципы программно-целевого подхода, федеральные целевые программы должны ориентироваться на четко поставленные цели и описанные результаты.

В рамках федеральных целевых программ Министерство образования и науки РФ размещает заказы на выполнение работ и образовательных услуг по ДПО преподавателей путем проведения конкурсов, в рамках которых заключаются госконтракты.

Критерии отбора исполнителей госконтрактов определяются конкурсной документацией с учетом специфики выполняемых работ и образовательных услуг.

Из сказанного следует, что Рособразование формирует инновационную модель государственного заказа на образовательные услуги ДПО преподавателей, адекватную потребно-

стям развития рынка образовательных услуг и обладающую всеми признаками системности, к которым относятся распределяемость и контролируемость.

Однако при этом возникает ряд проблем, требующих безотлагательного решения:

- формирование структуры и состава системы повышения квалификации и профессиональной переподготовки преподавателей с обоснованием распределения функций;

- оценка эффективности функционирования системы повышения квалификации и профессиональной переподготовки преподавателей на основе выбора критериев оценки на фоне обеспечения оценочного центра необходимой информацией, ее агрегированием, выбором вариантов оценки;

- определение процедуры распределения материальных, финансовых, кадровых и других ресурсов;

- координация и согласование интересов участников процесса на основе формирования действенной системы стимулирования (мотивации);

- синтез действенного механизма контроля и оперативного управления, позволяющего отслеживать функционирование управляемой системы в реальном времени и вносить коррективы в случае отклонения ее показателей от запланированных значений.

Для решения этих проблем и создания механизма действенного контроля и опережающего управления системой государственного заказа на образовательные услуги ДПО преподавателей прежде всего необходимо определить критерии отбора на выполнение и оценки эффективности выполнения государственного заказа на образовательные услуги ДПО преподавателей [2].

С этой целью в качестве интегрального показателя предлагается показатель степени доверия государства к образовательному учреждению, который включает групповые критерии, представленные в таблице.

Критерии определения степени доверия государства к образовательному учреждению России

Групповые критерии	Субкритерии	Возможные значения субкритериев оценки
1. Оценка соответствия фактических результатов предыдущего госзаказа первоначально планируемым	1.1. Сравнение целевого государственного финансирования на осуществление госзаказа с финансовым отчетом образовательного учреждения	– экономия выделенных средств на осуществление госзаказа; – полное соответствие полученных и израсходованных средств на выполнение госзаказа; – нехватка выделенных средств на выполнение госзаказа
	1.2. Сравнение планируемого объема преподавания учебных дисциплин с фактически пройденным материалом	– превышение планируемого объема; – полное соответствие; – неполное изучение дополнительного материала; – неполное изучение основного материала
	1.3. Сравнение фактически достигнутого	Результаты итоговой ат-

	уровня квалификации прошедших курс обучения с соответствующими нормативными требованиями	тестации прошедших курс обучения: – положительные – отрицательные
--	--	---

Окончание таблицы

Групповые критерии	Субкритерии	Возможные значения субкритериев оценки
2. Оценка качества обучения по программе ДПО преподавателей (интегральный эффект повышения квалификации)	2.1. Количество монографий, опубликованных слушателями (в среднем на человека)	не менее 1,0
	2.2. Количество учебных пособий уровня соответствующего образовательного учреждения, опубликованных слушателями (в среднем на человека)	не менее 2,0
	2.3. Количество опубликованных слушателями учебных пособий и учебников с грифами федеральных органов власти, НМС и УМО (в среднем на человека)	не менее 0,5
	2.4. Количество защищенных слушателями диссертационных работ (в среднем на человека)	не менее 30%
	2.5. Количество полученных слушателями ученых степеней (в среднем на человека)	не менее 30%
	2.6. Количество полученных слушателями ученых званий (в среднем на человека)	не менее 20%
	2.7. Количество повышений в должности (в среднем на человека)	не менее 15%
	2.8. Количество разработанных слушателями новых курсов (в среднем на человека)	не менее 1,0
	2.9. Количество успешно защитившихся дипломников у слушателя (в среднем на человека)	не менее 60%
	2.10. Количество дипломников, получивших неудовлетворительную оценку ГАК (в среднем на человека)	не более 5%
	2.11. Количество тем дипломных проектов (работ), имеющих особое значение	не менее 40%
	2.12. Количество успешно защитившихся у слушателей аспирантов/докторантов (в среднем на человека)	не менее 1,0
	2.13. Востребованные НИР	не менее 50%
	2.14. Количество слушателей, участвующих в НИР, не связанных с темой собственной диссертационной работы (в среднем на человека), в том числе: – национальные проекты – международные проекты	

3. Ранг преподавателей, ведущих обучение по программе ДПО преподавателей	3.1. Возраст 3.2. Стаж преподавательской деятельности 3.3. Ученая степень 3.4. Ученое звание 3.5. Соответствие научной специальности преподавателя читаемому (разработанному) курсу (дисциплине) 3.6. Должность	низкий уровень до 11 баллов; средний уровень от 19 до 27 баллов; высокий уровень от 32 до 36 баллов
--	--	---

Окончание таблицы

Групповые критерии	Субкритерии	Возможные значения субкритериев оценки
	3.7. Соответствие рабочей программы преподаваемой дисциплины требованиям современного состояния науки и техники 3.8. Привлечение полученных результатов НИР к процессу обучения 3.9. Имеющиеся публикации 3.10. Участие в национальных и международных НИР	
4. Оценка качества организации процесса обучения по программе ДПО преподавателей	4.1. Оценка слушателями качества организации учебного процесса 4.2. Оценка слушателями качества учебного процесса 4.3. Оценка степени практического применения полученных знаний и навыков 4.4. Оценка профессионального мастерства преподавателей, ведущих занятия	низкий (Н) не более 30% С и В; средний (С) не более 50% С и В; высокий (В) не менее 70% С и В

Групповой критерий 1. Оценка соответствия фактических результатов предыдущего госзаказа с первоначально планируемым

Данный групповой критерий является первым в системе показателей, направленных на определение степени доверия государства к образовательному учреждению. Подобное сравнение проводится на основе отчета, представляемого образовательным учреждением по истечении срока выполнения госзаказа. Отчет должен быть направлен в экспертную комиссию в период после выполнения заказа, оговоренный в начале осуществления работ. В результате комиссией, на которую возложены обязанности сравнительной оценки, составляется характеристика работы образовательного учреждения с точки зрения исполнения взятых на себя обязательств. Результатом обработки полученной информации о работе образовательного учреждения по выполнению госзаказа должна стать одна из итоговых формулировок:

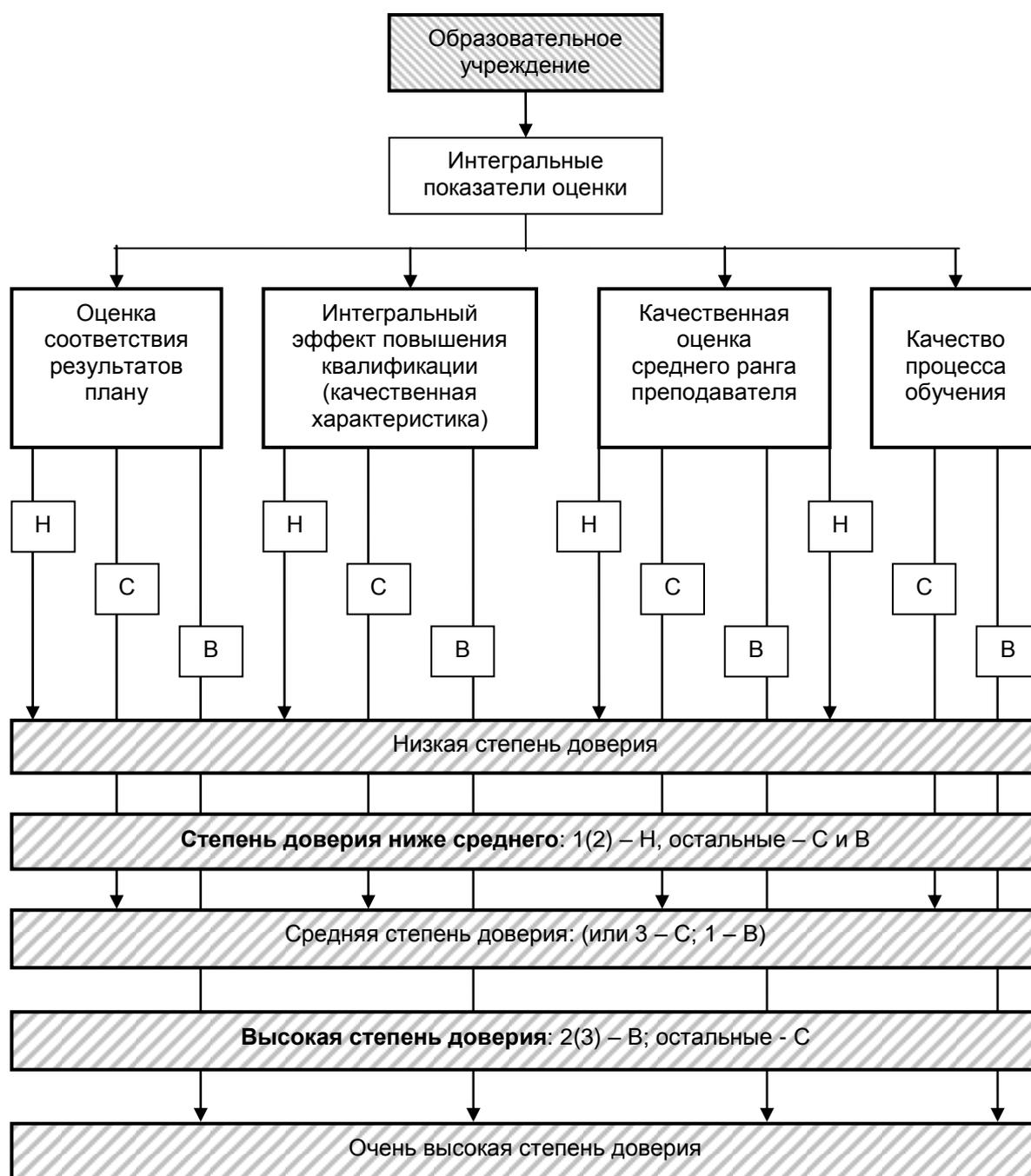
- полное соответствие;
- частичное соответствие;
- полное несоответствие.

При этом необходимы рекомендации относительно возможности дальнейшего государственного финансирования аналогичной деятельности конкретного образовательного учреждения.

Групповой критерий 2. Оценка качества обучения по программе ДПО преподавателей (интегральный эффект повышения квалификации).

Оценка качества обучения по программе ДПО преподавателей, называемый нами интегральным эффектом повышения квалификации, определяется по результатам дальнейшей работы преподавателей, прошедших обучение по соответствующей программе в течение года после обучения. Соответственно его оценка проводится теми образовательными учреждениями, которые намерены продолжать работу по соответствующему направлению, и результаты оценки представляются вместе с конкурсной документацией в случае подачи заявки на участие в аналогичных проектах в будущем.

Полный перечень оцениваемых показателей составляет 14 субкритериев. При этом, исходя из специфики конкретного государственного заказа и отрасли знания, приведенный список может быть сокращен. Минимальное количество оцениваемых аспектов не должен быть меньше 4-5 субкритериев.



Алгоритм определения степени доверия государства

Групповой критерий 3. Ранг преподавателей, ведущих обучение по программе ДПО преподавателей

Данный критерий необходим для качественной оценки кадрового состава, привлеченного для ведения учебного процесса по программе [3], а также для определения потенциально возможного уровня преподавания информации и прививания навыков и умений обучающимся по соответствующей программе ДПО преподавателей. Данный критерий является достаточно условным и субъективным. В рамках проводимого исследования ранг преподавателей рассматривается как вторичный. Исключительно на его основе не рекомендуется делать вывод относительно качества процесса обучения в образовательном учреждении, использование данного критерия возможно только в совокупности с другими параметрами оценки основного интегрального показателя.

Однако его можно расценивать как детерминирующий, так как кадровый потенциал определяет уровень образовательного процесса. По лицензионным требованиям, предъявляемым к учебному заведению, реализующему программы повышения квалификации и профессиональной переподготовки, не менее 70% привлекаемого профессорско-преподавательского состава должно иметь степени и звания кандидатов/докторов наук.

Групповой критерий 4. Оценка качества организации процесса обучения по программе ДПО преподавателей

Для оценки качества процесса обучения по программе ДПО преподавателей необходимо использовать метод обратной связи с прошедшими обучение. Наиболее достоверные и объективные результаты могут быть получены путем проведения анкетирования всех прошедших обучение.

Схематично предлагаемый алгоритм процесса определения степени доверия государства к вузу, имеющему право участвовать в основном конкурсе на получение госзаказа на образовательные услуги ДПО преподавателей, проиллюстрирован на рисунке.

Таким образом, в разряд низкой степени доверия попадают вузы, оценка всех интегральных показателей работы которых характеризуется низким уровнем качества. Степень доверия ниже среднего присваивается вузам, где значения 1-2 показателей низкого качества, остальные – среднего и высокого. Средняя степень доверия характерна для образовательных учреждений со средним качеством всех показателей, либо с одним показателем высокого качества на фоне остальных среднего качества. Высокая степень доверия присваивается учреждениям с двумя-тремя показателями высокого качества выполнения и остальными – среднего. Соответственно, очень высокую степень доверия имеют вузы с высоким качеством функционирования по всем приведенным интегральным показателям.

Исходя из соответствующего значения степени доверия государства к вузу, определяется объем госзаказа, т.е. количество педагогических работников, направляемых на повышение квалификации и переобучение в соответствующий вуз, а также объем целевого финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мосичева И.А. Высшая школа и дополнительное профессиональное образование: проблемы и решения / И.А. Мосичева, В.П. Шестаков, В.Н. Гуров. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2007. 323 с.

2. Николаева И.Б. Критерии отбора образовательных учреждений на выполнение государственного задания по дополнительному образованию педагогических кадров / И.Б. Николаева, Д.А. Николаев // Современное образовательное пространство: единство, региональность, непрерывность: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. проф. Ю.Г. Голуба. Саратов: Научная книга, 2005. С. 92-96.

3. Демчук В.С. Педагогические основы повышения эффективности учебного процесса на ФПКП организаторов народного образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.С. Демчук. Киев, 1986. 19 с.

Николаева Ирина Борисовна –

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Менеджмент, коммерция и право» Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 28.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 330.34

Е.А. Орехова

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ОРИЕНТИРЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Обоснована необходимость изменения проводимой в России экономической политики и идеологии экономических преобразований. Определены условия устойчивого экономического развития российского хозяйства на социально-экономическом, факторно-экономическом, структурно-экономическом и регионально-экономическом уровнях.

E.A. Orekhova

STRATEGIC REFERENCE POINTS OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF RUSSIA IN MODERN CONDITIONS

Necessity of change of economic policy spent to Russia and ideologies of economic transformations is proved here. The author defines conditions of steady economic development of the Russian facilities on social and economic, social-economic, structurally economic level and regional-economic levels.

В современных условиях, несмотря на стабилизацию экономической ситуации в России, угрозы и вызовы ее экономической политике сохраняются, во многом приобретая новые черты. И чтобы справиться с этими проблемами, нужна продуманная, взвешенная долгосрочная стратегия устойчивого экономического развития, основанная на понимании верной исторической перспективы дальнейшего движения национального хозяйства и выступающая дополнением тому, что делается сегодня российским правительством в данном направлении.

Для обеспечения устойчивого экономического развития необходимо радикальное изменение не только экономической политики, но и самой идеологии проводимых в стране

экономических преобразований. Должна быть выработана национальная цель экономического развития, базирующаяся на национальных экономических интересах, детерминирующих логику и направленность долгосрочной экономической стратегии, определяющих подходы к экономической политике государства. Историческая задача не в том, чтобы национальные экономические интересы подавляли частные, а в том, чтобы частные интересы хозяйствующих субъектов были экономически интегрированы с национальными интересами и неотрывны от них: только такое системное движение имеет перспективу, поскольку ведет к экономическому прогрессу.

Отправной точкой при выработке национальной цели экономического развития является построение такого государства, которое бы выступило в роли общественно-политической организации, опирающейся на широкую относительно однородную социальную базу – средний класс, призванный экономически господствовать и осознанно регулировать свое поведение в соответствии с высокими нравственными принципами. Материальное благополучие российского государства должно обеспечиваться эффективным хозяйствованием и, в первую очередь, научными исследованиями, инновациями и высокими технологиями [1]. Отсюда вытекает и первейшая задача – обеспечение устойчивого экономического развития национального хозяйства, решение которой, с нашей точки зрения, должно найти реализацию на четырех уровнях: социально-экономическом, факторно-экономическом, структурно-экономическом и регионально-экономическом.

На социально-экономическом уровне следует преодолеть высокую дифференциацию доходов различных социальных групп и обеспечить справедливое распределение национального дохода общества. Для этого необходимо наладить рациональные пропорции между производством и потреблением, существенно повысить эффективность реализации социальных программ, что требует изменения форм и методов работы органов социальной защиты населения, которые должны быть направлены на создание единой системы обеспечения занятости и социальной защиты, координацию деятельности органов социальной защиты, службы занятости и органов, осуществляющих предоставление социальной помощи, на основе совместного планирования и реализации социальных программ, использования единых информационных баз данных.

Важны и меры, направленные на повышение качества, доступности и эффективности образования, позволяющие обеспечить более эффективное включение образования в процессы повышения уровня благосостояния граждан, сохранения социальной стабильности, развития институтов гражданского общества и обеспечения устойчивого экономического развития национального хозяйства. Среди них: обеспечение развития инфраструктуры непрерывного профессионального образования; поощрение внедрения новых образовательных технологий, развития интерактивных форм обучения, широкого использования современных обучающих программ, проектных методов и методов, позволяющих имитировать реальные ситуации; разработка механизмов интеграции образования, науки и практической деятельности; повышение эффективности системы образования детей дошкольного возраста; создание условий для роста инвестиционной привлекательности системы образования.

Устойчивое экономическое развитие национального хозяйства невозможно обеспечить без развития рынка труда и создания условий для возникновения эффективных рабочих мест. Для этого следует решить целый комплекс задач в различных областях национального хозяйства, в том числе задач, связанных с развитием эффективных трудовых отношений:

– совершенствовать трудовое законодательство в направлениях повышения гибкости использования рабочей силы, развития системы социального партнерства на уровне регионов и отдельных предприятий, изменения системы предоставления компенсаций за работу с вредными и опасными условиями труда, совершенствования государственной экспертизы условий труда;

– способствовать повышению мобильности рабочей силы, направив усилия, прежде всего, на снятие административных ограничений для перемещения рабочей силы внутри страны, создание эффективного механизма информирования населения о возможностях трудоустройства в различных регионах страны, формирование экономических условий, содействующих свободному перемещению рабочей силы, разработку механизмов, обеспечивающих доступность найма и приобретения жилья;

– повышать занятость и качество оказания государственных услуг в сфере содействия занятости населения за счет улучшения системы информирования населения о состоянии рынка труда и возможностях трудоустройства в различных отраслях национального хозяйства, внедрения эффективных механизмов перепрофилирования безработных, совершенствования профессиональной переподготовки и повышения квалификации граждан, ищущих работу, расширения номенклатуры и разработки стандартов услуг государственной службы занятости;

– реформировать систему оплаты труда в направлении перехода от федеральной к отраслевым системам оплаты, построенным на единых основополагающих принципах и учитывающих специфику каждой бюджетной отрасли.

Особое внимание должно быть уделено обеспечению эффективного взаимодействия органов службы занятости и органов социальной защиты с негосударственными организациями и представителями делового сообщества. Необходимо обеспечить развитие механизмов частно-государственного партнерства, позволяющих объединять средства государства и частных благотворителей, а также привлекать негосударственные организации для совместной разработки и реализации программ сокращения бедности на условиях государственного социального заказа, социальных грантов и в иных формах. Требуется развития система мониторинга бедности и контроля за эффективностью и результативностью программ помощи нуждающимся на основе единых методик, применяемых в международной практике. В регионах с высоким уровнем бедности особое внимание должно быть уделено развитию инфраструктуры, созданию благоприятного инвестиционного климата, содействию трудовой миграции, развитию малого предпринимательства, совершенствованию систем переквалификации граждан. Должен быть усилен адресный характер предоставления социальной помощи, учитывающий доходы и особенности различных групп населения, нуждающихся в социальной поддержке, что позволит оптимизировать систему социальной помощи и направить бюджетные средства в пользу особо нуждающихся граждан.

Повышение качества и доступности государственных социальных услуг требует развития страховых механизмов, а также создания новых моделей управления социальной инфраструктурой. Решение этой задачи предполагает необходимость формирования рынка социальных услуг с равными возможностями для их поставщиков, создания новых организационно-правовых форм учреждений социального обслуживания. В приоритетном порядке социальные услуги должны предоставляться наиболее нуждающимся гражданам. Для предотвращения последующего воспроизводства бедности, сокращения численности беспризорных детей, социального сиротства и противоправного поведения несовершеннолетних усилия государства должны быть сосредоточены на проведении профилактической работы с семьями на ранних стадиях их социального неблагополучия; создании системы комплексной реабилитации детей, находящихся в трудной жизненной ситуации; разработке и внедрении инновационных моделей семейного устройства детей, оставшихся без попечения родителей; создании форм и технологий профилактической, реабилитационной работы с несовершеннолетними, нуждающимися в социальной реабилитации; реализации мер по развитию системы внешкольного воспитания и детского спорта. Кроме того, необходимо создание системы социальной реабилитации групп повышенного риска бедности, включая лиц, отбывших срок лишения свободы, и лиц, страдающих наркотической и алкогольной зависимостью.

Существенное значение для формирования механизма управления устойчивым экономическим развитием национального хозяйства приобретают вопросы, связанные с отношениями собственности. Следует организовать управление формированием собственности: в этой сфере движение должно происходить в направлении создания универсального многоукладного хозяйства смешанного типа; господство одной из форм собственности должно быть заменено системой конкурентоспособных и взаимоувязанных форм. В этих условиях должно произойти размытие социально-классовых границ и формирование социальных групп на базе совершенно иных признаков, в том числе на основе концепции социального партнерства. Последнее особенно необходимо, поскольку для поступательного экономического развития национального хозяйства следует добиться не просто экономического благоденствия граждан, но и перехода к таким стандартам качества жизни, среды обитания россиян, которые обеспечили бы социальное единство, а, следовательно, и внутреннюю устойчивость общества [2].

В условиях повышения значимости запасов природных ресурсов для российского национального хозяйства и неравномерности их распределения по территории страны актуализируется регулирование отношений собственности на природные ресурсы и использующие их объекты. Распределение объектов экологической собственности должно осуществляться с учетом роли конкретного объекта в формировании макроэкономических показателей, а также на мировом рынке. Кроме того, необходимо учитывать соотношение распределяемости того или иного природного ресурса и величины совокупного спроса на соответствующем рынке ресурсов [3]. Решение этих вопросов дает основу для разработки экономических механизмов устойчивого развития национального хозяйства России, определения набора методов и приемов воздействия на экономическое поведение хозяйствующих субъектов с тем, чтобы направить их в нужное с точки зрения социальной экологии русло.

На факторно-экономическом уровне необходимо обеспечить преобладание научно-технического прогресса, инноваций и инвестиций в основной и человеческий капитал. Мировой практике известно несколько моделей инновационного экономического развития национального хозяйства:

– европейско-американская модель, основанная на преимущественном развитии и использовании собственного научно-технологического потенциала для генерирования инновационного продукта;

– японская модель, базирующаяся на применении зарубежного научно-технического потенциала, доработке новых знаний и внедрении нововведений в национальное хозяйство;

– модели новых индустриальных стран Юго-Восточной Азии, для которых характерными являются благоприятный инвестиционный климат, высокие темпы развития науки и инноваций, широкий доступ населения к различным формам образования.

Все эти модели предполагают государственное обеспечение первостепенного развития науки, образования и наукоемкого производства. Приоритеты государственного финансирования выбираются по тем направлениям, которые в силу высокой степени риска и коммерческой неопределенности не поддерживаются частным сектором, отличаются значительными и трудноокупаемыми затратами, либо угрожают отечественным производителям. Государство финансирует и те сферы НИОКР, в которых оно является основным заказчиком. На долю же частных компаний приходится финансирование сферы прикладных исследований и разработок.

В «чистом виде» ни одна из перечисленных моделей экономического развития не подходит России. Так, европейско-американская модель требует значительных финансовых вложений на всех стадиях инновационного процесса и заинтересованности национальных предприятий в осуществлении инноваций. Ее основу составляют исследовательские базы предприятий, вузов, развитое партнерство между государством, бизнесом и академическими кругами. В России же складывается прямо противоположная ситуация, переломить которую вряд ли удастся даже в среднесрочной перспективе. Неприемлема для нашей страны и японская модель, основанная на использовании и внедрении зарубежного научно-технического

потенциала с последующим его наращиванием внутри государства. В этом случае основным ограничителем выступает конкурентная стратегия развитых стран, направленная на завоевание российского рынка их транснациональными и многонациональными компаниями, сохранение технологической отсталости России. С учетом объективных тенденций экономического развития, более приемлемой для нашей страны представляется модель, основанная на использовании собственного научно-технического потенциала с привлечением иностранных технологий. Реализация инновационной политики стимулирования устойчивого экономического развития на основе указанной модели предполагает активизацию инновационных процессов, ускорение продвижения нововведений во всех секторах национального хозяйства [4].

Для обеспечения инновационной направленности экономического развития необходимо осуществлять формирование механизмов, способствующих защите прав на интеллектуальную собственность, реализации инвестиционных и инновационных проектов в высокотехнологичных сферах национального хозяйства. Необходимо снизить уровень экономических, институциональных и политических рисков с целью расширения инвестиционной активности бизнеса и его заинтересованности в осуществлении долгосрочных инновационных проектов; выстроить отвечающую реальности целостную институциональную и экономическую структуру национальной инновационной системы, принять комплекс мер по экономическому стимулированию реинвестирования прибыли и нормативному регулированию применения устаревших технологий [5].

Из всего многообразия путей выживания наукоемких отраслей национальной промышленности следует выделить кооперацию в ее широком понимании – научно-производственную, финансовую, информационную и институциональную – то есть кооперацию форм собственности. Кооперация национальных предприятий и фирм как эффективная форма их взаимодействия позволит экономить ресурсы и время на проведение НИОКР, повышать научно-технический уровень производимой продукции и ее конкурентоспособность, осуществлять инновационное сотрудничество в целях технологического развития. Кроме того, международная кооперация с иностранными партнерами будет способствовать проникновению российских предприятий на международные и внутренние рынки стран-партнеров.

Проводимая в России инновационная политика должна создавать условия для накопления и обогащения научных знаний, их скорейшего воплощения в современную продукцию и технологии, для успешного осуществления инновационной деятельности. Эта главная стратегическая установка структурируется в систему целей и реализуется как комплекс мер, призванных инициировать, координировать инновационную деятельность агрегированных в отечественную экономику хозяйствующих субъектов, повышать ее эффективность. Поэтому целями государственной инновационной политики становятся выбор приоритетных для России отраслей развития науки, ориентация научных исследований и их селективная поддержка, регулирование направлений научных изысканий.

Для успешной реализации потенциала участия научных организаций в обеспечении инновационного развития национального хозяйства следует укрепить взаимоотношения органов государственной власти и научного сообщества. Важно, чтобы научная сфера на деле почувствовала свою востребованность со стороны государственных органов. Российское научное сообщество должно осознать объективно существующую необходимость и принять конструктивное участие в проведении экономических преобразований, направленных на повышение эффективности научной деятельности. При этом спрос на исследования в области фундаментальной науки должен формироваться исходя из национальных экономических интересов, из необходимости создания глубинных, базовых научных заделов, на которых только и могут вырастать отдельные успехи и достижения.

Самостоятельным и весьма крупным источником инвестиций в развитие российской науки вполне могут стать доходы от экспорта военно-технической продукции. Причем, доходы эти должны пополнять финансирование военно-технической и гражданской науки, не

проходя через государственный бюджет, а напрямую сосредотачиваясь в сферах, занятых работой на космос, развитием авиационной и иной техники. Фундаментальная же наука, не связанная с ее конкретным практическим применением, а направленная на укрепление научного потенциала страны, должна, безусловно, финансироваться из бюджета. Есть и другие сферы, где напрямую, исходя из высших национальных интересов, должно строиться бюджетное финансирование науки. Это связано, прежде всего, с медициной и ее многочисленными технологическими достижениями, призванными излечивать тяжелые болезни и спасать жизни людей. Здесь нельзя экономить, потому что высшей ценностью и, в конце концов, высшим показателем качества жизни населения является здоровье, продолжительность жизни человека [6].

Рост эффективности инновационной деятельности вообще и финансирования науки, в частности, должен поддерживаться не только государством, но и частным бизнесом. Для этого потребуются комплекс мер, направленных на улучшение общего экономического климата в стране, что сделает инвестиции в долгосрочные проекты технологических инноваций привлекательными для бизнеса. Среди этих мер выделим, прежде всего: обеспечение стабильности институционально-правовых условий хозяйственной деятельности; создание надежного механизма защиты экономических прав; формирование благоприятных макроэкономических условий для инновационной активности бизнеса; формирование системы нормативов, препятствующих воспроизводству основного капитала на устаревшей технической базе.

На структурно-экономическом уровне опережающее развитие должны получить наукоемкие отрасли с высокой добавленной стоимостью, отрасли, производящие современные информационные и промышленные технологии. России предстоит преодолеть неоправданно высокую долю ресурсных отраслей, их однобокую ориентацию на экспорт и определить приоритеты реструктуризации отечественного хозяйства, способные обеспечить прорыв по ключевым направлениям его развития. Причем, приоритетные сферы должны соответствовать технологическим критериям и иметь социальный эффект: способствовать росту уровня жизни, создавать рабочие места, своевременно адаптировать интеллектуально-творческий потенциал страны. Выбирая приоритеты реструктуризации национального хозяйства, важно сопоставлять перспективные направления глобального экономического развития с наличием в стране соответствующих конкурентных преимуществ.

Исходя из наличия у России конкурентных преимуществ и зная «прорывные» отрасли глобального экономического развития, С.Ю.Глазьев выделил в качестве локомотивов экономического развития, в частности, био- и нанотехнологии, информационные, микроэлектронные, лазерные технологии, современные средства автоматизации, парк гражданской авиации, технологию переработки и использования природного газа и нефти, современные транспортные узлы, жилищное строительство, оздоровление окружающей среды [7; 8]. Но главный вопрос состоит не только в том, чтобы правильно определить приоритетные направления устойчивого экономического развития России, но и в том, чтобы создать механизмы перераспределения ресурсов в поддержку этих направлений. Такими механизмами являются государственный бюджет и денежно-кредитная политика. Здесь не обойтись без повышения эффективности государственного стимулирования инвестиционной активности.

Императивными макроэкономическими условиями активизации инвестиционных процессов должны стать:

- обеспечение транспарентности хозяйственной деятельности; укрепление правового поля хозяйственной деятельности на всех уровнях экономического развития;
- создание системы мероприятий по снижению рисков капиталовложений;
- защита прав интересов хозяйствующих субъектов;
- формирование действенной системы государственного кредитования;
- создание режима накопления, позволяющего производительно использовать внутренние сбережения вне зависимости от уровня доходов и предельной склонности к сбережению;

– проведение государством активной внешнеторговой политики; совершенствование налоговой политики, тарифов естественных монополий, механизмов регулирования поставок продукции на экспорт и регулирования экономического развития;

– изменение амортизационной политики, предусматривающее усиление ее нацеленности на динамическое расширение воспроизводства основного капитала [9].

Наряду с высокоэффективными отраслями, выступающими локомотивами экономического развития национального хозяйства, нельзя забывать и о менее эффективных сферах, без которых передовые отрасли не смогут полностью раскрыть свои возможности. А вот здесь зачастую реконструкция уже невозможна – требуются новые мощности. В ряде отраслей российской промышленности нет смысла преодолевать спады традиционного производства, поскольку оно неконкурентоспособно: необходима организация новых производств, не испытывающих в ближайшей перспективе резких ограничений спроса. Благоприятную конъюнктуру в области экспорта энергоносителей и других ресурсов российскому государству следует использовать как условие расширения отечественных инвестиций инновационного характера, поскольку надежды на «цивилизаторскую» миссию иностранных инвесторов беспочвенны.

Стратегия достижения устойчивого экономического развития России через структурную переориентацию национального хозяйства предполагает постепенное формирование соответствующего экономического и правового климата, делающего все «грязные» и ресурсоемкие производства, предприятия добывающей и тяжелой промышленности менее выгодными, переключая капитал и другие ресурсы в наиболее безопасные отрасли. Должны быть сформированы благоприятные условия для развития ресурсосберегающих предприятий в обрабатывающей и перерабатывающей промышленности, инфраструктуре. Государство должно проводить эффективную селективную экономическую политику для изменения структуры инвестиций в отдельные секторы национального хозяйства и внутри них на основе макроэкономического регулирования, индикативного планирования с помощью налоговых инструментов, льгот, кредитов, субсидий, таможенных тарифов, платежей и пр.

Устойчивое экономическое развитие в принципе исключает единое субсидирование промышленных предприятий, поскольку оно продолжает тенденцию неэкономического роста, когда издержки растут быстрее, чем прибыль: государственное субсидирование можно использовать только после выбора хозяйственного объекта на основе его социоэколого-экономической перспективности. Целевое финансирование и кредитование должны получить лишь те предприятия, которые отвечают требованиям устойчивого развития с тщательным контролем расходов выделенных средств. Необходимой представляется финансовая поддержка развития сферы экологических услуг (экологического аудита, менеджмента, консалтинга, эколого-экономического проектирования объектов), позволяющая создать новые, достаточно высокооплачиваемые рабочие места, сняв напряженность в области занятости. Эффективным средством достижения устойчивости экономического развития России может стать введение ускоренной амортизации экологически чистой и ресурсосберегающей техники, увеличивающее скорость возмещения основного производственного капитала.

Изменениям структуры национального хозяйства будут способствовать развитие инфраструктуры и реализация комплекса мер по повышению конкурентоспособности ведущих секторов, включая: реализацию общесистемных мер, направленных на снижение институциональных барьеров, стимулирование спроса на научно-техническую продукцию, новую технику и технологии и ускорение выбытия устаревшего оборудования; повышение эффективности государственных финансовых институтов развития, включение их ресурсов в реализацию программ развития секторов национального хозяйства и инфраструктуры; развитие программно-целевого подхода к структурным преобразованиям в национальном хозяйстве и развитие инфраструктуры на основе реализации федеральных и ведомственных целевых

программ; создание технико-внедренческих парков, формирование территориально-производственных кластеров, реализацию программ содействия развитию инновационной инфраструктуры, промышленного дизайна и инжиниринговых услуг.

Повышению конкурентоспособности ведущих секторов национального хозяйства призвана способствовать налоговая политика, обеспечивающая снижение налоговой нагрузки на бизнес, упрощение процедур расчетов и уплаты налогов и упорядочение налоговых проверок и отчетности. Реструктуризация налоговой системы России должна быть ориентирована на увеличение удельного веса налогов, связанных с природопользованием (платы за право пользования природными ресурсами, «зеленых» налогов, налогов на экономически неблагоприятную деятельность, приводящую к загрязнению окружающей среды, налогов на добычу полезных ископаемых), регулирование экспортной пошлины и создание налоговых стимулов для рационального использования и экономии природных ресурсов, снижения уровня загрязнения. Повышение доли налогов природоэксплуатирующего сектора в общей их сумме будет способствовать адекватному отражению роли огромного природного потенциала в национальном хозяйстве, изъятию природной ренты в пользу общества.

Экологизация налоговой системы позволит перенести центр тяжести с использования первичных природных материалов на применение вторичных рециклируемых материалов и отходов, снизить экологическую деградацию и повысить занятость населения страны, ибо утилизация и рециклирование – более трудоемкие технологии по сравнению с добычей природных ресурсов. В целом структура налоговой системы должна быть изменена таким образом, чтобы в доходной части бюджета значительно увеличилась доля платы за пользование природными ресурсами по сравнению с доходными налогами на физических лиц и другими налогами.

На регионально-экономическом уровне необходимо перейти к созданию условий, стимулирующих субъекты Российской Федерации и муниципальные образования к мобилизации имеющихся ресурсов экономического развития. Это должно достигаться путем повышения эффективности государственного управления, формирования и развития производственных кластеров, совершенствования межбюджетных отношений, направленных на стимулирование проведения экономических реформ в регионах.

Движение к устойчивому эколого-социоэкономическому развитию одних регионов не должно осуществляться за счет деградации других. Регулирование экономического развития регионов должно ориентироваться на применение принципа максимальной самообеспеченности региона с сокращением количества экологически нерациональных обменов и наиболее эффективным использованием собственных производственно-экологических возможностей. Для достижения устойчивого экономического развития национального хозяйства на региональном и местном уровнях российскому государству необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить равную и добросовестную конкуренцию между регионами и муниципальными образованиями за привлечение капитала, рабочей силы, включая устранение барьеров свободному перемещению рабочей силы, товаров и услуг, капиталов, открытие региональных рынков, устранение препятствий для реализации инвестиционных проектов, развития малого бизнеса на региональном и местном уровнях;

- стимулировать внедрение инструментов стратегического планирования, программно-целевого бюджетирования, новых механизмов административного регулирования и управления, взаимоотношений с органами местного самоуправления, развития механизмов частно-государственного партнерства на региональном и местном уровнях;

- разработать механизмы, стимулирующие приток внешних и внутренних мигрантов в трудодефицитные регионы страны;

- создать систему образовательных проектов, направленных на подготовку высококвалифицированных специалистов;

- совершенствовать существующие механизмы финансового поощрения регионов и муниципальных образований, ориентированных на проведение приоритетных реформ, доленое финансирование мероприятий региональных и местных органов власти в области проведения экономических реформ за счет средств федерального бюджета;
- сформировать систему федерального мониторинга экономического развития регионов и муниципальных образований, предусматривающую проведение анализа реализации экономических реформ и состояния нормативно-правовой базы, выявление барьеров осуществления предпринимательской деятельности и инвестиционных проектов, распространение лучшей практики проведения реформ на региональном и местном уровнях;
- разработать стимулы для реализации проектов по развитию социальной инфраструктуры на региональном и местном уровнях;
- способствовать развитию независимых выборных органов местного самоуправления;
- обеспечить межрегиональную координацию решений в области экономической политики, включая выработку механизмов совместного участия в разработке программ комплексного экономического развития регионов, координацию разработки региональных энергетических программ и программ энергосбережения, создание нормативной правовой основы формирования благоприятного предпринимательского климата в регионах и муниципалитетах;
- содействовать кооперации поставщиков оборудования, комплектующих, специализированных производственных и сервисных услуг, научно-исследовательских и образовательных организаций;
- совершенствовать систему мер федеральной политики в отношении приграничных территорий (Северного Кавказа, Калининградской области, Дальнего Востока и др.), предусматривающих помимо оказания федеральной поддержки применение особых мер в области миграционной политики, международных и внешнеэкономических отношений;
- обеспечить прозрачность разработки и исполнения бюджетов субъектов Российской Федерации.

Установление приоритетов регионального экономического развития должно быть направлено на более полный учет территориальных аспектов и проблем экономического развития всего национального хозяйства. Основными направлениями в этой области являются, во-первых, разработка подходов к решению проблем экономического развития регионов в зависимости от их типа и особенностей, во-вторых, создание на федеральном уровне системы принятия управленческих решений с учетом территориальных аспектов. Главным ориентиром экономического развития России должно стать создание информационно-индустриального, социально ориентированного и эффективного национального хозяйства, главным средством – переход на инновационный путь развития, предполагающий создание и распространение технологических новаций, формирование здорового инновационного климата в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новосельский В. Общественное сознание и экономическая политика / В. Новосельский // Экономист. 2005. № 1. С. 46-51.
2. Федоренко Н.П. О целях и стратегии социально-экономического развития России / Н.П. Федоренко // Экономика и математические методы. 2003. № 2. С. 3-13.
3. Бородин А. Экономические механизмы устойчивого развития / А. Бородин // Экономист. 2005. № 4. С. 63-72.
4. Шевченко И.В. Стратегические направления политики стимулирования экономического роста в России / И.В. Шевченко, Е.Н. Александрова, В.Н. Мовчан // Экономика разви-

тия региона: проблемы, поиски, перспективы: ежегодник. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005. Вып. 6. С. 34-42.

5. Колганов А.И. Проблемы укрепления инновационного потенциала российской науки / А.И. Колганов // 1917-2007: Уроки СССР и будущее России (ресурсно-энергетические, экономико-политические и социально-культурные параметры): доклады и выступления. М.: ЛЕНЕНД, 2007. С. 287-289.

6. Абалкин Л. Экономическая политика и ее ответственность за развитие науки (методологические размышления) / Л. Абалкин // Экономист. 2004. № 5. С. 3-7.

7. Глазьев С.Ю. Стратегия пустословия / С.Ю. Глазьев // Босс. 2006. 3 мая.

8. Глазьев С.Ю. Развитие российской экономики в условиях глобальных технологических сдвигов: научный доклад / С.Ю. Глазьев. М.: НИР, 2007. 134 с.

9. Бобров А.Л. Устойчивое развитие и экономика природопользования / А.Л. Бобров, К.В. Папенков // Вестник Московского ун-та. Сер. 6. Экономика. 2004. № 4. С. 3-16.

Орехова Елена Анатольевна –

кандидат экономических наук, доцент,

профессор кафедры «Экономическая теория и национальная экономика»

Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского

Статья поступила в редакцию 28.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 656.13

И.М. Попова, К.Н. Клочков

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АУТСОРСИНГ КАК ЭЛЕМЕНТ ГАРМОНИЗАЦИИ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Рассматривается организация работы городских пассажирских перевозок (ГПП) на основе логистического аутсорсинга. Выявляется конкурентоспособность ГПП за счет гармонизации логистических потоков. Обсуждаются вопросы создания логистического центра, который будет выполнять функции аутсорсинга, что даст возможность высвободить денежные средства из неликвидных активов и более эффективно использовать инвестируемые средства.

I.M. Popova, K.N. Klochcov

LOGISTIC OUTSOURCING AS AN ELEMENT OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION HARMONIZATION

The organization of urban passenger transportation (UPT) on the basis of logistic outsourcing is being considered here by the authors. UPT's competition as a result of the logistic flows harmonization is researched. The problem of the logistic outsourcing center foundation is presented here as well. It gives the opportunity of more effective use of investments.

Переход от стабильных хозяйственных связей к рыночной системе организации перевозок предъявляет новые требования к качеству самого процесса перевозки. При оптимизации перевозочного процесса значительно усложняются задачи планирования, контроля на транспорте и системы обработки информации. Подобные задачи могут быть решены в рамках логистической парадигмы. В сложившейся ситуации необходимо создание нового образа мышления, новых оценок и развитие научного знания об эволюции логистических процессов. В этой связи особенно актуальными становятся исследования таких фундаментальных свойств логистических потоков, как адаптивность и управляемость, поскольку этими свойствами, в значительной степени, определяется динамика эволюции логистических процессов (ЛП). Кроме того, адаптационные свойства обладают и другими утилитарными качествами, они оказывают существенное влияние на конкурентоспособность ЛП, поскольку при одних и тех же переменных издержках более адаптированные логистические потоки обеспечивают выполнение большего объема транспортных услуг.

Под адаптацией в данном случае понимается свойство, позволяющее логистическим потокам приспособиться друг к другу, парируя тем самым возмущение внешней среды [1]. Степень адаптации одного потока к другому можно оценить с помощью уровня организованности процесса перевозок.

Понятие уровня организованности отражает количественный разброс между поставленной целью и полученным результатом. Если задана цель, то важно знать не «абсолютную» организованность, а неорганизованность функционирования, поскольку она является оперативной информацией о качестве функционирования процесса. Таким образом, неорганизованность – это мера различия какого-либо выбранного параметра, например X_j в отношении эталона порядка $X_{эм}$, которая стремится к нулю при $X_j \rightarrow X_{эм}$.

Поскольку в общем случае центр упорядоченности представляет собой не точку, а некоторую область, которая называется квазиупорядоченной зоной, то неупорядоченность рассматривается в отношении границ этой зоны $f(x_i)$.

Тогда модель неупорядоченности $\bar{\gamma}_j$ будет иметь вид:

$$\bar{\gamma}_j = [x_j - x_{эм}] - f(x_j), \quad \bar{\gamma}_j \geq 0. \quad (1)$$

В более общей форме, оперируя с векторной величиной, можно перейти к выражению

$$\bar{\gamma}_j = q_i - f(x_j), \quad (2)$$

где q_i – модуль вектора рассогласования.

Сложность системы является функцией либо числа элементов, входящих в систему, либо их разнообразия. В неорганизованность сложность входит косвенно, через число рассматриваемых параметров, возможных ситуаций и временных интервалов. Неорганизованность представляет собой обобщенную за рассматриваемое число временных интервалов характеристику неупорядоченности, взвешенную по фактору существенности ее проявления в отношении определенных показателей функционирования системы [1]. В процессе исследований была выявлена зависимость конкурентоспособности логистических процессов от степени адаптации составляющих их потоков друг к другу. Таким образом, целенаправленное формирование адаптационных свойств логистических потоков позволяет на количественном уровне гармонизировать их взаимодействие и тем самым обеспечить конкурентоспособность ЛП.

Применительно к системе городских пассажирских перевозок (ГПП), адаптационный процесс между информационным, финансовым и пассажирскими потоками подчиняется той же логике. Обеспечить конкурентоспособность городских пассажирских перевозок (ГПП) за счет использования логистического подхода можно только на основе количественной оценки характеристик этих потоков. Для получения этих оценок требуются существенные материальные и финансовые, а также интеллектуальные ресурсы, которыми не обладают пассажирские предприятия. Между тем, устранить возникшие проблемы можно, используя междуна-

родный опыт с учетом стратегии аутсорсинга. Активное развитие логистического аутсорсинга во всем мире объясняется тем, что в связи со стремительным развитием технической базы и технологий логистики предприятиям сложно самостоятельно отслеживать появление технологических новшеств и своевременно внедрять их, не имея большого штата квалифицированных логистов. Оказывается, что предприятиям, как правило, выгоднее привлекать аутсорсера со штатом высококвалифицированных логистов, чем создавать и расширять свои собственные логистические подразделения.

В настоящее время различают следующие виды аутсорсинга (рис. 1) в зависимости от включения в соглашение по аутсорсингу передачи функций, процессов их назначения и количества: аутсорсинг бизнес-процессов – «business process outsourcing», аутсорсинг информационных технологий или IT-аутсорсинг, аутсорсинг финансов, аутсорсинг трудовых ресурсов, аутсорсинг технического обслуживания программного обеспечения, аутсорсинг маркетинговых функций. Применительно к городским пассажирским перевозкам наибольший интерес представляет аутсорсинг информационных технологий (IT-аутсорсинг). Этот вид включает в содержание контракта передачу сторонней организации полностью или частично функций по обслуживанию информационных потребностей предприятия [2]. Поскольку система пассажирских перевозок крупного мегаполиса может рассматриваться как логистическая система, то для управления этой системой необходима достоверная информация о пассажиропотоках и сопутствующих им информационных и финансовых потоках.

Для получения подобной информации необходимо создавать аутсорсинговые предприятия в виде логистических центров. Этот логистический центр будет выполнять функции, несвойственные для транспортных предприятий, то есть аутсорсинг. Логистическому центру может быть присвоен статус общественной организации. Одна из возможных схем функционирования предложенной системы может быть представлена следующим образом (рис. 2). Главным инновационным элементом предлагаемого аутсорсингового предприятия является диагностическая колонна, которая представляет собой колонну автобусов, оборудованных электронной техникой для подсчета пассажиропотока и оценки его основных характеристик. Данная колонна последовательно работает на всех маршрутах города, снимая характеристики пассажиропотоков, которые формируются в виде кадастра, являющегося основой для целенаправленного формирования адаптационных свойств логистических потоков.

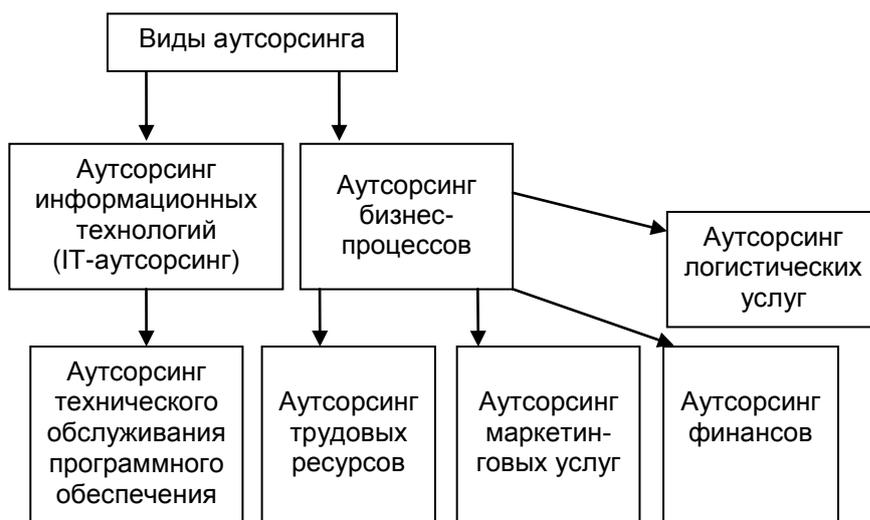


Рис.1. Виды аутсорсинга



Рис. 2. Возможная схема функционирования городских пассажирских перевозок с использованием стратегии аутсорсинга

Учредителями и пайщиками подобного логистического центра могут быть министерство транспорта и муниципалитет. В процессе аутсорсинга предприятие оставляет за собой основные функции, а в аутсорсинг передает технологические функции: обследование пассажиропотока, создание кадастра, выработку рекомендаций по оптимизации перевозок. Аутсорсинг способствует рациональному распределению ресурсов предприятия и концентрации на тех видах бизнеса, в которых у предприятия есть определенные преимущества, что позволяет руководству предприятия сконцентрироваться на выработке стратегии развития предприятия и конкурентной стратегии [3]. Таким образом, логистический центр несет сугубо технологические функции, но не властные. Данный центр не является владельцем транспорта – городские автобусы находятся в муниципальной собственности, либо у частных компаний. Но на рынке транспортных услуг (РТУ) все должно действовать в рамках, определенных центром, и согласуясь с ним. В заключение отметим, что система логистического аутсорсинга впервые позволит управлять системой ГПП властям города, создавая при этом условия для нормального функционирования городского пассажирского транспорта. Кроме того, программа аутсорсинга позволит отказаться от содержания дорогостоящих внутренних служб, управляющих транспортом, обеспечит управление транспортным блоком с полным согласованием действий с потребностями ГПП. Появится возможность гибко адаптировать универсальную модель управления ГПП с учетом структуры и особенностей конкретного предприятия, высвободить денежные средства из неликвидных активов, эффективно используя транспортные активы, а также реализовать крупные проекты с привлечением соответствующих инвестиционных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клочков В.Н. Адаптация и конкурентоспособность автотранспортных систем в рыночных условиях / В.Н. Клочков. СПб.: СПбГИЭА, 1999. 215 с.
2. Ивлев А.Г. Аутсорсинг организационного развития / А.Г. Ивлев // РИСК. 2004. № 7/8. С. 29-31.

3. Аникин Б. Основные аспекты формирования аутсорсинга / Б. Аникин, В. Воронов // Мир бизнеса. 2005. № 4. С. 111-114.

Попова Ирина Михайловна –

ассистент кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте»
Саратовского государственного технического университета

Клочков Константин Николаевич –

доктор экономических наук,
профессор кафедры «Организация и управление на предприятиях машиностроения»
Балаковского института техники, технологии и управления (филиала)
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 23.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 338.33

А.А. Тупикина

РЕФОРМИРОВАНИЕ РЫНКА ТРУДА ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКИ ГЕРМАНИИ

В современных условиях Россию и ФРГ связывают укрепляющиеся позиции интеграции и роста сотрудничества во многих отраслях и сферах деятельности. Эффективность экономики ФРГ во многом базируется на государственном регулировании экономической и социальной сфер. В статье представлен анализ опыта государственного регулирования рынка труда ФРГ в рамках предложенной инновационной программы «Хартц-реформы», важность изучения которого для нашей страны объясняется общностью имеющих проблем.

A.A. Tupikina

GERMAN LABOR MARKET REFORMATION

Integration and cooperation in different fields and areas are the most recent trends in relations between Russia and Germany. The competitiveness of German economy is based mainly on national regulation of economic and social fields. Paper represents an analysis of labor market regulations in frames of innovative program «Hartz-reforms». The importance of the research for the domestic economy is based on similar character of problems the countries face.

В настоящее время для российской экономики актуальной является проблема разработки стратегии регулирования рынка труда, адекватной современным тенденциям развития. Важность изучения опыта Германии по регулированию рынка труда для нашей страны объясняется общностью проблем: Россия и Германия являются федеративными государствами, имеющими высокий уровень бюрократизации структур; при исторически сложившейся сильной роли государственного вмешательства в экономику государственное регулирование рынка труда осуществляется в основном при помощи пассивных мер; в последние годы рынок труда, как ФРГ, так и России, претерпел существенные изменения под влиянием развития процессов глобализации и интернационализации хозяйственных связей,

расширения участия стран в международной миграции рабочей силы. Одновременно с этим следует особо подчеркнуть ряд существующих отличий между странами, а именно тот факт, что ФРГ является сильнейшей с экономической точки зрения страной ЕС, достигшей высокого уровня развития экономики, именно поэтому простое копирование успешных зарубежных реформ и стратегий, или их отдельных элементов не является залогом успеха в отечественных условиях. Однако изучение опыта ФРГ, несомненно, будет способствовать выработке оптимальной стратегии развития рынка труда в отечественных условиях.

В связи с неблагоприятной ситуацией на рынке труда, характеризуемой высоким уровнем безработицы за период с 2000 (10,7%) по 2003 гг. (11,6%) (см. таблицу), в условиях, когда рынок труда ФРГ сильно зарегулирован, а исторически сложившиеся социальные гарантии в стране велики, в 2003 г. Правительством ФРГ был взят курс на реформирование рынка труда с целью увеличения конкурентоспособности страны в условиях глобализации. В 2005 г. показатель уровня безработицы достиг своего максимума за последние пять лет и составил 13%, однако, в результате развития реформ уже в 2006 г. безработица начала снижаться и составила в 2006 году 12% (см. таблицу).

Одним из центральных направлений реформ стала модернизация Федерального ведомства по вопросам труда. Федеральное ведомство труда является крупнейшим, высоко бюрократизированным органом исполнительной власти ФРГ, насчитывающим свыше 90.000 служащих. Основными полномочиями Федерального ведомства труда являются: выплата страхования по безработице, посредничество при поиске и трудоустройстве на работу безработных, осуществление мер государственного регулирования рынка труда.

Комиссией Хартц был разработан пакет рекомендаций по повышению эффективности деятельности, особенно по части улучшения посреднической функции Федерального ведомства труда.

Показатели уровня безработицы в процентах в ФРГ с 2000 по 2006 гг. [1]

Год	Всего	Мужчин	Женщин	Иностранцев
2000	10,7	10,5	10,9	17,3
2001	10,3	10,5	10,2	17,4
2002	10,8	11,4	10,3	19,1
2003	11,6	12,4	10,8	20,4
2004	11,7	12,5	10,8	20,5
2005	13,0	13,4	12,7	25,5
2006	12,0	12,0	12,0	23,6

В рамках первого «инновационного модуля» была рекомендована реорганизация существовавших ранее бирж труда в «центры труда». Данные центры имеют иерархическую структуру и разрабатывают проекты по посредничеству в поиске работы. Основная задача - упорядочение процедуры обслуживания и четкая ориентация на клиентов, как на ищущих рабочие места безработных, так и на предприятия, предлагающие рабочие места. В десятом «инновационном модуле» были представлены предложения, получившие названия «Персонал, Организация и Налогообложение». К ним относят улучшение возможностей самостоятельного сбора информации и самостоятельного поиска предложений рабочих мест и процесса подачи документов при помощи сети Интернет. Данный проект получил название «Виртуальный рынок труда».

В результате появления пакета законов Хартц III, ранее существовавшее Федеральное ведомство по вопросам труда было переименовано в Федеральное агентство по труду. Биржи труда (федеральных) земель получили название региональных отделений, а местные отделы по вопросам труда (административного органа) стали называться агентствами по труду. Изменение названий должно было способствовать снижению уровня бюрократизации и созда-

нию современных «предприятий по оказанию услуг». На данную процедуру было выделено около 35 млн евро из государственного бюджета ФРГ.

Большей эффективности услуг, оказываемых Федеральным агентством по труду, предполагалось достичь путем изменения законодательного и административного регулирования процедуры согласования общегосударственных целей в области регулирования рынка труда, а также привлечения к участию среднего звена руководства.

Согласование целей и результатов деятельности предусмотрено как для стратегического управления на высшем уровне руководства (при согласовании с Федеральным Правительством или административным советом Федерального агентства по труду), так и на более низком уровне оперативного руководства (региональные отделения, отделы по вопросам труда, биржи труда). Оценка эффективности проведенных работ отдельных агентств должна осуществляться при помощи непрерывного внутреннего контроля (мониторинга), дополняемого внешней научной оценкой и непрерывным сравнением выполненных работ (benchmarking – установление новой исходной базы [новых стандартов] результатов хозяйственной деятельности).

Стремление добиться изменения культуры работы находит свое проявление и в языковой форме: в новых агентствах по труду речь идет не о безработных, или получателях услуг, а о клиентах. С тем чтобы дифференцировать «сервисное обслуживание» безработных и лиц, ищущих работу, в зависимости от различных «потребностей клиентов», был предусмотрен ряд мер. В начале «контакта с клиентами», в зависимости от профиля, относят их к одной из четырех клиентских групп [2]:

1) «Рыночные клиенты», которые могут самостоятельно заниматься поиском рабочих мест. Им рекомендовано обращаться к возможностям «виртуального рынка труда»;

2) «Клиенты, нуждающиеся в консультации». Для улучшения возможностей выхода на рынок труда данной группы необходим либо особый вид помощи, либо содействие в смене вида профессиональной деятельности.

3) «Клиенты, нуждающиеся в содействии». Так называемые «спасительные менеджеры» осуществляют интенсивное обслуживание клиентов. Данной группе клиентов рекомендуется участвовать в ряде мероприятий, направленных на повышение квалификации. Менеджеры оказывают дополнительные услуги, такие как: социально-педагогическая помощь, долговые консультации, консультации для лечения неврозов, связанных с поиском работы.

4) В качестве клиентов выступают потенциальные работодатели, для обслуживания которых работают отдельные консультанты.

Местные агентства по труду должны быть преобразованы в новые «Клиентские центры» с организацией производства по принципу регулирования последовательности операций. Данный тип организации является более удобным для клиентов, с точки зрения разработчиков.

Данная концепция была испытана на практике в рамках отдельных модельных экспериментов, в частности в Центре по обслуживанию клиентов в Хайльбронне, который стал первым образцовым центром для посетителей. Важным нововведением стало функционирование «сервис-центра» по телефонному обслуживанию клиентов и учреждение «места явки всех клиентов», позволяющие решать простейшие просьбы моментально на месте. В случае возникновения более сложных вопросов дата встречи оговаривается дополнительно. Специалисты операционного отдела, занимающиеся, в частности, поиском работы для клиентов, освобождаются от необходимости отвечать на частые телефонные звонки.

В 2003 г. в эксплуатацию был введен новый Интернет-портал Федерального агентства по труду (www.arbeitsagentur.de) с «виртуальным рынком труда». Он является удобным для пользователей, базированным в Интернете, рынком рабочих мест, позволяющим продуктивно осуществлять поиск необходимого рабочего места.

В результате улучшения механизмов предоставления консультационных услуг безработным, введению помощи так называемым «клиентам, нуждающимся в консультации» и

«клиентам, нуждающимся в содействии», хорошего отношения к клиентам со стороны работников агентств, удалось добиться сокращения численности долгосрочных безработных. Таким образом, в Германии с 2003 по 2005 гг. было проведено широкомасштабное реформирование рынка труда и трудовой политики, которое явилось реализацией либеральной концепции, связанной с сокращением социальных функций государства. Нововведениями пакета законов Хартц I-IV стали: активная политика на рынке труда, поддержка занятости низкоквалифицированных специалистов, либерализация частичной занятости и «заемной занятости», реорганизация органов управления, нововведения в социальном страховании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Deutschland in Zahlen. Institut der deutschen Wirtschaft Koeln. Deutscher Instituts-Verlag GmbH, 2007. 163 s.
2. Scherl H. Die Arbeitsmarktreformen in Deutschland nach den Vorschlaegen der «Hartz-Kommission» / H. Scherl // Arbeitsmarktpolitik im Aufbruch Herausforderungen und innovative Konzepte. Mandelsbaum Verlag, 2006. 154 s.
3. Baczko M. Hartz IV und Arbeitslosengeld II / M. Baczko. Planegg: Haufe Verlag, 2006. 275 s.
4. Brand J. Hartz IV – Mein Recht auf Arbeitslosengeld II / J. Brand. Berlin: Stiftung Warentest, 2007. 254 s.
5. Kerschkamp D. Besser Leben mit der Hartz IV-Falle / D. Kerschkamp. Rastatt: Pabel-Moewig Verlag, 2006. 342 s.

Тупикина Анастасия Александровна –
аспирант кафедры «Экономическая теория и учения»
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 24.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

УДК 659: 316.33

А.В. Барябин

СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ БИЛБОРДОВ В ГОРОДСКОМ ВИЗУАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Освещены теоретические подходы к изучению рекламного воздействия, а также результаты авторского эмпирического исследования особенностей оценки билбордов различными возрастными группами горожан.

A.V. Variabin

SOCIOLOGICAL APPROACH IN BILLBOARDS EVALUATION IN THE CITY VISUAL SPACE

This article is about the theoretical approach to advertisement research and the results of empirical research of evaluation billboards by different age groups of citizens.

Билборд, или традиционный рекламный щит называют главным компонентом рекламной индустрии. Вывески, представляющие товары и услуги, – самый старый вид рекламы, восходящий к доисторическим временам. Современная эпоха наружной рекламы наступила в самом начале XX века, когда автомобиль привел к созданию «мобильного» общества. Сегодня подвижное население, проводящее много времени вне дома, охватывается с помощью определенного количества продвигающих продукты обращений, представленных множеством форматов. Билборды – привлекающее внимание средство информации, эффективность которого определяется высоким уровнем охвата и частоты и вместе с тем, низким уровнем затрат на их производство [1, с.344-352].

Очевидно, что реклама стала неотъемлемой частью социальной реальности, а значит, и предметом исследовательского интереса социологов, стремящихся изучить социальную феноменологию рекламы, ее структуру, место и функции в социальной реальности, принципы и эффекты воздействия на социум. Социологическое изучение такого воздействия позволит, в конечном счете, более обоснованно осуществлять социальный контроль над рекламным воздействием, прогнозировать и предупреждать, хотя бы частично, его негативные социальные следствия, особенно латентные.

Анализу влияния рекламы на социальную реальность и представлений членов социума об этой реальности посвящены работы ряда известных социальных исследователей. Одним из первых социологов, введших рекламу в систему социологического научного знания, называют В. Зомбарта [2]. Актуальность рекламной проблематики подчеркивается в работах таких исследователей общества потребления, как Э. Тоффлер [3], Д. Белл [4]. Анализу воздействия рекламы на социальность посвящены работы известных постмодернистов Ж. Бодрийера [5], Р. Барта [6], Г. Дебора [7], Ж. Липовецки [8], С. Жижека [9], У. Эко [10].

Методологические основания изучения особенностей воздействия билбордов как наружной рекламы заложены, на наш взгляд, в значительной степени экологической социологией Р. Парка, предложившего оригинальный подход к изучению города как социального суперорганизма. Город рассматривался как система жизни, сложившаяся благодаря экономической деятельности человека. Экономическая деятельность, с точки зрения Р. Парка, – это первичная область соревнования, а экономическое соревнование порождает тот вид порядка, который называется экологическим [11].

О. Яницкий подчеркивает, что благосостояние и перспективы развития современных обществ зависят от состояния биофизической среды. Взаимодействие человеческого общества и биотехносферы, т.е. социально-средовые отношения являются, с его точки зрения, фундаментальной проблемой экосоциологии и социальной антропологии [12].

Реклама, так же как транспорт и коммуникация, названа первичным фактором экологической организации города. В работах В.А. Филина, разрабатывающего видеоэкологию как новое научное направление, являющееся областью знаний о взаимоотношениях человека с окружающей его видимой средой, отмечается, что рекламные щиты – элемент визуального загрязнения города, прибавляющий образу города агрессивности и безвкусицы. Процессы урбанизации, с его точки зрения, полностью исключили возможность наслаждаться окружающей средой. Человек получил гомогенную и агрессивную среду, которая, будучи противостественной, не только не доставляет эстетического наслаждения, но и порождает большое число социальных проблем. Агрессивная среда побуждает и к агрессивным действиям, наносит ущерб психическому и физическому здоровью горожанина [13, с.271-290].

К. Линч подчеркивает, что образ города, если для него не характерен визуальный хаос, хорошо читаем, может иметь позитивное практическое и эмоциональное значение для наблюдателя: «не только несет с собой чувство безопасности, но и повышает потенциальную глубину, интенсивность человеческого опыта. Хотя жизнь и возможна в визуальном хаосе современного города, те же повседневные действия могут приобрести дополнительное значение, если они осуществляются в более животворном окружении. Потенциально город сам по себе – символ сложности общества, и, если зрительно он хорошо организован, этот символ приобретает сильную выразительность» [14, с.18].

Анализ и оценка образа окружения, с точки зрения К. Линча, может осуществляться по трем основным параметрам – опознаваемость, структура и значение, хотя следует помнить, что в действительности все эти компоненты проявляются одновременно. Для «работающего образа», с точки зрения К. Линча, необходима, во-первых, опознаваемость объекта, предполагающая различение его среди других. Во-вторых, образ должен включать в себя пространственную или формальную отнесенность объекта с наблюдателем и другими объектами. В-третьих, объект должен иметь какое-то практическое или эмоциональное значение для наблюдателя. Для того чтобы город доставлял удовольствие массам людей с весьма различными характерами и давал возможность удовлетворять будущие потребности, образы городского окружения должны отвечать, прежде всего, требованию предметной ясности.

На наш взгляд, эти параметры могут быть положены и в основу оценки билбордов как объектов городской среды, с точки зрения горожан. Являются ли рекламные щиты ориентирами для горожан как ориентиры локального типа, видимые только в ограниченных пределах и с определенных подходов? Рекламные щиты, бесчисленные знаки, вывески, витрины и

прочие детали насыщают образ города для большинства наблюдателей. Могут ли они служить ключами опознания структуры образа, и могут ли люди полагаться на них в значительной степени? Какими личными значениями и личными ассоциациями наполнено восприятие наружной рекламы горожанами?

Антропологические и социально-психологические исследования являются необходимым элементом производства рекламы. Но результаты этих исследований используются в достаточно узком, утилитарном смысле, в интересах производителя. Не менее актуально, на наш взгляд, изучение влияния рекламы как элемента городского окружения на различные социальные группы в более широком социологическом контексте.

Необходимо выяснять, как же люди действительно воспринимают свой город, свое непосредственное предметно-пространственное окружение и, в частности, рекламу на улицах города. При этом исследование может быть ориентировано на побуждение у людей остроты видения, выходящей за рамки их повседневного поведения.

Наше эмпирическое исследование заключалось в интервьюировании методом полуструктурированного интервью 20 респондентов двух возрастных групп: 1) молодежь от 15 до 17 лет; 2) представители старшего поколения от 55 до 65 лет.

Интервью было направлено на изучение особенностей восприятия билбордов городскими жителями, как потребителями этого продукта. Вопросы были сформулированы таким образом, чтобы получить информацию о практическом и эмоциональном значении городской рекламы в восприятии городских жителей различного возраста.

Эмоционально реакция на сочетание слов «*реклама на улицах города*» может быть достаточно яркой у пожилых горожан: «Что может приходить в голову? Ужас один тихий...»; «чувство неудовольствия полнейшего... чувство стресса, даже так можно сказать»; «даже и хорошее что-то может быть там, но все это уже раздражает, и уже не смотришь»; «если это на каждом метре, эта назойливость надоедает». И все-таки бывают исключения: «Иногда что-то может быть красивое, что-то умное написано, тогда воспринимаешь уже по-другому».

В группе молодых респондентов мы обнаружили весь спектр впечатлений: «Надоела реклама, неприятные чувства. Одно слово «реклама» взбудораживает»; «эти рекламные щиты... они город засоряют, мне это не импонирует»; «нормально, ничего, я ее даже не замечаю»; «город современно как-то смотрится»; «мне интересно, когда появляется что-то новое, например магазин какой-то – хочется туда сходить, может купить что-то»; «что-то такое яркое и в то же время грязное что-то, ненужное, мусор какой-то».

На просьбу интервьюера *припомнить какую-нибудь рекламу*, пожилые отвечают с улыбкой, что их часто меняют и трудно поэтому запомнить: «Мне больше всего запоминается, когда написано: «Минздрав предупреждает, что курение опасно для вашего здоровья», потому что здоровье у меня не очень хорошее и мне нравится, что кто-то предупреждает, что – вредно, а что – полезно».

Впрочем, слова о том, что курение опасно, вспоминают и молодые респонденты: «Рекламируют, к сожалению, алкоголь и курение, лучше бы не рекламировали это». Вспоминают чаще всего рекламу компании «Билайн», сотовых телефонов. Юношам чаще вспоминается что-то, если на рекламном щите изображена девушка. Один из респондентов отметил как запомнившийся рекламный щит с изображением нашей футбольной команды: «Там было написано: «Болей за наших». Это патриотический дух поднимает у людей, проходящих по городу, молодежь призывает спортом заниматься. А вот когда сигареты рекламируют... это вообще не нужно». Девушки чаще припоминают рекламу магазинов.

И старшее поколение и молодое примерно одинаково оценивают частоту попадания уличной рекламы на глаза: «да, часто, когда еду на машине, вижу эти крупные щиты, они часто меняются, то один, то другой»; «очень часто»; «часто, практически через каждые пятьдесят метров появляются рекламные щиты»; «часто, особенно если едешь в транспорте».

На вопрос: «*Стараетесь ли Вы рассмотреть рекламу, когда она попадает на глаза?*» пожилые респонденты отвечают следующее: «да, конечно, обязательно»; «иногда да, когда попадается что-нибудь красивое, например мебель ... смотришь, хорошая мебель, кухни, например...». Однако удовольствие от красивой картинке не всегда перерастает в хорошее настроение. На вопрос интервьюера «А что Вы думаете при этом?» пожилая женщина с грустью замечает: «А при этом сразу вздыхаешь и думаешь, что нет возможности ни купить, ни помочь даже детям своим, чтобы они купили такую мебель. Вот что приходит в голову – нищета наша».

Молодые внимательнее к рекламной продукции: «Стараюсь рассмотреть, прочитать, что написано»; «когда время есть – я рассматриваю, много можно интересной информации почерпнуть»; «нет, не разглядываю, а что там смотреть?»; «если что-то новое, то да»; «вообще да». Такой ответ, как, к примеру: «Нет, не рассматриваю, мне это не интересно» – скорее исключение.

Вопрос о том, *какого цвета обычно бывают щиты*, не вызывает затруднений для припоминания, однако оценка их может быть разной у респондентов. Пожилые вспоминают: «Обычно яркие, они привлекают внимание. Цвет бывает и голубой и коричневатый такой, приятный цвет»; «я бы не сказала, что она назойливого цвета, нет...». Молодые отмечают: «Синий, яркий голубой, иногда белый»; «яркие цвета, возбуждающие»; «черная, белая, разных цветов»; «светлые», «синий, красный, контрастные»; «всякие, пестрые»; «бывает чересчур аляписто, а бывает и ничего – контрастно просто».

Возможность использования рекламных щитов в качестве ориентиров в городе оценивается респондентами не слишком высоко: «Нет, конечно, это трудно»; «это очень сложно, но там, где я часто бываю, – смогу». Молодым это сделать, судя по ответам, проще: «Можно, легче по вывескам каким-нибудь»; «в принципе... можно»; «можно, вот здесь есть недалеко такие щиты»; «трудно, она одинаковая бывает. Я лично по домам ориентируюсь, по магазинам»; «можно, наверное, если город хорошо знать»; «конечно, можно»; «реклама же меняется постоянно, поэтому нельзя использовать».

Мнение старшего поколения о том, *украшает ли город реклама*, оказалось неоднозначным: «Мне кажется, они украшают город. Большие такие картины, виды... когда их не было – неуютно; «если они через каждые два-три метра, они портят вид города, естественно»; «должна быть какая-то определенность, а не через три, четыре дома, и на той стороне, и на этой стороне – это совсем ни к чему».

Мнения молодых *о влиянии рекламы на облик города* разделились: «Украшают, особенно вечером, когда огни горят, а вообще-то одни и те же щиты – приедается»; «днем как-то не больно-то, а вечером – ее освещение украшает»; «без рекламы было бы еще хуже»; «украшает, когда ночью рекламные щиты горят, это красиво, появляется что-то загадочное»; «портит даже, здания закрывает, город становится менее интересным».

Рекламы не должно быть больше, с точки зрения как пожилых, так и молодых респондентов: «Если будет больше... это будет хаос какой-то, это уже будет неприятно»; «если рекламы будет больше, будет, как в телевизоре... больше ничего не увидишь, кроме этих реклам в городе»; «они будут закрывать достопримечательности, будут бросаться в глаза и ничего уже больше не увидишь»; «реклама портит, деревья из-за нее вырубают, кустарник, лучше бы цветочки посадили, чем рекламные щиты»; «меньше, когда ее много – она становится мусором каким-то, не нужно ее»; «пусть будет, сколько есть, больше – слишком загружено будет, перебор, а так – нормально».

Можно встретить, но гораздо реже, среди молодых и другое мнение: «Можно немножко больше, мешать не будет»; «наверное больше, потому, что не каждому хочется читать газеты, так проще получить информацию, и всякие рисунки привлекают внимание»; «хорошей, качественной может быть больше, например, где девушки красивые изображены».

На вопрос: «Влияет ли реклама на горожан?» пожилые респонденты отвечают: «Особенно и не влияют, они же не броские, наверху висят, едешь и не обращаешь внимания»; «если реклама не насаживается навязчиво, еще можно перетерпеть все это, может быть, кто-то воспользуется... Красоты особой в этом нет, лучше поменьше»; «наверное, нет».

Молодые респонденты рассудительно замечают по поводу влияния рекламы на горожан: «Многие не обращают внимание на рекламу – многим это не нужно, большинство... молодежь, наверное, обращает на нее внимание. Дедушки и бабушки – им уже не до рекламы, а молодым интересно – есть реклама и про работу... кто что ищет»; «влияет, люди стараются приобретать то, что рекламируется»; «я думаю, что она раздражает людей, они со своими заботами, а тут эта реклама навязчивая»; «да, надоедает, бывает и по телевизору и на улице».

На нашу просьбу припомнить какую-либо историю, связанную с рекламой, откликнулись только два молодых респондента. История респондента А. оказалась грустной: «мужчина на вокзале обдирал старую рекламу и чуть не свалился с лестницы, мог бы разбиться...».

Совсем другую историю рассказала респондентка: «Жених моей сестры заказал ко дню ее рождения на Третьей Дачной рекламный плакат, на котором было написано его поздравление: «Моей любимой Елене с днем рождения». Плакат висел месяц. Это было здорово».

Таким образом, мы можем отметить, что ответы старшего и молодого поколений на вопросы, касающиеся особенностей их восприятия наружной городской рекламы, оказались достаточно разнообразными. Билборд может ассоциироваться у респондентов с грязью, мусором в городе, а может стать красивым способом объяснения в любви.

Однако можно сказать, что рекламная продукция, судя по ответам респондентов, имеет большее значение и влияние на молодое поколение, нежели на старшее. Как позитивного, так и негативного плана отзывы респондентов о городской рекламе более эмоциональны у молодых. В целом мы можем сказать, что билборды, глазами большинства наших респондентов, скорее портят облик города, нежели украшают его, нарушают экологию городского пространства и в прямом и в переносном смысле. В качестве безусловно позитивного отмечено только одно качество наружной рекламы – ее ночное освещение, придающее, по словам наших молодых респондентов, романтическую таинственность городским улицам. Подчеркнем, что никто из пожилых респондентов не отметил этого качества рекламы, поскольку ночной город, вероятно, – это город для молодых.

В качестве наиболее распространенных цветов рекламной продукции большая часть респондентов вспомнила голубой и синий цвета. Это, в самом деле, отражает реальную картину. Выбор производителями рекламы этой гаммы цветов не случаен. Возможно, благодаря такому цветовому решению в какой-то степени смягчается раздражающее воздействие рекламы.

Поскольку никто из пожилых респондентов не смог вспомнить рекламу, обращенную именно к ним, и не отметил хоть какого-либо влияния рекламы на горожан, в отличие от молодых респондентов, мы можем предположить, что наружная рекламная продукция, скорее всего, и рассчитана на молодое поколение. Именно они отмечают, для чего она им необходима, но вместе с тем они же и раздражены рекламной продукцией в большей степени, в отличие от пожилых людей, которые готовы и «потерпеть» ее навязчивость.

Полученные в ходе интервьюирования эмоциональные отзывы о городе в целом и рекламе на его улицах, в частности, не дают нам оснований считать, что наружная реклама сегодня прибавляет добротности и гармоничности образу городского окружения в восприятии как пожилых, так и молодых людей. Потребители рекламы, отстаивая свое право на безопасную среду, могут и должны, видимо, требовать от производителей рекламы использования более антропономных технологий, способствующих заполнению городского пространства объектами, соответствующими требованиям комфортности городской визуальной среды, поскольку это один из главных компонентов жизнеобеспечения человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейн У. Реклама / У. Лейн, Д. Рассел. СПб.: Питер, 2004. 544 с.
2. Зомбарт В. Буржуа. Евреи и хозяйственная жизнь / В. Зомбарт. М.: Айрис-Пресс, 2004. 624 с.
3. Тоффлер Э. Третья волна / Э. Тоффлер. М.: АСТ, 2004. 784 с.
4. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования / Д. Белл. М.: Academia, 1999. 956 с.
5. Бодрийяр Ж. Общество потребления / Ж. Бодрийяр. М.: Республика, Культурная революция, 2006. 272 с.
6. Барт Р. Система моды. Статьи по семиотике культуры / Р. Барт. М.: Изд-во Сабашниковых, 2003. 512 с.
7. Дебор Г. Общество спектакля / Г. Дебор. М.: Логос, 2000. 184 с.
8. Липовецки Ж. Эра пустоты. Эссе о современном индивидуализме / Ж. Липовецки. М.: Владимир Даль, 2001. 336 с.
9. Жижек С. Интерпассивность, или как наслаждаться посредством Другого. Желание: Влечение, Мультикультурализм / С. Жижек. СПб.: Алетейя, 2005. 156 с.
10. Эко У. Отсутствующая структура. Введение в семиологию / У. Эко. СПб.: Симпозиум, 2006. 544 с.
11. Парк Р. Экология человека / Р. Парк // Теоретическая социология. Антология: в 2 ч. М.: Изд-во КДУ, 2002. Ч. 1. С. 374-389.
12. Яницкий О. Экологическая социология / О. Яницкий // Социология в России / под ред. В. Ядова. М.: На Воробьевых, 2000. С. 541-571.
13. Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что – плохо / В.А. Филин. М.: МЦ «Видеоэкология», 2001. 412 с.
14. Линч К. Образ города / К. Линч. М.: Стройиздат, 1982. 328 с.

Барябин Артем Викторович –

аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа»
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 28.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

УДК 316.334.3

Н.В. Попова

ИНТЕГРАЦИЯ ЛЮДЕЙ С УМСТВЕННОЙ ОТСТАЛОСТЬЮ ПУТЕМ СОЦИАЛИЗАЦИИ И ИНКЛЮЗИВНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Социальная интеграция детей с отклонениями в развитии выступает важным аспектом реформы образования, поскольку в обществе существует проблема включения (инклюзии) людей с ограниченными возможностями в активную общественную деятельность и изменения их социального статуса. В связи с этим, автор предлагает новые пути решения данной проблемы через принципы инклюзии и непосредственного взаимодействия на микроуровне ближайшего окружения, в том числе родителей.

N.V. Popova

**PERFECTION OF SOCIALIZATION OF PEOPLE
WITH THE LIMITED OPPORTUNITIES OF HEALTH WITH THE PURPOSE
OF THEIR INTEGRATION INTO A SOCIETY**

Social integration of children with deviations in development, acts as a prominent aspect of reform of formation as in a society there is a problem of inclusion people with the limited opportunities in active public work and change of their social status. In this connection, the author of work offers new ways of the decision of the given problem through principles of inclusions and direct interaction at a micro level of the nearest environment, including parents.

Социальная интеграция людей с ограниченными возможностями в современной изменяющейся России есть процесс и результат предоставления равных прав и возможностей для участия во всех видах и формах жизнедеятельности вместе с остальными гражданами общества. Интеграция людей с умственной отсталостью в развитии представляется, прежде всего, возможностью и способом создания наиболее благоприятных условий для удовлетворения потребностей человека с ограниченными возможностями. Ситуация, сложившаяся в переходный период, изменения в социально-экономической и политической жизни страны, обострение новых проблем в обществе поставили ученых и практических работников перед решением задач, связанных с поисками новых, эффективно действующих механизмов социально-психологической адаптации человека к быстро меняющейся жизни в социуме. Наиболее незащищенной категорией людей, нуждающихся в социальной помощи, предстают дети с отклонениями в умственном развитии и в первую очередь сироты и дети, оставшиеся без попечения родителей, число которых постоянно растет.

В настоящее время в России насчитывается более 2 млн. детей с ограниченными возможностями, из них около 600 тыс. составляют дети-инвалиды. Создаются школы коррекционной направленности, в 2000 г. их было 192. В них воспитываются 39,4 тыс. детей-сирот с отклонениями в физическом и психическом развитии. Их познавательные возможности в сравнении с нормально развивающимися сверстниками не создают прочной основы для усвоения необходимого спектра социальных, общественных и других форм жизни. Это свидетельствует о масштабности проблемы инвалидности и определяет необходимость принятия на государственном уровне комплекса мер по созданию системы социальной защиты и социальной интеграции детей с ограниченными возможностями.

Социальная интеграция детей с отклонениями в развитии выступает важным аспектом реформы образования, характеризуемым глубиной реформирования, ростом гуманитарных специальностей, академических свобод, однако социальное университетское образование – это не массовая ситуация, а прорыв в общественной деятельности.

Степень интеграции данных лиц в общество зависит от уровня их профессионально-трудовой подготовки, социально-бытовой ориентации и от участия семьи в подобном процессе.

Естественно, базовым понятием в данном контексте является интеграция в общество. В словарях социальную интеграцию объясняют как процесс объединения каких-либо элементов в единую социальную систему [5, с. 213]. Однако зачастую социализацию и интеграцию путают, поскольку процессы интеграции действуют постоянно и человечество пополняется новыми гражданами. Принципы социализации действуют в большинстве обществ, они имеют устоявшийся характер, хотя и корректируются время от времени. Необходимо вспомнить, что для успешной социализации требуется уже включенность человека в сообщество, а также его активная позиция по усвоению ценностей общества и поиска своего места как

предварительные условия социализации. Человек не может социализироваться, находясь вне общества. Таким образом, в развитых странах (Канада, США, Швеция, Норвегия, Германия и др.) проблема инвалидности – это проблема включения людей с инвалидностью в активную общественную деятельность и изменения их социального статуса: для повышения своего социального положения человек с инвалидностью из объекта заботы должен стать субъектом социальных отношений, и уже как равноправный субъект действовать в социальной среде. Если человек с инвалидностью не действует в социуме – он «овощ». Уход от позиции «овоща» является главной целью социальных процессов, сопровождающих человека с тяжелым заболеванием. Призыв Эда Робертса, основателя движения за независимую жизнь, гласил: «Овощи всего мира, объединяйтесь» [7, с.21].

Мировое сообщество видит в качестве механизма обеспечения интеграции всеобщую доступность и справедливость. В России сложилось представление, что инвалиды – это люди, находящиеся из-за своей болезни или своего дефекта вне общества [6]. Поэтому их надо в общество интегрировать, т.е. внедрить, что предполагает преодоление какого-либо сопротивления. Конечно, для таких взглядов имеются основания: российские граждане с тяжелыми заболеваниями в массе своей изолированы от общественных процессов и, тем более, лишены возможности влиять на них. Но они ни в коем случае не находятся вне общества. Их жизнедеятельность в той или иной степени обеспечивается обществом за счет отчисления им общественного продукта. Можно считать, что российские граждане с ограниченными возможностями находятся на самом нижнем уровне социальной иерархии, однако они включены как потребители или как объекты социальной заботы, таким образом, люди с ограниченными возможностями являются потребителями ресурсов. Социальная роль человека с ограниченными возможностями заключается в его положении как объекта жалости и объекта проявления милосердия со стороны других граждан. Если же человек с ограниченными возможностями хочет изменить свой статус, то ему необходимо выбрать иную роль и убедить общество в том, что эта другая роль нужна обществу, и он сможет ее выполнять. Но для этого человек с новой ролью, новой жизненной позицией перестает быть «инвалидом», поскольку у него повышается социальный статус. В этот момент человек избавляется от шаблонных отношений к нему.

Сложности интеграции людей с ограниченными возможностями очень велики: они обусловлены многими факторами, в числе которых и разнообразие категории инвалидов как социальной группы, и слабое осознание ими конечных целей интеграции, и неоформленность общественных интересов российского общества в отношении интеграции инвалидов и многое другое.

Для этого мы предлагаем следующее определение понятия «социальная интеграция личности» – это процесс и одновременно система включения индивида в различные социальные группы и отношения посредством организации совместной деятельности (прежде всего игровой, образовательной, трудовой) [3, с.17].

В целом, интеграция – это процесс, в ходе которого не только индивид стремится максимально адаптироваться к жизни в обществе, «встроиться» в его структуру, но и оно, в свою очередь, предпринимает необходимые шаги для того, чтобы приспособиться к особенностям конкретного индивида на основе принципов толерантности, объективности, социальной справедливости – основных принципов мультикультурализма (В.К. Антонова, Р. Грайлло, Д. МакАйвер) [1].

Реализация данных принципов в отношении лиц с ограниченными возможностями в определенной степени предопределяет успех всех интеграционных механизмов, эффективность процесса включения (инклюзии) в общество таких лиц.

По мнению Д.В. Зайцева, реализация интеграционных процессов осуществляется для ряда латентных социальных целей. К таким целям он относит: сохранение однородности общества, стабильности его структуры и моделей функционирования.

Инклюзия – это реформирование школ и перепланировка учебных помещений так, чтобы они отвечали нуждам и потребностям всех без исключения детей [8, с.177]. Данное понятие связано с принципом организации обучения, при котором все учащиеся учатся совместно со своими сверстниками.

Принцип инклюзивного образования состоит в том, что разнообразию потребностей учащихся с инвалидностью должна соответствовать образовательная среда, которая будет наименее ограничивающей и наиболее включающей. Инклюзивные школы обучают всех детей в классах и школах по месту жительства. Подобные школы нацелены на принципиально иные образовательные достижения, чем те, что чаще всего признаются системой среднего образования.

Цель такой школы – дать всем учащимся возможность наиболее полноценной социальной жизни, самого активного участия в коллективе, местном сообществе, тем самым, обеспечивая наиболее полное взаимодействие и заботу друг о друге как членах сообщества [8, с.179].

Обзор литературы по данной проблеме и наши исследования показывают, что во многих регионах РФ, в частности в Саратовском регионе, при ПТУ (ПУ) имеются специальные группы для выпускников коррекционных учреждений VIII вида. По окончании профессионального училища многие из них достаточно успешно трудоустраиваются на различные производства швеями, плотниками, плиточниками, штукатурами-малярами и т.п. Часть заняты обслуживающим трудом (санитарки, уборщицы). Умственно отсталые в основном смогли адаптироваться на производстве, в определенной степени приобрели социально-бытовые навыки, необходимые для социализации в обществе.

Вместе с тем имеется еще множество вопросов, от решения которых будет зависеть совершенствование социально-трудовой адаптации лиц с умственной отсталостью. В обобщенном виде эти вопросы затрагивают следующие проблемы:

- совершенствование трудовой подготовки с учетом дальнейшего обучения учащихся в системе профтехобразования или на базе совместно со школой малых производственных предприятий;
- усиление работы по социально-бытовой ориентации лиц с отклонениями в развитии;
- организация помощи семье ребенка-инвалида.

Эффективность трудовой подготовки учеников коррекционных школ VIII вида во многом зависит от организации завершающего этапа трудового обучения, в большинстве случаев в учреждениях начального профессионального образования (УНПО). В училищах сроки профессиональной подготовки рабочих по многим специальностям составляют 1-2 года. Такие же сроки устанавливаются и для подготовки умственно отсталых лиц. При этом не учитываются трудность и медленный темп их обучения, отставание от нормы не только в психическом, но часто и в физическом развитии. В связи с этим представляется целесообразным увеличить сроки обучения в специальных группах УНПО до 3, а иногда и до 4 лет.

В настоящее время, прежде всего из-за резкого снижения потребности в рабочих кадрах (особенно молодых), школы для лиц с умственной отсталостью поставлены перед необходимостью продолжать профессиональное обучение своих выпускников (а в ряде случаев и трудоустраивать их) на предприятиях при школе. Имеется в виду, что в некоторых случаях при школе создается малое производство, учредителями которого являются специальное учреждение и предприятие. По окончании обучения учащиеся сдают экзамены и получают квалификационное свидетельство о присвоении 1-го, 2-го, реже 3-го разряда с дальнейшим его подтверждением в условиях производства. Тем самым мы можем утверждать о социальной интеграции, которая позволит плавно, без особых проблем социализироваться человеку с ограниченными возможностями. Долгое время здоровье человека в целом и психическое здоровье, в частности, определялось от функционального – нет объективных нарушений в функционировании организма, нет жалоб и болезней, не зафиксировано – значит, можно го-

ворить о здоровом теле и разуме. Новое понимание здоровья, в котором не используется концепт отрицания патологии, а подчеркивается наличие ресурсов у индивида, было принято Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). С тех пор здоровье обозначается как состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не только как отсутствие болезней и физических дефектов [4, с.15].

Когда мы рассуждаем о социализации – имеем в виду процесс приближения индивида к социуму, включения его в общественную жизнь, усвоения норм поведения, обучения выполнению основных социальных ролей и утверждения себя.

По мнению П. Бергера и Т. Лукмана, становится очевидным, что первичная социализация, которая выступает начальным этапом всего социализационного процесса, которой человек подвергается в детстве и благодаря которой он становится членом общества, обычно является наиболее важной для индивида, и основная структура любой вторичной социализации будет сходна со структурой первичной социализации [2]. Данное положение особенно актуально в отношении детей с ограниченными возможностями, поскольку до сих пор данная категория не становилась предметом специального исследования, а в контексте исследований инвалидности данная проблематика представлена лишь фрагментарно.

Социализация умственно отсталых лиц предполагает не только определенный уровень их трудовой адаптации, но и возможность ориентироваться в окружающей жизни, соблюдая определенные правила и нормы поведения.

Анализ литературы показывает, что многие выпускники достигли определенного уровня в способности ориентироваться в быту, усвоили общественные нормы и правила отношений между людьми, т.е. научились налаживать социальные связи.

Ко всему прочему значительная часть лиц с умственной отсталостью испытывают большие трудности в социальной адаптации. В наибольшей степени это относится к детям-сиротам, у которых даже спустя 3 года по окончании специального учреждения объем познавательных сведений и практических навыков оставался на более низком уровне по сравнению с умственно отсталыми, имеющими родителей. Начиная с 20 лет, а иногда и старше, умственно отсталые начинают отвечать требованиям, предъявляемым к поведению и жизни людей в социуме.

Невозможно говорить о полноценной работе с детьми, имеющими отклонения в развитии, в том числе и тяжелые нарушения ЦНС, без опоры на семью. Учитывая это, Фондом социальной поддержки населения Минтруда России совместно с Центром психолого-педагогической реабилитации и коррекции «Детская личность» (Москва, директор Л.Б. Буданова) была организована на базе подмосковного санатория «Кратово» школа матерей детей с ограниченными возможностями. Результатом обучения явилось: овладение матерями необходимыми знаниями, умениями и навыками социально-бытовой и педагогической реабилитации детей с проблемами в развитии; социально-психологическая и трудовая реабилитация матерей путем вовлечения их в активный процесс помощи другим семьям с аналогичными проблемами; распространение опыта работы школы матерей на регионы России.

Развивая идею организации подобных школ, следует учитывать опыт дистанционного обучения матерей, имеющих детей с тяжелой интеллектуальной недостаточностью, основанный на коррекционной педагогике, действующей через журнал «Социономия» (социальная работа). Согласно разработанной программе, рассчитанной на 72 часа, подготовлена серия статей, освещающих работу с ребенком в условиях семейного воспитания. Каждый раздел программы сопровождается списком литературы, контрольными вопросами и заданиями.

Таким образом, матери детей с отклонениями в развитии смогут изучить необходимый материал заочно, а затем сдать экзамены в Академии повышения квалификации и переподготовки работников образования и получить удостоверение государственного образца. Имея на руках такой документ, они могут в дальнейшем по возможности устроиться в то специальное учреждение, где находится их ребенок, допустим, социальными педагогами,

воспитателями или помощниками учителя. Тем самым их социальный статус, несомненно, повысится.

И, наконец, интеграция детей с ограниченными возможностями в общество возможна лишь при формировании позитивного отношения к этой категории детей. Интеграция должна идти по пути взаимной приспособляемости обычных людей и людей с проблемами в развитии. Из поколения в поколение необходимо воспитывать в обществе стремление морально поддерживать семьи, имеющие детей с отклонениями в развитии. Вполне возможны организация радио- и телепередач, издание небольших информационных материалов типа памяток, буклетов. Работа, систематически проводимая в этом направлении, несомненно, принесет положительные результаты.

Важным фактором развития образования в последние десятилетия стала рефлексия целей его развития: совершенствование отечественного образования, интеграция в мировое образовательное сообщество, обмен знаниями, приемами и методами различных школ, направлений, формирование единых взглядов на мир, его сохранение и переустройство.

Социальное государство заботится о правах человека, о трудоустройстве граждан, системах здравоохранения, социального обеспечения, образования, поддержке малоимущих слоев населения, способствует мировому разрешению социальных конфликтов, осуществляет борьбу с преступностью. Социальное государство предоставляет своим гражданам равные возможности доступа к социальным благам, одним из самых основных общественных благ является образование, которое даёт возможность интегрироваться ребенку с ограниченными возможностями и его семье в общество нормально развивающихся людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова В.К. Мультикультурализм как фактор усиления социальной природы государственной службы в США и Канаде / В.К. Антонова // Управление общественными институтами и процессами в России: вопросы теории и практики. Саратов: ПАГС, 2002. С. 185-190.
2. Бергер П. Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания / П. Бергер, Т. Лукман. М.: Медиум, 1995. 323 с.
3. Зайцев Д.В. Социальная интеграция детей-инвалидов в современной России / Д.В. Зайцев. Саратов: Научная книга, 2003. 255 с.
4. Охрана психического здоровья: учеб. пособие: в 2 ч. / О.В. Бойко, Е.Ю. Герасимова, Н.Ю. Григорьева и др. Саратов: СГТУ, 2003. Ч. 1. 248 с.
5. Социологическая энциклопедия / рук. науч. проекта Г.Ю. Семигин. М.: Мысль, 2003. 408 с.
6. Холостова Е.И. Социальная реабилитация: учеб. пособие / Е.И. Холостова, Н.Ф. Дементьева. М.: ИТК «Дашков и Ко», 2003. 340 с.
7. Эннс Г. Возникновение глобального движения за права инвалидов. Движение за права инвалидов: международный опыт / Г. Эннс, Ю. Фрик; пер. с англ. Ставрополь, 2004. 120 с.
8. Ярская-Смирнова Е.Р. Социальная работа с инвалидами / Е.Р. Ярская-Смирнова, Э.К. Наберушкина. СПб.: Питер, 2004. 316 с.

Попова Надежда Викторовна –
аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа»
Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 24.05.07, принята к опубликованию 03.07.07

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК СГТУ»

1. Статья должна быть тщательно отредактирована и представлена в одном экземпляре, распечатанном через 1 интервал на белой бумаге форматом А4, поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12. Одновременно текст статьи представляется на дискете (1,44 Мбайт) в формате текстового редактора «MS Word 97» или по электронной почте vestnik@sstu.ru.

2. Статья должна обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать четкие выводы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов,
- полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные),
- краткая (5-7 строк) аннотация (курсив).

Далее авторы, название статьи и аннотация повторяются на английском языке.

Затем идет текст самой статьи и литература.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий; объем обзора – 25 страниц, 10 рисунков; объем краткого сообщения – не более 3 страниц, 2 рисунков.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, psc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул **Microsoft Equation 3.0**. Каждая формула должна иметь номер.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.1-2003 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

8. Специалисты в технических отраслях к статье прилагают экспертное заключение.

9. Рукописи статей представляются в редакцию с рецензией ведущего ученого в данной области, как правило, доктора наук.

10. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

11. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и дискеты авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

12. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую на отдельном бумажном носителе и в электронном виде.