

ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2009

№ 2 (38)
Вып. 1

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.
Выходит один раз в квартал
Апрель 2009 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 ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям: машиностроение, управление, вычислительная техника и информатика, энергетика, электроника, измерительная техника, радиотехника и связь, экономика, социология

Главный редактор	д.и.н., профессор И.Р. Плеве
Зам. главного редактора	д.т.н., профессор А.А. Сытник
Ответственный секретарь	д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

Редакционный совет: д.э.н. В.Р. Атоян, 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.т.н. И.А. Новаков, д.и.н. И.Р. Плеве (председатель), д.т.н. А.Ф. Резчиков, д.социол.н. С.Б. Суоров, д.т.н. А.А. Сытник (заместитель председателя), 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. Ю.С. Архангельский, д.ф.н. А.С. Борцов, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. Ю.Г. Иващенко, д.т.н. Ю.Н. Климочкин, д.т.н. В.А. Коломейцев, д.т.н. А.В. Королев, д.т.н. В.А. Крысько, д.и.н. Г.В. Лобачева, д.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. А.И. Финаенов, д.т.н. М.А. Щербаков.

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

Адрес редакции:
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77
Телефон: (845 2) 52 74 02
E-mail: vestnik @ sstu. ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 30.04.09
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 36,5 Уч.-изд. л. 36,0
Тираж 500 экз. Заказ 230
Отпечатано в РИЦ СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Полная электронная версия журнала размещена в системе РИНЦ
в открытом доступе на платформе eLIBRARY.RU

Подписной индекс 18378
(каталог «Газеты. Журналы» на 2-е полугодие 2009 г.)

ISSN 1999-8341

© Саратовский государственный
технический университет, 2009

**VESTNIK
SARATOV
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY
2009**

**№ 2 (38)
Вып. 1**

Scientific Journal

Since 2003
Once in a quarter
April 2009

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

Editor-in-chief	Doctor of Historical Sciences, Pr. I.R. Pleve
Editor-in-chief assistant	Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Sytnik
Executive secretary	Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Ignatyev

Drafting committee: Pr. V.R. Atoyan, 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. I.A. Novakov, Pr. I.R. Pleve (Chairman), Pr. A.F. Rezhnikov, Pr. A.A. Sytnik (Vice of the Chairman), Pr. S.B. Surovov, 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. 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. G.V. Lobatcheva, Pr. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. A.I. Finaenov, 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
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 30.04.09
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 36,5 Acc.-pbl. l. 36,0
Edition 500 psc. Order 230
Printed in EPC of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Анкилов А.В., Вельмисов П.А., Семенова Е.П. Исследование динамической устойчивости упругих элементов стенок канала	7
Гестрин С.Г., Сальникова Е.А. Математическое моделирование взаимодействия спиновых волн с дислокациями в ферромагнетиках	17
Жигалов М.В., Бабенкова Т.В. Методы линеаризации дифференциальных уравнений механики деформированного твердого тела (обзор)	24
Медведский А.Л. Сверхзвуковой этап взаимодействия упругого однородного изотропного шара и абсолютно жесткой преграды	38
Филатов В.Н., Абросимов А.А. Расчеты подъемистых оболочек с разными системами аппроксимирующих функций	49

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Барановская Л.В., Кобзев А.П. Оптимальное проектирование тяжелых козловых кранов с использованием метода граничных элементов	56
Плотников А.Л., Плотников А.Ю. Новый подход к обеспечению точности обработки в САПР ТП токарных работ для станков с ЧПУ	62
Янкин И.Н., Кисметов Ю.В. Компьютерная модель процесса шлифования	66

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Балашова С.А., Чащин Е.А., Шилов И.В., Митрофанов А.А. Повышение эксплуатационных характеристик керамических покрытий	72
Лясникова А.В. Теоретические исследования физико-химических процессов формирования и функционирования серебросодержащих наноструктурированных покрытий	80
Неверная О.Г., Целуйкин В.Н., Соловьева Н.Д., Целуйкина Г.В. Электропроводность и вязкое течение водных растворов CuSO_4	86

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Барышникова Е.С., Иващенко В.А. Система ситуационного управления производством листового стекла	91
Калюжный А.А., Бирюков В.П. Синтез линейного квадратичного гауссова регулятора композитного коэффициента потерь битумного вибродемпфирующего материала	96
Степанов М.Ф., Кулаков К.А., Глазков П.Н., Григорьев А.А. Управление объектом автоматически сконструированной нейронной сетью на основе идентификации	105
Шумский П.Ю. Оценка общего коррозионного износа на базе автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования	114

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Безродный А.А. Алгоритм определения оптимального размера сетей автозаправочных станций малых и средних городов	120
Космачева И.М. Методика отбора медицинских амбулаторных карт при проведении экспертизы качества медицинской помощи	126
Хоботов А.В., Игнатьев А.А. Моделирование теплораспределения в огнепреградителях ленточного типа при ламинарном горении горючих смесей над их поверхностью	132
Элькин М.Д., Колесникова О.В., Кладиева А.С. Моделирование адиабатического потенциала соединений группы V-газов	137

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- Лемякин А.А., Воронин В.И.** Распределение газовых потоков в межэлектродном пространстве приборов при гнездовой откачке..... 143
- Михеев А.В.** Разработка и применение модели шумов датчиков первичной информации при математическом моделировании работы бесплатформенной инерциальной навигационной системы 149
- Перевозникова Я.В., Воронин В.И.** Откачка электровакуумных приборов через короткий штенгель 159
- Юдин Ф.Ф.** Расчёт параметров преобразователя на фото- и акустоэлектрическом эффекте..... 163

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Семенов Б.А., Соловьёв В.А.** Проблемы и особенности использования грунтовых тепловых насосов для автономного теплоснабжения объектов в центральных регионах России 166

ЭКОНОМИКА

- Адамова К.З.** Кластерная политика как инструмент повышения конкурентоспособности национальной экономики..... 172
- Айриева А.Н.** Формы государственного финансового стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности в зарубежных странах..... 177
- Алимбеков Т.А.** Формирование и реализация стратегии управления персоналом 183
- Андрианов А.С.** Ремонтное обслуживание промышленного оборудования на основе корпоративной информационной системы 187
- Беляева О.А.** Использование компромиссов в управлении экономическими системами ... 192
- Бородянский Г.А., Игнатьева С.С.** Методика учета инфляционных процессов в ценовой и инвестиционной политике предприятий АПК 196
- Бугаков В.М.** Механизмы формирования сумм краткосрочных кредитов малых производственных предприятий 205
- Волков И.В.** Оценка стоимости предприятия в процессе структурных преобразований 209
- Квятковская И.Ю.** Формирование управленческих решений для социально-экономических систем в условиях слабой структурированности проблемы 218
- Кузнецова А.А.** Институциональный аспект исследования сущности транснациональных корпораций 226
- Мироседи С.А.** Малое предпринимательство – стратегический ресурс российской экономики 232
- Морозова О.Л., Куприянова И.Ю.** Анализ особенностей функционирования предприятий малого бизнеса 240
- Попова И.М.** Логистический аутсорсинг как механизм совершенствования городских пассажирских перевозок 245

СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

- Галахова А.В.** Социальный капитал семей с детьми-инвалидами в свете ключевых социологических теорий..... 250
- Едигарёва Ю.Г., Федюнина С.М.** Организационная / корпоративная культура в контексте разрешения трудовых конфликтов..... 256
- Кос А.В.** Анализ влияния социальных условий жизни на психическое благополучие населения (на примере г. Саратова)..... 261
- Лысикова О.В.** Современные туристские практики россиян (по материалам социологических исследований)..... 269
- Орлов Д.В.** Коммуникативные особенности ролевой субкультуры 278
- Ручин А.В.** Социальный аспект управления развитием российского предпринимательства 283

CONTENTS
PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

Ankilov A.V., Velmisov P.A., Semyonova E.P. Dynamical stability of canal walls' elastic elements	7
Gestrin S.G., Salnikova E.A. Mathematical model of interaction of spinal waves with dislocations in ferromagnetics.....	17
Zhigalov M.V., Babenkova T.V. Differential equations linearization methods of deformed solid body mechanics.....	24
Medvedsky A.L. Supersonic stage of interaction of the elastic homogeneous isotropic sphere and absolutely rigid border.....	39
Filatov V.N., Abrosimov A.A. High curvature shells calculation with different systems of approximation functions	49

MACHINE-BUILDING

Baranovskaya L.V., Kobzev A.P. Heavy angle cranes optimal design with the help of borderline elements method.....	56
Plotnikov A.L., Plotnikov A.Yu. A new approach in provision of working accuracy in turning works at lathe with CAD	62
Yankin I.N., Kismetov Yu.V. Computer model of grinding processes	66

NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Balashova S.A., Chaschin E.A., Shilov I.V., Mitrofanov A.A. Production characteristics increase of ceramic coatings.....	72
Lyasnikova A.V. Research of possibility getting nanostructuring biocompatible coating with Ag and hydroxyapatit	80
Nevernaya O.G., Tseluykin V.N., Solovyova N.D., Tseluykina G.V. Conductivity and viscous flow of aqueous solutions of CuSO ₄	86

AUTOMATION AND MANAGEMENT

Baryshnikova E.S., Ivaschenko V.A. The system of situation control of flat glass production.....	91
Kalyuzhny A.A., Biryukov V.P. Synthesis of the regulator of composite factor of losses of the bitumen material for vibration clearing	97
Stepanov M.F., Kulakov K.A., Glazkov P.N., Grigoryev A.A. Neurocontrol with an automatically designed neural network based on identification	105
Shumsky P.Yu. General corrosion deterioration estimation on the basis of the automated system estimation of technological equipment condition.....	114

INFORMATION TECHNOLOGIES

Bezrodny A.A. Optimal size gas station networks determination algorithm for different size cities.....	120
Kosmacheva I.M. Medical out-patient cards selection procedure at carrying out of examination of medical aid's quality	127
Khobotov A.V., Ignatyev A.A. Heat distribution modeling within belt-type fire-resistant barriers at laminar burning of combustible mixtures over their surface.....	132
Elkin M.D., Kolesnikova O.V., Kladieva A.S. Adiabatic potential modeling for compounds V-gas group.....	137

ELECTRONICS, RADIOENGINEERING AND INSTRUMENT MARKING

Lemyakin A.A., Voronin V.I. Gas flows distribution in the interelectrode space of the device at jack evacuation.....	143
Mikheyev A.V. Sensors noise model development and application for mathematical simulation of the strapdown inertial navigation system functioning	149
Perevoznikova Ya.V., Voronin V.I. Electrical vacuum devices evacuation through a short chamber-exhaust tube	159
Yudin F.F. Converter parameters calculation on a photo and acoustic effects.....	163

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

Semyonov B.A., Solovyov V.A. Problems and features of use of soil thermal heat pumps for the independent heat supply of objects in the central regions of Russia	166
---	-----

ECONOMICS

Adamova K.Z. Cluster policy as an instrument of competitive recovery of national economics	172
Airiyeva A.N. State financial stimulation forms of investment and innovation activities in foreign countries	178
Alimbekov T.A. Personnel management strategy formation and realization	183
Andrianov A.S. Industrial equipment maintenance on the basis of corporate information system	187
Belyayeva O.A. Compromise use in of economic systems management	192
Borodyansky G.A., Ignatyeva S.S. Account technique of inflationary processes in the price and investment policy of the enterprises of agrarian and industrial complex	196
Bugakov V.M. Mechanisms of generation of short-term credits of small enterprises	206
Volkov I.V. Enterprise cost estimation in the process of structural conversions.....	209
Kvyatkovskaya I.Yu. Administrative decisions formation for social and economic systems in the conditions of weak structure of the problem	218
Kuznetsova A.A. Institutional aspect of TNC's essence researching.....	226
Miroseedy S.A. Small businesses – a strategic resource of the Russian economy.....	232
Morozova O.L., Kupriyanova I.Yu. The analysis of functioning features of the small business enterprises	241
Popova I.M. Logistical outsourcing as an improvement mechanism of a city passenger carriage	245

SOCIAL PROBLEMS OF THE PRESENT

Galahova A.V. The social capital of families with handicapped children through sociological theories.....	250
Edigareva Yu.G., Fedyunina S.M. Organizational / corporate culture in the context of labour conflicts sanction.....	256
Kos A.V. Analysis of influence of life social conditions on population's mental health (on the example of Saratov).....	261
Lysikova O.V. Modern Russians' practices in tourism (article is based on materials of sociological researches)	269
Orlov D.V. Communicative features of role subculture	279
Ruchin A.V. Social aspect of management of Russian entrepreneurship development	283

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК 539.3: 533.6,517.9

А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов, Е.П. Семенова

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ СТЕНОК КАНАЛА

Исследуется динамическая устойчивость упругих элементов стенок бесконечно длинного канала при протекании в нем дозвукового потока идеальной жидкости (газа). На основе построенного функционала получены достаточные условия устойчивости, налагающие ограничения на параметры механической системы.

Поток жидкости, упругие элементы стенок, динамическая устойчивость.

A.V. Ankilov, P.A. Velmisov, E.P. Semyonova

DYNAMICAL STABILITY OF CANAL WALLS' ELASTIC ELEMENTS

The dynamical stability of elastic elements of canal walls with flowing the subsonic flow of perfect liquid (ideal gas) in this canal is researched. On the base of the built functional the sufficient conditions of stability are obtained. This condition imposes a constraint on the parameters of mechanical system.

Liquid flow, elastic elements of walls, dynamical stability.

Введение

При проектировании конструкций, обтекаемых потоком газа или жидкости, важное значение имеет исследование устойчивости деформируемых элементов, так как воздействие потока может приводить к увеличению амплитуды колебаний, и, тем самым, к их разрушению.

В то же время для функционирования некоторых технических устройств явление возбуждения колебаний при аэрогидродинамическом воздействии, указанное выше в качестве негативного, является необходимым. Примерами подобных устройств, относящихся к вибрационной технике, используемых для интенсификации технологических процессов, являются устройства для приготовления однородных смесей и эмульсий и подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону обработки (см., например, [1]).

Таким образом, при проектировании конструкций и устройств, находящихся во взаимодействии с газожидкостной средой, необходимо решать задачи, связанные с исследовани-

ем устойчивости упругих элементов, требуемой для их функционирования и надежности эксплуатации.

В работе исследуется динамическая устойчивость упругих элементов стенок бесконечно длинного канала при протекании в нем дозвукового потока идеальной жидкости (газа). Определение устойчивости упругого тела соответствует концепции устойчивости динамических систем по Ляпунову. Для отыскания аэрогидродинамической нагрузки используются методы теории функций комплексного переменного для уравнения Лапласа. В результате решения аэрогидродинамической части задачи давление газа или жидкости на элементы определяется через функции деформаций этих элементов. Решение соответствующих задач аэрогидроупругости сводится к исследованию систем связанных интегродифференциальных уравнений с частными производными для функций продольных и поперечных составляющих деформаций. На основе построения функционала, соответствующего указанной системе интегродифференциальных уравнений, получены условия устойчивости решений этой системы. Количество элементов, их длины, места и способы закрепления – произвольные.

Подобные задачи без учета продольной составляющей деформаций элементов в линейной постановке рассматривались в [2]-[8].

Математическая модель

Исследуется задача о плоском движении идеальной несжимаемой жидкости (газа) в канале, стенки которого содержат деформируемые упругие элементы (пластины-вставки). Исследование устойчивости проводится в линейной постановке, соответствующей малым возмущениям однородного дозвукового потока и малым прогибам упругих элементов стенок канала. Предполагается, что продольный размер канала значительно превосходит его поперечный размер.

Рассмотрим плоское течение в прямолинейном канале $J = \{(x, y) \in R^2 : |x| < \infty, 0 < y < y_0\}$. Скорость невозмущенного потока в бесконечно удаленной точке будем считать равной V и направленной вдоль оси Ox . Предположим, что упругими являются части стенки $y = 0$ при $x \in [a_{2k-1}, a_{2k}]$, $k = 1 \div n$, $a_{2k-1} < a_{2k} \leq a_{2k+1} < a_{2k+2}$, $k = 1 \div n-1$ и части стенки $y = y_0$ при $x \in [b_{2k-1}, b_{2k}]$, $k = 1 \div m$, $b_{2k-1} < b_{2k} \leq b_{2k+1} < b_{2k+2}$, $k = 1 \div m-1$ (на рис. 1 обозначено $\bar{y} = y/\varepsilon$, $\bar{y}_0 = y_0/\varepsilon$, где ε – малый параметр).

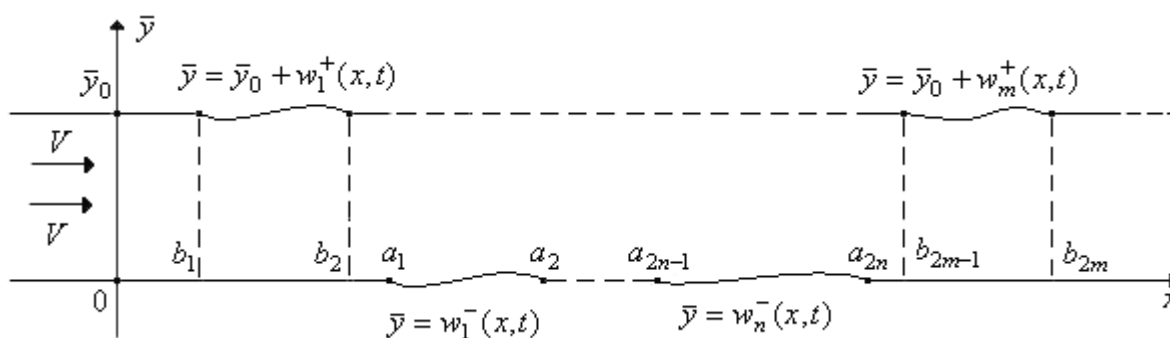


Рис. 1. Канал бесконечной длины, стенки которого содержат деформируемые элементы

Введем обозначения: $w_k^-(x, t)$, $u_k^-(x, t)$ ($k = 1 \div n$) и $w_k^+(x, t)$, $u_k^+(x, t)$ ($k = 1 \div m$) – упругие перемещения пластин-вставок в направлении осей Oy и Ox соответственно стенок $y = 0$ и $y = y_0$; $\varphi(x, y, t)$ – потенциал скорости возмущенного потока.

Потенциал φ возмущенного потока удовлетворяет уравнению Лапласа:

$$\Delta\varphi \equiv \varphi_{xx} + \varphi_{yy} = 0, \quad (x, y) \in J. \quad (1)$$

Линеаризованные граничные условия, вытекающие из условия непротекания, имеют вид:

$$\varphi_y(x, 0, t) = 0, \quad x \in (-\infty, a_1] \cup \left(\bigcup_{k=1}^{n-1} [a_{2k}, a_{2k+1}] \right) \cup [a_{2n}, \infty); \quad (2)$$

$$\varphi_y(x, y_0, t) = 0, \quad x \in (-\infty, b_1] \cup \left(\bigcup_{k=1}^{m-1} [b_{2k}, b_{2k+1}] \right) \cup [b_{2m}, \infty); \quad (3)$$

$$\varphi_y(x, 0, t) = \frac{\partial w_k^-(x, t)}{\partial t} + V \frac{\partial w_k^-(x, t)}{\partial x}, \quad x \in (a_{2k-1}, a_{2k}), k = 1 \div n; \quad (4)$$

$$\varphi_y(x, y_0, t) = \frac{\partial w_k^+(x, t)}{\partial t} + V \frac{\partial w_k^+(x, t)}{\partial x}, \quad x \in (b_{2k-1}, b_{2k}), k = 1 \div m. \quad (5)$$

Условия отсутствия возмущений в бесконечно удаленной точке:

$$(\varphi_x^2 + \varphi_y^2)_{x=\pm\infty} = 0, \quad (\varphi_t)_{x=-\infty} = 0, \quad y \in (0, y_0). \quad (6)$$

Представим уравнения малых колебаний упругих пластин в виде

$$\begin{cases} -E_k^+ F_k^+ \left[w_k^+ \left(u_k^+ + \frac{1}{2} w_k^{+2} \right) \right]' + E_k^+ J_k^+ w_k^{+4} + M_k^+ \ddot{w}_k^+ = P_0 - P_* - \rho(\varphi_t(x, y_0, t) + V\varphi_x(x, y_0, t)), \\ -E_k^+ F_k^+ \left(u_k^+ + \frac{1}{2} w_k^{+2} \right)' + M_k^+ \ddot{u}_k^+ = 0, \quad x \in (b_{2k-1}, b_{2k}), k = 1 \div m; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} -E_k^- F_k^- \left[w_k^- \left(u_k^- + \frac{1}{2} w_k^{-2} \right) \right]' + E_k^- J_k^- w_k^{-4} + M_k^- \ddot{w}_k^- = P_* - P_0 + \rho(\varphi_t(x, 0, t) + V\varphi_x(x, 0, t)), \\ -E_k^- F_k^- \left(u_k^- + \frac{1}{2} w_k^{-2} \right)' + M_k^- \ddot{u}_k^- = 0, \quad x \in (a_{2k-1}, a_{2k}), k = 1 \div n. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь и в дальнейшем индексы x, y, t снизу обозначают частные производные по x, y, t ; штрих – производную по x и x_1 ; точка – производную по t ; ρ – плотность жидкости; $E_k^\pm, F_k^\pm, E_k^\pm J_k^\pm, M_k^\pm$ – модули упругости, площади поперечных сечений, изгибные жесткости и погонные массы пластин; P_0 – давление в однородном потоке; P_* – внешняя распределенная нагрузка, действующая на стенки канала.

На основании проведенных ранее исследований [3] (используя методы теории функций комплексного переменного [9, 10]), решение задачи можно свести к исследованию системы уравнений для неизвестных функций перемещений упругих элементов:

$$\begin{cases} -E_k^+ F_k^+ \left[w_k^+ \left(u_k^+ + \frac{1}{2} w_k^{+2} \right) \right]' + E_k^+ J_k^+ w_k^{+4} + M_k^+ \ddot{w}_k^+ = \\ = -\frac{\rho}{\pi} \left(-\sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} (\dot{w}_k^- + V\dot{w}_k^-) K_2(x_1, x) dx_1 + \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} (\dot{w}_k^+ + V\dot{w}_k^+) K_1(x_1, x) dx_1 \right) - \\ -\frac{\rho V}{\pi} \left(-\sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} (\dot{w}_k^- + V\dot{w}_k^-) \frac{\partial K_2(x_1, x)}{\partial x} dx_1 + \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} (\dot{w}_k^+ + V\dot{w}_k^+) \frac{\partial K_1(x_1, x)}{\partial x} dx_1 \right), \\ -E_k^+ F_k^+ \left(u_k^+ + \frac{1}{2} w_k^{+2} \right)' + M_k^+ \ddot{u}_k^+ = 0, \quad x \in (b_{2k-1}, b_{2k}), k = 1 \div m; \end{cases} \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{aligned} & -E_k^- F_k^- \left[w_k^- \left(u_k^- + \frac{1}{2} w_k'^2 \right) \right]' + E_k^- J_k^- w_k'''' + M_k^- \ddot{w}_k^- = \\ & = -\frac{\rho}{\pi} \left(\sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left(\dot{w}_k^- + V \dot{w}_k^- \right) K_1(x_1, x) dx_1 - \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left(\dot{w}_k^+ + V \dot{w}_k^+ \right) K_2(x_1, x) dx_1 \right) - \\ & - \frac{\rho V}{\pi} \left(\sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left(\dot{w}_k^- + V \dot{w}_k^- \right) \frac{\partial K_1(x_1, x)}{\partial x} dx_1 - \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left(\dot{w}_k^+ + V \dot{w}_k^+ \right) \frac{\partial K_2(x_1, x)}{\partial x} dx_1 \right), \\ & -E_k^- F_k^- \left(u_k^- + \frac{1}{2} w_k'^2 \right)' + M_k^- \ddot{u}_k^- = 0, \quad x \in (a_{2k-1}, a_{2k}), k = 1 \div n, \end{aligned} \right. \quad (10)$$

где

$$K_1(x_1, x) = \ln \left| \frac{e^{\frac{-\pi a_1}{y_0}} + e^{\frac{-\pi b_1}{y_0}}}{e^{\frac{-\pi x_1}{y_0}} - e^{\frac{-\pi x}{y_0}}} \right|, \quad x_1 \neq x, \quad K_2(x_1, x) = \ln \left| \frac{e^{\frac{-\pi a_1}{y_0}} + e^{\frac{-\pi b_1}{y_0}}}{e^{\frac{-\pi x_1}{y_0}} + e^{\frac{-\pi x}{y_0}}} \right|, \quad (11)$$

$$K(x_1, x) = K_1(x_1, x) - K_2(x_1, x) = \ln \left| \frac{e^{\frac{-\pi x_1}{y_0}} + e^{\frac{-\pi x}{y_0}}}{e^{\frac{-\pi x_1}{y_0}} - e^{\frac{-\pi x}{y_0}}} \right|, \quad x_1 \neq x. \quad (12)$$

Нетрудно заметить, что $K_1(x_1, x) = K_1(x, x_1)$, $K_2(x_1, x) = K_2(x, x_1)$, $K(x_1, x) = K(x, x_1)$, т.е. ядра симметричные. Кроме того, $K_1(x_1, x) \geq K(x_1, x) \geq K_2(x_1, x) \geq 0$. Система (9), (10) однородная и получена в предположении, что $P_0 = P_*$.

Исследование устойчивости упругих элементов

Получим достаточные условия устойчивости решений системы интегродифференциальных уравнений (9), (10) по отношению к возмущениям начальных условий. Введем функционал

$$\begin{aligned} \Phi(t) = & \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left\{ M_k^+ (\dot{u}_k^+ + \dot{w}_k^+)^2 + E_k^+ J_k^+ w_k''^2 + E_k^+ F_k^+ \left(u_k^+ + \frac{1}{2} w_k'^2 \right)^2 \right\} dx + \\ & + \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left\{ M_k^- (\dot{u}_k^- + \dot{w}_k^-)^2 + E_k^- J_k^- w_k''^2 + E_k^- F_k^- \left(u_k^- + \frac{1}{2} w_k'^2 \right)^2 \right\} dx + \sum_{i=1}^3 (I_i + J_i), \end{aligned} \quad (13)$$

$$I_1(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x, t) \dot{w}_j^+(x_1, t) K_1(x_1, x) dx_1,$$

$$I_2(t) = -\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{2\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^+(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K_2(x_1, x) dx_1,$$

$$I_3(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\rho}{\pi} \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^-(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K_1(x_1, x) dx_1,$$

$$J_1(t) = -\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\rho V^2}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i'^+(x, t) w_j'^+(x_1, t) K_1(x_1, x) dx_1, \quad (14)$$

$$J_2(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{2\rho V^2}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^+(x,t) w_j^-(x,t) K_2(x_1, x) dx_1,$$

$$J_3(t) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\rho V^2}{\pi} \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^-(x,t) w_j^-(x,t) K_1(x_1, x) dx_1.$$

Найдем производную от Φ по t

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}(t) = & \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left\{ 2M_k^+ (\dot{u}_k^+ \ddot{u}_k^+ + \dot{w}_k^+ \ddot{w}_k^+) + 2E_k^+ J_k^+ w_k^{+''} \dot{w}_k^{+''} + 2E_k^+ F_k^+ \left(u_k^{+'} + \frac{1}{2} w_k^{+'2} \right) \left(\dot{u}_k^{+'} + w_k^{+'} \dot{w}_k^{+'} \right) \right\} dx + \\ & + \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left\{ 2M_k^- (\dot{u}_k^- \ddot{u}_k^- + \dot{w}_k^- \ddot{w}_k^-) + 2E_k^- J_k^- w_k^{-''} \dot{w}_k^{-''} + 2E_k^- F_k^- \left(u_k^{-'} + \frac{1}{2} w_k^{-'2} \right) \left(\dot{u}_k^{-'} + w_k^{-'} \dot{w}_k^{-'} \right) \right\} dx + \sum_{i=1}^3 (\dot{I}_i + \dot{J}_i). \end{aligned} \quad (15)$$

Пусть граничные условия на концах пластин при $x=a_k (k=1..n)$ для $w_k^-(x,t)$ или $x=b_k (k=1..m)$ для $w_k^+(x,t)$ могут иметь вид:

1) жесткое защемление (рис. 2 а):

$$w_k(x,t) = w_k'(x,t) = u_k(x,t) = 0; \quad (16a)$$

2) шарнирное неподвижное закрепление (рис. 2 б):

$$w_k(x,t) = w_k''(x,t) = u_k(x,t) = 0; \quad (16б)$$

3) жесткое подвижное защемление (рис. 2 в):

$$w_k(x,t) = w_k'(x,t) = u_k'(x,t) = 0; \quad (16в)$$

4) шарнирное подвижное закрепление (рис. 2 г):

$$w_k(x,t) = w_k''(x,t) = u_k'(x,t) + \frac{1}{2} w_k'^2(x,t) = 0. \quad (16г)$$

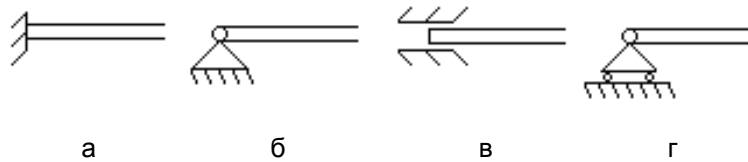


Рис. 2. Способы закреплений

Проведем интегрирование по частям ($\gamma_k = b_k$ для знака (+), $\gamma_k = a_k$ для знака (-)) с учетом граничных условий (16а)-(16г):

$$\begin{aligned} \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{w}_k^{\pm} w_k^{\pm''''} dx &= \dot{w}_k^{\pm} w_k^{\pm''''} \Big|_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} - \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{w}_k^{\pm'} w_k^{\pm''''} dx = -\dot{w}_k^{\pm} w_k^{\pm''''} \Big|_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} + \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{w}_k^{\pm} w_k^{\pm''''} dx = \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{w}_k^{\pm} w_k^{\pm''''} dx, \\ \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{u}_k^{\pm} \left(u_k^{\pm'} + \frac{1}{2} w_k^{\pm'2} \right)' dx &= \dot{u}_k^{\pm} \left(u_k^{\pm'} + \frac{1}{2} w_k^{\pm'2} \right) \Big|_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} - \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{u}_k^{\pm'} \left(u_k^{\pm'} + \frac{1}{2} w_k^{\pm'2} \right) dx = - \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{u}_k^{\pm'} \left(u_k^{\pm'} + \frac{1}{2} w_k^{\pm'2} \right) dx, \\ \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{w}_k^{\pm} \left[w_k^{\pm'} \left(u_k^{\pm'} + \frac{1}{2} w_k^{\pm'2} \right) \right]' dx &= - \int_{\gamma_{2i-1}}^{\gamma_{2i}} \dot{w}_k^{\pm} w_k^{\pm'} \left(u_k^{\pm'} + \frac{1}{2} w_k^{\pm'2} \right) dx. \end{aligned}$$

Изменяя порядок интегрирования и используя условия (16), проведем интегрирование по частям

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_k^+(x_1,t) \frac{\partial K_1(x_1,x)}{\partial x} dx_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} dx_1 \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_k^+(x_1,t) \frac{\partial K_1(x_1,x)}{\partial x} dx = \\ & = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_k^+(x_1,t) K_1(x_1,x) \Big|_{x=b_{2i-1}}^{x=b_{2i}} dx_1 - \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} dx_1 \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_k^+(x_1,t) K_1(x_1,x) dx = \\ & = - \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} dx \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} \dot{w}_i^+(x_1,t) \dot{w}_k^+(x,t) K_1(x_1,x) dx_1 = - \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \dot{w}_k^+(x_1,t) \dot{w}_i^+(x,t) K_1(x_1,x) dx_1. \end{aligned}$$

В последних двух равенствах поменяли местами переменные интегрирования x и x_1 (учитывая, что $K_1(x_1,x) = K_1(x,x_1)$) и порядок суммирования, перед этим поменяв индексы суммирования i и k местами.

Аналогичные равенства можно получить для сумм интегралов с подынтегральными функциями $\dot{w}_i^\pm(x,t) \dot{w}_k^\pm(x,t) \frac{\partial K_j(x_1,x)}{\partial x}$ ($j = 1,2$), $\dot{w}_i^\pm(x,t) w_k^\pm(x,t) \frac{\partial K_j(x_1,x)}{\partial x}$ ($j = 1,2$).

С учетом проведенных преобразований для функций $w_k^\pm(x,t)$ и $u_k^\pm(x,t)$, являющихся решениями системы уравнений (9), (10), равенство (15) принимает вид:

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}(t) = & - \frac{2\rho}{\pi} \sum_{i=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} \left\{ \dot{w}_i^+ \left[\sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \ddot{w}_k^+ K_1(x_1,x) dx_1 - \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \ddot{w}_k^- K_2(x_1,x) dx_1 \right] \right\} dx + \\ & + \frac{2\rho V^2}{\pi} \sum_{i=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} \left\{ \dot{w}_i^+ \left[\sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} w_k^+{}' K_1(x_1,x) dx_1 - \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} w_k^-{}' K_2(x_1,x) dx_1 \right] \right\} dx + \\ & - \frac{2\rho}{\pi} \sum_{i=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} \left\{ \dot{w}_i^- \left[\sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \ddot{w}_k^- K_1(x_1,x) dx_1 - \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \ddot{w}_k^+ K_2(x_1,x) dx_1 \right] \right\} dx + \\ & + \frac{2\rho V^2}{\pi} \sum_{i=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} \left\{ \dot{w}_i^- \left[\sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} w_k^-{}' K_1(x_1,x) dx_1 - \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} w_k^+{}' K_2(x_1,x) dx_1 \right] \right\} dx + \sum_{i=1}^3 (\dot{I}_i + \dot{J}_i). \end{aligned} \tag{17}$$

Преобразуем интеграл $\dot{I}_1(t)$:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1(t) = & \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_j^+(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1 = \\ = & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} (\dot{w}_i^+(x,t) \ddot{w}_j^+(x_1,t) + \ddot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_j^+(x_1,t)) K_1(x_1,x) dx_1. \end{aligned}$$

Поскольку $K_1(x_1,x) = K_1(x,x_1)$, то, меняя сначала порядок интегрирования, а затем переменные x_1 и x , индексы i и j и порядок суммирования, будем иметь:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_j^+(x_1,t) \ddot{w}_i^+(x,t) K_1(x_1,x) dx_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x,t) \ddot{w}_i^+(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1.$$

Для $\dot{I}_1(t)$, таким образом, получаем следующее выражение:

$$\dot{I}_1(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{2\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x,t) \ddot{w}_j^+(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1.$$

Аналогично преобразовывая интегралы $\dot{I}_2(t)$, $\dot{I}_3(t)$, $\dot{J}_1(t)$, $\dot{J}_2(t)$, $\dot{J}_3(t)$ с учетом симметричности ядер $K_1(x_1, x) = K_1(x, x_1)$, $K_2(x_1, x) = K_2(x, x_1)$, получим

$$\begin{aligned} \dot{I}_2(t) &= -\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{2\rho}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^+(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K_2(x_1, x) dx_1 - \\ &\quad - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{2\rho}{\pi} \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^-(x, t) \dot{w}_j^+(x_1, t) K_2(x_1, x) dx_1, \\ \dot{I}_3(t) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{2\rho}{\pi} \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^-(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K_1(x_1, x) dx_1, \\ \dot{J}_1(t) &= -\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{2\rho V^2}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x, t) \dot{w}_j^+(x_1, t) K_1(x_1, x) dx_1, \\ \dot{J}_3(t) &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{2\rho V^2}{\pi} \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^-(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K_1(x_1, x) dx_1, \\ \dot{J}_2(t) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{2\rho V^2}{\pi} \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^+(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K_2(x_1, x) dx_1 + \\ &\quad + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{2\rho V^2}{\pi} \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^-(x, t) \dot{w}_j^+(x_1, t) K_2(x_1, x) dx_1. \end{aligned}$$

Подставляя эти равенства в правую часть (17), имеем

$$\dot{\Phi}(t) = 0.$$

Интегрируя от 0 до t , получим

$$\Phi(t) = \Phi(0). \quad (18)$$

Оценим повторные интегралы в выражении для $\Phi(0)$, определенного выражениями (14), пользуясь равенством $K_1(x_1, x) = K(x_1, x) + K_2(x_1, x)$, доказанными ранее неравенствами [11]

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x, t) \dot{w}_j^+(x_1, t) K(x_1, x) dx_1 \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^-(x, t) \dot{w}_j^-(x_1, t) K(x_1, x) dx_1 \geq 0,$$

и очевидным неравенством $\pm 2ab \leq a^2 + b^2$, а также симметричностью и неотрицательностью ядер $K_1(x_1, x)$, $K_2(x_1, x)$, следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x, 0) \dot{w}_j^+(x_1, 0) K_1(x_1, x) dx_1 \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^{+2}(x, 0) K_1(x_1, x) dx_1, \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^-(x, 0) \dot{w}_j^-(x_1, 0) K_1(x_1, x) dx_1 \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^{-2}(x, 0) K_1(x_1, x) dx_1, \quad (20)$$

$$-2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^+(x, 0) \dot{w}_j^-(x_1, 0) K_2(x_1, x) dx_1 \leq \quad (21)$$

$$\leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^{+2}(x, 0) K_2(x_1, x) dx_1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^{-2}(x, 0) K_2(x_1, x) dx_1,$$

$$-\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^+(x,0) w_j^+(x_1,0) K_1(x_1,x) dx_1 = -\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^+(x,0) w_j^+(x_1,0) K(x_1,x) dx_1 - \quad (22)$$

$$-\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^+(x,0) w_j^+(x_1,0) K_2(x_1,x) dx_1 \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^+{}^2(x,0) K_2(x_1,x) dx_1,$$

$$-\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^-(x,0) w_j^-(x_1,0) K_1(x_1,x) dx_1 \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^-{}^2(x,0) K_2(x_1,x) dx_1, \quad (23)$$

$$2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^+(x,0) w_j^-(x_1,0) K_2(x_1,x) dx_1 \leq 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^+{}^2(x,0) K_2(x_1,x) dx_1 + \quad (24)$$

$$+ 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^-{}^2(x,0) K_2(x_1,x) dx_1.$$

Из (13), (14), (19)-(24) следует

$$\Phi(0) \leq \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left\{ \left(M_k^+ + \frac{\rho K_k^+}{\pi} \right) \dot{w}_{0k}^+{}^2 + M_k^+ \dot{u}_{0k}^+{}^2 + E_k^+ J_k^+ w_{0k}^+{}^{\prime\prime 2} + \frac{\rho V^2 G_k^+}{\pi} w_{0k}^+{}^{\prime 2} + E_k^+ F_k^+ \left(u_{0k}^+{}^{\prime} + \frac{1}{2} w_{0k}^+{}^{\prime 2} \right)^2 \right\} dx + \quad (25)$$

$$+ \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left\{ \left(M_k^- + \frac{\rho K_k^-}{\pi} \right) \dot{w}_{0k}^-{}^2 + M_k^- \dot{u}_{0k}^-{}^2 + E_k^- J_k^- w_{0k}^-{}^{\prime\prime 2} + \frac{\rho V^2 G_k^-}{\pi} w_{0k}^-{}^{\prime 2} + E_k^- F_k^- \left(u_{0k}^-{}^{\prime} + \frac{1}{2} w_{0k}^-{}^{\prime 2} \right)^2 \right\} dx,$$

где $\dot{w}_{0i}^+ = \dot{w}_i^+(x,0)$, $w_{0i}^+{}^{\prime\prime} = w_i^+{}^{\prime\prime}(x,0)$, $w_{0i}^+ = w_i^+(x,0)$, $w_{0i}^+{}^{\prime} = w_i^+{}^{\prime}(x,0)$ ($i = 1 \div m$),
 $\dot{w}_{0i}^- = \dot{w}_i^-(x,0)$, $w_{0i}^-{}^{\prime\prime} = w_i^-{}^{\prime\prime}(x,0)$, $w_{0i}^- = w_i^-(x,0)$, $w_{0i}^-{}^{\prime} = w_i^-{}^{\prime}(x,0)$ ($i = 1 \div n$),

$$K_i^+ = \sup_{x \in (b_{2i-1}, b_{2i})} K_1^+(x), \quad K_1^+(x) = \sum_{j=1}^m \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} K_1(x_1,x) dx_1 + \sum_{j=1}^n \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} K_2(x_1,x) dx_1, \quad i = 1 \div m,$$

$$K_i^- = \sup_{x \in (a_{2i-1}, a_{2i})} K_1^-(x), \quad K_1^-(x) = \sum_{j=1}^n \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} K_1(x_1,x) dx_1 + \sum_{j=1}^m \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} K_2(x_1,x) dx_1, \quad i = 1 \div n,$$

$$G_i^+ = \sup_{x \in (b_{2i-1}, b_{2i})} G_1^+(x), \quad G_1^+(x) = \sum_{j=1}^m \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} K_2(x_1,x) dx_1 + \sum_{j=1}^n \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} K_2(x_1,x) dx_1, \quad i = 1 \div m,$$

$$G_i^- = \sup_{x \in (a_{2i-1}, a_{2i})} G_1^-(x), \quad G_1^-(x) = \sum_{j=1}^n \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} K_2(x_1,x) dx_1 + \sum_{j=1}^m \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} K_2(x_1,x) dx_1, \quad i = 1 \div n.$$

Оценим повторные интегралы в выражении для $\Phi(t)$, определенном выражениями (13), (14), пользуясь равенством $K_1(x_1,x) = K(x_1,x) + K_2(x_1,x)$, доказанными ранее неравенствами [11]

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^+(x,t) w_j^+(x_1,t) K(x_1,x) dx_1 \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^-(x,t) w_j^-(x_1,t) K(x_1,x) dx_1 \geq 0$$

и $\pm 2ab \geq -(a^2 + b^2)$, а также симметричностью и неотрицательностью ядер $K_1(x_1,x), K_2(x_1,x)$, следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_j^+(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1 &\geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_j^+(x_1,t) K_2(x_1,x) dx_1 \geq \\ &\geq - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^{+2}(x,t) K_1(x_1,x) dx_1, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^-(x,t) \dot{w}_j^-(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1 \geq - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^{-2}(x,t) K_2(x_1,x) dx_1, \quad (27)$$

$$- 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^+(x,t) \dot{w}_j^-(x_1,t) K_2(x_1,x) dx_1 \geq \quad (28)$$

$$\geq - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} \dot{w}_i^{+2}(x,t) K_2(x_1,x) dx_1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} \dot{w}_i^{-2}(x,t) K_2(x_1,x) dx_1,$$

$$- \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^+(x,t) w_j^+(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1 \geq - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^{+2}(x,t) K_1(x_1,x) dx_1, \quad (29)$$

$$2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^+(x,t) w_j^-(x_1,t) K_2(x_1,x) dx_1 \geq - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^{+2}(x,t) K_2(x_1,x) dx_1 - \quad (30)$$

$$- \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{b_{2j-1}}^{b_{2j}} w_i^{-2}(x,t) K_2(x_1,x) dx_1,$$

$$- \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^-(x,t) w_j^-(x_1,t) K_1(x_1,x) dx_1 \geq - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} dx \int_{a_{2j-1}}^{a_{2j}} w_i^{-2}(x,t) K_1(x_1,x) dx_1. \quad (31)$$

Таким образом, согласно (13), (14), (26)-(31)

$$\begin{aligned} \Phi(t) &\geq \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left\{ \left(M_k^+ - \frac{\rho G_k^+}{\pi} \right) \dot{w}_k^{+2} - \frac{\rho V^2 K_k^+}{\pi} w_k^{+2} + E_k^+ J_k^+ w_k^{+2} \right\} dx + \\ &+ \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left\{ \left(M_k^- - \frac{\rho G_k^-}{\pi} \right) \dot{w}_k^{-2} - \frac{\rho V^2 K_k^-}{\pi} w_k^{-2} + E_k^- J_k^- w_k^{-2} \right\} dx. \end{aligned} \quad (32)$$

Рассмотрим краевые задачи для уравнений $\psi^{IV}(x) = -\lambda^+ \psi''(x)$, $x \in [b_{2i-1}, b_{2i}] (i = 1 \div m)$ и $\psi^{IV}(x) = -\lambda^- \psi''(x)$, $x \in [a_{2i-1}, a_{2i}] (i = 1 \div n)$ с краевыми условиями (16) [12]. Эти задачи являются самосопряженными и полностью определенными. Используя для функций $w_i^\pm(x,t)$ неравенство Рэлея, получим

$$\int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} w_i^{+2}(x,t) dx \geq \lambda_{i1}^+ \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} w_i^{+2}(x,t) dx, \quad i = 1 \div m, \quad \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} w_i^{-2}(x,t) dx \geq \lambda_{i1}^- \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} w_i^{-2}(x,t) dx, \quad i = 1 \div n, \quad (33)$$

где λ_{i1}^\pm – наименьшие собственные значения рассматриваемых краевых задач.

Далее, воспользовавшись неравенством Буняковского, будем иметь

$$\frac{w_i^{+2}(x,t)}{(b_{2i} - b_{2i-1})} \leq \int_{b_{2i-1}}^{b_{2i}} w_i^{+2}(x,t) dx, \quad i = 1 \div m, \quad \frac{w_i^{-2}(x,t)}{(a_{2i} - a_{2i-1})} \leq \int_{a_{2i-1}}^{a_{2i}} w_i^{-2}(x,t) dx, \quad i = 1 \div n. \quad (34)$$

Пусть выполняются условия

$$M_i^+ \geq \frac{\rho G_i^+}{\pi}, E_i^+ J_i^+ \lambda_{1i}^+ > \frac{\rho V^2 K_i^+}{\pi} \quad i = 1 \div m, \quad M_i^- \geq \frac{\rho G_i^-}{\pi}, E_i^- J_i^- \lambda_{1i}^- > \frac{\rho V^2 K_i^-}{\pi} \quad i = 1 \div n, \quad (35)$$

тогда с учетом (33)-(35) из (25), (32) получаем неравенство

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^m \left(E_k^+ J_k^+ \lambda_{1k}^+ - \frac{\rho V^2 K_k^+}{\pi} \right) \frac{w_k^{+2}(x,t)}{b_{2k} - b_{2k-1}} + \sum_{k=1}^n \left(E_k^- J_k^- \lambda_{1k}^- - \frac{\rho V^2 K_k^-}{\pi} \right) \frac{w_k^{-2}(x,t)}{a_{2k} - a_{2k-1}} \leq \\ & \leq \sum_{k=1}^m \int_{b_{2k-1}}^{b_{2k}} \left\{ \left(M_k^+ + \frac{\rho K_k^+}{\pi} \right) \dot{w}_{0k}^{+2} + M_k^+ \dot{u}_{0k}^{+2} + E_k^+ J_k^+ w_{0k}^{+2} + \frac{\rho V^2 G_k^+}{\pi} w_{0k}^{+2} + E_k^+ F_k^+ \left(u_{0k}^{+'} + \frac{1}{2} w_{0k}^{+2} \right)^2 \right\} dx + \\ & + \sum_{k=1}^n \int_{a_{2k-1}}^{a_{2k}} \left\{ \left(M_k^- + \frac{\rho K_k^-}{\pi} \right) \dot{w}_{0k}^{-2} + M_k^- \dot{u}_{0k}^{-2} + E_k^- J_k^- w_{0k}^{-2} + \frac{\rho V^2 G_k^-}{\pi} w_{0k}^{-2} + E_k^- F_k^- \left(u_{0k}^{-}' + \frac{1}{2} w_{0k}^{-2} \right)^2 \right\} dx. \end{aligned}$$

Из этого неравенства следует теорема.

Теорема. Пусть выполняются условия (35). Тогда решения $w_k^+(x,t)$ ($k = 1 \div m$), $w_k^-(x,t)$ ($k = 1 \div n$) системы уравнений (9), (10) устойчивы по отношению к возмущениям начальных значений $\dot{w}_{0k}^+, w_{0k}^+, w_{0k}^{+'}, \dot{u}_{0k}^+, u_{0k}^{+'}$ ($k = 1 \div m$), $\dot{w}_{0k}^-, w_{0k}^-, w_{0k}^{-'}, \dot{u}_{0k}^-, u_{0k}^{-}'$ ($k = 1 \div n$), если функции $w_k^+(x,t), u_k^+(x,t)$ ($k = 1 \div m$), $w_k^-(x,t), u_k^-(x,t)$ ($k = 1 \div n$) удовлетворяют краевым условиям (16а)-(16г).

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы» Минобрнауки РФ (проект 2.1.1/6194).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2062662 Российская Федерация, МПК⁶ В 06 В 1/18, 1/20. Гидродинамический излучатель / П.А. Вельмисов, Г.М. Горшков, Г.К. Рябов; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. № 5038746/28 ; заявл. 20.07.92 ; опубл. 27.06.96. Бюл. № 18.
2. Вельмисов П.А. Устойчивость вязкоупругих пластин при аэрогидродинамическом воздействии / П.А. Вельмисов, Ю.А. Решетников. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1994. 176 с.
3. Анкилов А.В. Устойчивость вязкоупругих элементов стенок проточных каналов / А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов. Ульяновск: УлГТУ, 2000. 115 с.
4. Вельмисов П.А. Устойчивость уравнений взаимодействия вязкоупругих пластин с жидкостью / П.А. Вельмисов, Ю.А. Решетников, В.Б. Колмановский // Дифференциальные уравнения. 1994. Т. 30. Вып. 11. С. 1966-1981.
5. Анкилов А.В. Математические модели механической системы «трубопровод – датчик давления» / А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов, Ю.В. Покладова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 3(27). Вып. 2. С. 7-14.
6. Ankilov A.V. On stability of viscoelastic elements of thin-shelled constructions under aerohydrodynamic action / A.V. Ankilov, P.A. Velmiso // Nonlinear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications to Engineering Sciences. Vol. 6: Applications of Nonlinear Phenomena. Rio de Janeiro, Brasil, 2002. P. 78-87.
7. Анкилов А.В. Устойчивость вязкоупругих элементов несущей поверхности в дозвуковом потоке / А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов // Труды Средневолжского математического общества. Саранск, 2007. Т. 9, № 1. С. 69-80.
8. Ankilov A.V. Stability of the solutions of one class of aerohydroelasticity problems / A.V. Ankilov, P.A. Velmiso // Applications of Mathematics in Engineering and Economics. American Institute of Physics, USA, 2008. P. 414-426.
9. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. М.: Наука, 1987. 688 с.

10. Гахов Ф.Д. Краевые задачи / Ф.Д. Гахов. М.: Наука, 1977. 640 с.
 11. Анкилов А.В. Устойчивость упругих элементов крылового профиля / А.В. Анкилов, П.А. Вельмисов, Н.А. Дегтярева // Прикладная математика и механика: сб. науч. тр. Ульяновск: УлГТУ, 2007. Т. 7. С. 9-18.
 12. Коллатц Л. Задачи на собственные значения / Л. Коллатц. М.: Наука, 1968. 503 с.

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

Ankilov Andrey Vladimirovich – Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Assistant Professor of the Department of «Higher Mathematics» of Ulyanovsk State Technical University

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

Velmisov Pyotr Aleksandrovich – Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of «Higher Mathematics» of Ulyanovsk State Technical University

Семенова Елизавета Петровна – аспирант кафедры «Волновая и газовая динамика» Московского государственного университета

Semyonova Elizaveta Petrovna – Post-graduate student of the Department of «Wave and Gas Dynamics» of Moscow State University

Статья поступила в редакцию 13.01.09, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 519.8:539.217

С.Г. Гестрин, Е.А. Сальникова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПИНОВЫХ ВОЛН С ДИСЛОКАЦИЯМИ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Показано, что наличие в ферромагнетике дислокаций приводит к локализации на них спиновых волн. Получено и исследовано дисперсионное уравнение, а также определена зависимость амплитуды локализованных волн от расстояния до дислокации. Найден частотный интервал, отделяющий локализованные колебания от объемных.

Кристаллические решетки, дислокации, ферромагнетики, спиновые волны, дисперсионное уравнение, локализованные колебания.

S.G. Gestrin, E.A. Salnikova

MATHEMATICAL MODEL OF INTERACTION OF SPINAL WAVES WITH DISLOCATIONS IN FERROMAGNETICS

The authors demonstrate the presence of dislocations in ferromagnetic lead to spinal waves localization on it. They research the dispersion equation, and also

determined the dependence of amplitude of localized waves from the distance to dislocation. The frequency interval was received, which separates localized oscillations from volumetric oscillations.

Cristal lattice, dislocations, ferromagnetic, spinal waves, dispersion equation, localized oscillations.

Известно, что наличие в кристалле дефектов структуры различной размерности приводит к возникновению локализованных на них колебаний. Амплитуда локализованных колебаний быстро убывает с удалением от дефекта, а частота отделена некоторым конечным интервалом от спектра объемных колебаний [1, 2, 3]. Характер убывания амплитуды с удалением от дефекта определяется его размерностью. Для дислокаций, представляющих одномерные дефекты, амплитуда убывает с удалением от дислокации $\sim K_0(kr)$, где $K_0(kr)$ – функция Макдональда, k – поперечное волновое число. При большом значении аргумента $kr \gg 1$ имеет место соотношение $K_0(kr) \propto (kr) \exp(-kr)$. Наличие в кристалле дополнительных ветвей колебаний может в некоторых случаях существенно влиять на его свойства [1, 2].

Ниже построена математическая модель локализованных на дислокации спиновых волн, представляющих собой колебания относительной ориентации спинов в кристаллической решетке ферромагнетика. Простейшими ферромагнитными системами являются ферромагнитны – диэлектрики, в которых все электронные спины ионов параллельны в основном состоянии (CrBr₃, EuO, EuS) [4, 5]. Возможным возбужденным состоянием такой системы является состояние, в котором один или несколько спинов перевернуты. Значительно меньшей энергией будет обладать состояние, в котором спины повернуты лишь частично. При этом концы спиновых векторов прецессируют по поверхностям конусов так, что существует постоянный сдвиг фазы между двумя соседними спинами, а по кристаллу распространяется спиновая волна. Для простоты в дальнейшем будем предполагать, что дислокация в кристалле ориентирована вдоль оси Z, направление которой совпадает с ориентацией спинов в основном состоянии.

Энергия взаимодействия двух атомов, обладающих спинами \vec{S}_i и \vec{S}_j , в модели Гейзенберга определяется выражением:

$$U = -J\vec{S}_i\vec{S}_j, \quad (1)$$

где J – обменный интеграл.

Энергия ферромагнетика может быть представлена в виде:

$$U = -\frac{1}{2} \sum_{\vec{m} \neq \vec{n}} J_{\vec{m}\vec{n}} \vec{S}_{\vec{n}} \vec{S}_{\vec{m}}, \quad J_{\vec{m}\vec{n}} = J(\vec{r}_{\vec{n}} - \vec{r}_{\vec{m}}). \quad (2)$$

Здесь суммирование ведется по всем атомам в кристалле; «векторные» (с целочисленными компонентами) индексы \vec{m} и \vec{n} нумеруют узлы решетки; $\vec{r}_{\vec{n}}$ – их радиусы-векторы.

Магнитный момент в узле \vec{n} :

$$\vec{\mu}_{\vec{n}} = -g \mu_B \vec{S}_{\vec{n}}, \quad (3)$$

где g – фактор Ланде; μ_B – магнетон Бора.

Введем в рассмотрение эффективное магнитное поле $\vec{B}_{\vec{n}}$ (поле Вейсса):

$$\vec{B}_{\vec{n}} = -\frac{1}{g\mu_B} \sum_{\vec{m}} J_{\vec{m}\vec{n}} \vec{S}_{\vec{m}}, \quad (\vec{m} \neq \vec{n}). \quad (4)$$

Тогда энергия взаимодействия магнитного момента $\vec{\mu}_{\vec{n}}$ с полем Вейсса может быть представлена в виде: $-\vec{\mu}_{\vec{n}} \vec{B}_{\vec{n}}$. Изменение во времени момента количества движения $\hbar \vec{S}_{\vec{n}}$ равно вращающему моменту $\vec{\mu}_{\vec{n}} \times \vec{B}_{\vec{n}}$, действующему на спин:

$$\hbar \frac{d\vec{S}_{\vec{n}}}{dt} = \vec{\mu}_{\vec{n}} \times \vec{B}_{\vec{n}}. \quad (5)$$

Рассмотрим кристалл, содержащий дислокацию, совпадающую с осью Z . Будем предполагать, что обменное взаимодействие атомов, расположенных вдоль дислокации, отличается от взаимодействия между атомами в остальном объеме кристалла. В этом случае:

$$\hbar \frac{d\vec{S}(\vec{r})}{dt} = \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') \vec{S}(\vec{r}) \times \vec{S}(\vec{r}'), \quad (\vec{\rho} \neq 0), \quad (6)$$

$$\hbar \frac{d\vec{S}(0, z)}{dt} = \sum_{z', \vec{\rho}' \neq 0} J(\vec{r} - \vec{r}') \vec{S}(0, z) \times \vec{S}(\vec{\rho}', z') + \sum_{z'} J_1(z - z') \vec{S}(0, z) \times \vec{S}(0, z'). \quad (7)$$

Соотношения (6) и (7) можно объединить:

$$\begin{aligned} \hbar \frac{d\vec{S}(\vec{\rho}, z)}{dt} = & \sum_{z', \vec{\rho}'} J(\vec{r} - \vec{r}') \vec{S}(\vec{\rho}, z) \times \vec{S}(\vec{\rho}', z') + \delta_{0, \vec{\rho}'} \sum_z J_1(z - z') \vec{S}(0, z) \times \vec{S}(\vec{\rho}', z') - \\ & - \delta_{0, \vec{\rho}'} \sum_z J(z - z') \vec{S}(0, z) \times \vec{S}(\vec{\rho}', z'), \quad (\vec{r} \neq \vec{r}'). \end{aligned} \quad (8)$$

В уравнениях (6)-(8) $\vec{r} = (\vec{\rho}, z)$, $\vec{\rho} = (x, y)$, $\delta_{0, \vec{\rho}}$ – символ Кронекера. Введем в рассмотрение возмущение обменной матрицы, вносимое дислокацией: $\beta(z - z') = J(z - z') - J_1(z - z')$. При анализе длинноволновых колебаний ($\lambda \gg a$) это возмущение можно считать сосредоточенным на оси дислокации. Из (8) получим:

$$\hbar \frac{d\vec{S}(\vec{\rho}, z)}{dt} = \sum_{\vec{\rho}', z'} J(\vec{r} - \vec{r}') \vec{S}(\vec{\rho}, z) \times \vec{S}(\vec{\rho}', z') - a^2 \delta(\vec{\rho}') \sum_z \beta(z - z') \vec{S}(0, z) \times \vec{S}(\vec{\rho}', z'). \quad (9)$$

При записи (9) учтено, что:

$$\delta_{0, \vec{\rho}} = \delta_{0, n_x} \delta_{0, n_y} \rightarrow \delta\left(\frac{x}{a}\right) \delta\left(\frac{y}{a}\right) = a^2 \delta(x) \delta(y) = a^2 \delta(\vec{\rho}), \quad (10)$$

где $\delta(\vec{\rho})$ – дельта-функция Дирака; a – постоянная решетки кристалла. Если оси X и Y ориентированы вдоль векторов основных трансляций кубической решетки, то для координат x и y узла решетки $x/a = n_x$ и $y/a = n_y$ представляют собой целые числа и $\vec{\rho} = n_x \vec{a} + n_y \vec{b}$, где \vec{a} и \vec{b} – векторы основных трансляций, перпендикулярные дислокации.

Из (9) находим:

$$\begin{aligned} \hbar \frac{dS_x(\vec{\rho}, z)}{dt} = & \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') (S_y(\vec{r}) S_z(\vec{r}') - S_y(\vec{r}') S_z(\vec{r})) - \\ & - a^2 \delta(\vec{\rho}') \sum_z \beta(z - z') (S_y(0, z) S_z(0, z') - S_y(0, z') S_z(0, z)); \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \hbar \frac{dS_y(\vec{\rho}, z)}{dt} = & - \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') (S_x(\vec{r}) S_z(\vec{r}') - S_x(\vec{r}') S_z(\vec{r})) + \\ & + a^2 \delta(\vec{\rho}') \sum_z \beta(z - z') (S_x(0, z) S_z(0, z') - S_x(0, z') S_z(0, z)). \end{aligned} \quad (12)$$

Если амплитуда возбуждения мала ($S_x, S_y \ll S$), то, положив $S_z = S$ и пренебрегая членами, содержащими произведения $S_x S_y$ в уравнении для dS_z/dt , получим приближенную линейную систему уравнений:

$$\hbar \frac{dS_x(\vec{\rho}, z)}{dt} = S \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') (S_y(\vec{r}) - S_y(\vec{r}')) - a^2 \delta(\vec{\rho}') S \sum_z \beta(z - z') (S_y(0, z) - S_y(0, z')), \quad (13)$$

$$\hbar \frac{dS_y(\vec{\rho}, z)}{dt} = -S \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') (S_x(\vec{r}) - S_x(\vec{r}')) + a^2 \delta(\vec{\rho}') S \sum_z \beta(z - z') (S_x(0, z) - S_x(0, z')), \quad (14)$$

$$\hbar \frac{dS_z(\vec{\rho}, z)}{dt} = 0. \quad (15)$$

Предполагая, что $S_x, S_y \sim \exp(-i\omega t)$, из (13) находим:

$$\begin{aligned} -i\omega \hbar S_x(\vec{\rho}, z) = & S \left(S_y(\vec{r}) \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') - \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') S_y(\vec{r}') \right) - \\ & - a^2 \delta(\vec{\rho}) S \left(S_y(0, z) \sum_{z'} \beta(z - z') - \sum_{z'} \beta(z - z') S_y(0, z') \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Введем далее обозначения:

$$\sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') \equiv A, \quad \sum_{z'} \beta(z - z') \equiv B, \quad (17)$$

что справедливо в силу однородности кристалла. Для простой кубической решетки в приближении ближайших соседей: $A = 6J$, $B = 2(J - J_1)$. Из (16) и (17) находим:

$$-i\omega \hbar S_x(\vec{\rho}, z) = S \left(A \cdot S_y(\vec{r}) - \sum_{\vec{r}'} J(\vec{r} - \vec{r}') S_y(\vec{r}') \right) - a^2 \delta(\vec{\rho}) S \left(B \cdot S_y(0, z) - \sum_{z'} \beta(z - z') S_y(0, z') \right). \quad (18)$$

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

$$S_x(\vec{\rho}, z) = \frac{a}{2\pi} \int S_x(\vec{\rho}, k) \exp(ikz) dk, \quad S_k(\vec{\rho}, k) = \sum_z S_x(\vec{\rho}, z) \exp(-ikz), \quad (19)$$

$$S_y(0, z) = \frac{a}{2\pi} \int S_y(0, k) \exp(ikz) dk, \quad S_y(0, k) = \sum_z S_y(0, z) \exp(-ikz).$$

Из (18) и (19) имеем:

$$-i\omega \hbar S_x(\vec{\rho}, k) = S \left(A \cdot S_y(\vec{\rho}, k) - \sum_{\vec{\rho}'} I_k(\vec{\rho} - \vec{\rho}') S_y(\vec{\rho}') \right) - a^2 \delta(\vec{\rho}) S (B \cdot S_y(0, k) - \beta_k S_y(0, k)), \quad (20)$$

где

$$I_k(\vec{\rho}) = \sum_z J(\vec{r}) \exp(-ikz), \quad \beta_k = \sum_z \beta(z) \exp(-ikz). \quad (21)$$

Из (21) при $ak \ll 1$, разлагая экспоненту в ряд, находим:

$$\beta_k \approx \sum_z \beta(z) - ik \sum_z z \beta(z) - \frac{k^2}{2} \sum_z z^2 \beta(z) + \dots \quad (22)$$

Используя четность функции $\beta(z)$, а также условие (17), из (22) получим:

$$\beta_k \approx B - k^2 \beta_0, \quad \beta_0 \equiv \frac{1}{2} \sum_z z^2 \beta(z). \quad (23)$$

Подставим (23) в (20):

$$-i\omega \hbar S_x(\vec{\rho}, k) = S \left(A \cdot S_y(\vec{\rho}, k) - \sum_{\vec{\rho}'} I_k(\vec{\rho} - \vec{\rho}') S_y(\vec{\rho}') \right) - a^2 k^2 \beta_0 \delta(\vec{\rho}) S S_y(0, k). \quad (24)$$

Воспользуемся далее двумерным разложением Фурье:

$$S_x(\vec{\rho}, k) = \frac{a^2}{(2\pi)^2} \int S_x(\vec{k}, k) \exp(i\vec{k}\vec{\rho}) d^2\vec{k}, \quad \delta(\vec{\rho}) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int \exp(i\vec{k}\vec{\rho}) d^2\vec{k}, \quad (25)$$

где \vec{k} – двумерный волновой вектор: $\vec{k} = (k_x, k_y)$. Компоненты Фурье определяются из соотношений:

$$-i\omega \hbar S_x(\vec{k}, k) = S(A - I_k(\vec{k})) S_y(\vec{k}, k) - k^2 \beta_0 S S_y(0, k); \quad (26)$$

$$-i\omega\hbar S_y(\vec{k}, k) = -S(A - I_k(\vec{k}))S_x(\vec{k}, k) + k^2\beta_0 SS_x(0, k). \quad (27)$$

Перепишем систему (26),(27) в виде:

$$i\omega\hbar S_x(\vec{k}, k) + S(A - I_k(\vec{k}))S_y(\vec{k}, k) = k^2\beta_0 SS_y(0, k); \quad (28)$$

$$S(A - I_k(\vec{k}))S_x(\vec{k}, k) - i\omega\hbar S_y(\vec{k}, k) = k^2\beta_0 SS_x(0, k). \quad (29)$$

Система (28), (29) представляет собой неоднородную систему алгебраических уравнений. Заметим, что в случае, когда дислокация в кристалле отсутствует, правые части уравнений (28) и (29) обращаются в ноль. Условием существования нетривиальных решений в этом случае является равенство нулю определителя:

$$\Delta = \begin{vmatrix} i\omega\hbar & S(A - I_k(\vec{k})) \\ S(A - I_k(\vec{k})) & -i\omega\hbar \end{vmatrix} = \omega^2\hbar^2 - S^2(A - I_k(\vec{k}))^2 = 0. \quad (30)$$

Соотношение (30) определяет закон дисперсии объемных спиновых волн. В приближении, когда взаимодействие осуществляется только между ближайшими соседями, из (21) находим:

$$I_k(\vec{k}) = \sum_{\vec{\rho}} I_k(\vec{\rho}) \exp(-i\vec{k}\vec{\rho}) = \sum_{\vec{\rho}, z} J \exp[-i(\vec{k}\vec{\rho} + kz)] = J \sum_{\vec{\delta}} \exp[-i(\vec{k}\vec{\rho} + kz)] = J \sum_{\vec{\delta}} \cos(\vec{k}_0 \vec{\delta}), \quad (31)$$

где шесть векторов $\vec{\delta}$ соединяют центральный атом с его ближайшими соседями, $\vec{k}_0 = (\vec{k}, k)$. Из (30), (17) и (31) получаем:

$$\omega = \omega_0(\vec{k}, k) = \frac{SJ}{\hbar} \left(6 - \sum_{\vec{\delta}} \cos(\vec{k}_0 \vec{\delta}) \right). \quad (32)$$

Соотношение (32) совпадает с известным законом дисперсии для спиновых волн, полученным Блохом. При $ka \ll 1$ из (32) следует:

$$\omega \approx \frac{3SJ}{\hbar} k_0^2 a^2 = \frac{3SJ}{\hbar} a^2 (\kappa^2 + k^2). \quad (33)$$

Для решения неоднородной системы (28), (29) воспользуемся правилом Крамера:

$$S_x(\vec{k}, k) = -\frac{k^2\beta_0 S}{\hbar} \frac{i\omega S_y(0, k) + \omega_0(\vec{k}, k)S_x(0, k)}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)}, \quad (34)$$

$$S_y(\vec{k}, k) = \frac{k^2\beta_0 S}{\hbar} \frac{i\omega S_x(0, k) - \omega_0(\vec{k}, k)S_y(0, k)}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)}. \quad (35)$$

Из (34), (35) и (25) получим:

$$S_x(\vec{\rho}, k) = -\frac{(ak)^2\beta_0 S}{\hbar(2\pi)^2} \left(i\omega S_y(0, k) \int \frac{\cos(\vec{k}\vec{\rho})}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} d^2\vec{k} + S_x(0, k) \int \frac{\omega_0(\vec{k}, k)\cos(\vec{k}\vec{\rho})}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} d^2\vec{k} \right), \quad (36)$$

$$S_y(\vec{\rho}, k) = \frac{(ak)^2\beta_0 S}{\hbar(2\pi)^2} \left(i\omega S_x(0, k) \int \frac{\cos(\vec{k}\vec{\rho})}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} d^2\vec{k} - S_y(0, k) \int \frac{\omega_0(\vec{k}, k)\cos(\vec{k}\vec{\rho})}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} d^2\vec{k} \right). \quad (37)$$

Положим в (36) и (37) $\rho = 0$:

$$S_x(0, k) = -C \left(i\omega S_y(0, k) \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} + S_x(0, k) \int \frac{\omega_0(\vec{k}, k)\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} \right), \quad (38)$$

$$S_y(0, k) = C \left(i\omega S_x(0, k) \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} - S_y(0, k) \int \frac{\omega_0(\vec{k}, k)\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\vec{k}, k)} \right), \quad (39)$$

где $C \equiv \frac{(ak)^2\beta_0 S}{2\pi\hbar}$.

Перегруппируем слагаемые в (38) и (39):

$$S_x(0, k) \left(1 + C \int \frac{\omega_0(\bar{\kappa}, k) \kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} \right) + S_y(0, k) i \omega C \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} = 0, \quad (38a)$$

$$-S_x(0, k) i \omega C \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} + S_y(0, k) \left(1 + C \int \frac{\omega_0(\bar{\kappa}, k) \kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} \right) = 0. \quad (39a)$$

Нетривиальное решение (38a), (39a) существует, если равен нулю определитель системы:

$$\left(1 + C \int \frac{\omega_0(\bar{\kappa}, k) \kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} \right)^2 - \omega^2 C^2 \left(\int \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} \right)^2 = 0. \quad (40)$$

Из (40) получаем:

$$1 + C \int \frac{\omega_0(\bar{\kappa}, k) \kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} = \pm \omega C \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)}. \quad (41)$$

Если перед правой частью (41) стоит знак плюс, из (41) находим:

$$1 = C \int \frac{\omega - \omega_0(\bar{\kappa}, k)}{\omega^2 - \omega_0^2(\bar{\kappa}, k)} \kappa d\kappa = C \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega + \omega_0(\bar{\kappa}, k)}. \quad (42)$$

При отрицательном знаке правой части (41):

$$1 = -C \int \frac{\kappa d\kappa}{\omega - \omega_0(\bar{\kappa}, k)}. \quad (43)$$

Заменяя верхний бесконечный предел интегрирования в (43) конечным $\kappa_0 \sim 1/a$ и воспользовавшись выражением (33), имеем:

$$1 = -C \int_0^{\kappa_0} \frac{\kappa d\kappa}{\omega - \frac{3S J a^2}{\hbar} (\kappa^2 + k^2)}. \quad (44)$$

Выполним интегрирование в (44), пренебрегая малыми членами порядка величины $k^2 - \frac{\omega \hbar}{3S J a^2} / \kappa_0^2$:

$$\omega_{J1} \approx \frac{3S J a^2}{\hbar} k^2 - \frac{3S J a^2}{\hbar} \kappa_0^2 \exp\left(-\frac{12\pi J}{\beta_0 k^2}\right). \quad (45)$$

Вычисляя интеграл в (42), получим закон дисперсии для волны, распространяющейся в противоположном направлении:

$$\omega_{J2} \approx -\frac{3S J a^2}{\hbar} k^2 + \frac{3S J a^2}{\hbar} \kappa_0^2 \exp\left(-\frac{12\pi J}{\beta_0 k^2}\right). \quad (46)$$

Из системы (38 а), (39 а) и соотношения (40) следует также, что:

$$S_y(0, k) = -i S_x(0, k). \quad (47)$$

Подставляя (47) в (36) и (37), находим:

$$S_{x,y}(\vec{\rho}, k) = -\frac{(ak)^2 \beta_0 S}{2\pi \hbar} S_{x,y}(0, k) \int_0^{\infty} \frac{\kappa d\kappa}{\omega - \frac{3S J a^2}{\hbar} (\kappa^2 + k^2)} \left\{ \cos(\kappa \rho \cos \varphi) d\varphi \right\}. \quad (48)$$

Воспользуемся интегральным представлением функции Макдональда $K_0(\chi\rho)$:

$$\begin{aligned} S_{x,y}(\vec{\rho}, k) &= \frac{\beta_0 k^2}{6\pi J} S_{x,y}(0, k) K_0 \left(\sqrt{\frac{3S J a^2}{\hbar} k^2 - \omega_{Л1}} \frac{\sqrt{\hbar}}{\sqrt{3S J a^2}} \rho \right) = \\ &= \frac{\beta_0 k^2}{6\pi J} S_{x,y}(0, k) K_0 \left(\exp \left(-\frac{6\pi J}{\beta_0 k^2} \right) \kappa_0 \rho \right). \end{aligned} \quad (49)$$

При больших значениях аргумента $K_0(\chi\rho) \approx \sqrt{\pi/2\kappa\rho} \exp(-\chi\rho)$, таким образом, как видно из (49), амплитуда локализованной волны убывает с удалением от дислокации в основном экспоненциально.

Заметим, что равенство, аналогичное (47), будет выполняться для любого $\vec{\rho}$:

$$S_y(\vec{\rho}, k) = -i S_x(\vec{\rho}, k), \quad (50)$$

т.е. решение описывает круговую прецессию. Действительно:

$$S_x(\vec{\rho}, k, t) = \text{Re}[S_x(\vec{\rho}, k) \exp i(kz - \omega t)] = S_x(\vec{\rho}, k) \cos(kz - \omega t), \quad (51)$$

$$\begin{aligned} S_y(\vec{\rho}, k, t) &= \text{Re}[S_y(\vec{\rho}, k) \exp i(kz - \omega t)] = \\ &= \text{Re}[-i S_x(\vec{\rho}, k) \exp i(kz - \omega t)] = S_x(\vec{\rho}, k) \sin(kz - \omega t). \end{aligned} \quad (52)$$

Таким образом, в работе исследованы спиновые волны, локализованные на дислокациях в ферромагнетиках. На основе анализа системы дифференциальных уравнений, описывающих кристаллическую решетку ферромагнетика с линейным дефектом, получено дисперсионное уравнение для локализованных волн, а также выведен закон убывания амплитуды с удалением от дислокации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гестрин С.Г. Локализация поляритонов вблизи дислокаций в ионных кристаллах / С.Г. Гестрин // Известия вузов. Физика. 1996. № 10. С. 45-50.
2. Гестрин С.Г. Локализация плазменных колебаний вблизи заряженных дислокаций и дислокационных стенок в полупроводниках / С.Г. Гестрин // Известия вузов. Физика. 1998. № 2. С. 92-95.
3. Гестрин С.Г. Локализация экситонов Френкеля на дислокациях / С.Г. Гестрин, А.Н. Сальников // Известия вузов. Физика. 2005. № 7. С. 23-25.
4. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т. IX. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М.: Наука, 1978. 447 с.
5. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. М.: Наука, 1978. 791 с.

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

Gestrin Sergey Gennadyevich –
Doctor of Sciences in Physics and Mathematics,
Professor of the Department
of «Applied Physics»
of Saratov State Technical University

Сальникова Екатерина Александровна –
студентка
Саратовского государственного университета
им. Н.Г. Чернышевского

Salnikova Ekaterina Aleksandrovna –
Student
of Saratov State University in the name
of N.G. Chernyshevsky

Статья поступила в редакцию 10.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

М.В. Жигалов, Т.В. Бабенкова

**МЕТОДЫ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА (ОБЗОР)**

Даны обзор и систематизация методов, позволяющих линеаризовать исходные дифференциальные уравнения, описывающие поведение твердых тел при действии различных нагрузок.

Дифференциальные уравнения, механика, линеаризация.

M.V. Zhigalov, T.V. Babenkova

**DIFFERENTIAL EQUATIONS LINEARIZATION METHODS
OF DEFORMED SOLID BODY MECHANICS**

The article is the review and systematization of the methods which allow linearization of the initial differential equations describing behaviors of solid bodies at action of various loadings.

Differential equations, mechanics, linearization.

Введение

Для полного описания общих закономерностей упругого деформирования и периодических движений пластинчатых и оболочечных конструкций аппарат линейных дифференциальных уравнений оказывается недостаточным, поскольку в его рамки не укладываются наиболее интересные и характерные особенности нелинейных систем. К ним относятся не только количественная эволюция параметров системы в пространстве состояний, связанная с их нелинейной зависимостью от интенсивности возмущения и перестройкой пространственно-временных конфигураций, но и качественные изменения, приводящие к возникновению критических состояний, ответвлению новых решений и потере устойчивости равновесия либо движения.

Одним из первых нелинейных уравнений, как известно, является «уравнение Бернулли»:

$$\frac{dy}{dx} = p(x)y + g(x)y^n. \quad (1)$$

И. Бернулли предложил замену искомой функции в виде:

$$y^{1-n} = z$$
$$\frac{d}{dx}(y^{1-n}) = y^{-n} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{dz}{dx}. \quad (2)$$

Подставляя выражение (2) в уравнение (1), приходим к линейному обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка:

$$\frac{dz}{dx} = p(x)z + g(x). \quad (3)$$

Линеаризация нелинейного уравнения Рикатти:

$$\frac{dy}{dx} = P(x)y^2 + Q(x)y + R(x) \quad (4)$$

была предложена Эйлером. Им было показано, что, когда известно частное решение, то подстановкой

$$y = v + \frac{1}{z} \quad (5)$$

исходное нелинейное уравнение может быть приведено к линейному.

Приём, известный в настоящее время под именем метода Ньютона, впервые был подробно изложен Ньютоном в труде «Анализ с помощью уравнений с бесконечным числом членов», написанном не позднее 1669 г. Основная идея метода состоит в том, что малый корень нелинейного уравнения

$$F(x) = 0 \quad (6)$$

можно найти из линейного уравнения, получающегося, если в данном уравнении отбросить по их сравнительной малости все члены, начиная со второй степени. Тогда, если для корня данного уравнения известно приближенное решение x_0 такое, что

$$x = x_0 + p, \quad (7)$$

где p – малое число, то исходное уравнение заменяется уравнением

$$F_1(p) = 0, \quad (8)$$

с малыми корнями $\{p, p_0\}$, приближенное значение находится путем линеаризации этого уравнения. После этого, полагая, что

$$p = p_0 + q, \quad (9)$$

решается уравнение

$$F_2(q) = 0 \quad (10)$$

и т.д. Так возникает цепочка уравнений:

$$F_1(p) = 0; F_2(q) = 0; F_1(r) = 0 \quad (11)$$

и т.д. Последовательные поправки вычисляются всякий раз из соответствующих линейных уравнений.

Последователь Ньютона, член Королевского общества Джозеф Рафсон (1648-1715) придал методу несколько иной вид, вычисляя последовательные приближения корня x_1, x_2, \dots по одной и той же формуле. А именно, получив посредством линеаризации для уравнения

$$f(x) = f(x_0 + p) = f(x_0) + f'(x_0)p + \frac{f''(x_0)}{2!}p^2 + \dots \quad (12)$$

первую поправку

$$p_0 = -\frac{f(x_0)}{f'(x_0)}, \quad (13)$$

Д. Рафсон использует приближенное значение корня

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}, \quad (14)$$

точно такое же, как x_0 , т.е. образует

$$f(x_1 + q) = 0, \quad (15)$$

что позволяет аналогично найти

$$q_0 = -\frac{f(x_1)}{f'(x_1)} \quad (16)$$

и т.д. Отсюда получаем известную формулу

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}. \quad (17)$$

Итерационный метод Ньютона – Рафсона породил обширную литературу. Л. Эйлер в 1744 г. (в письме к Гольдбаху) и в 1755 г. (в своём курсе дифференциального исчисления) дал вывод метода Ньютона – Рафсона с помощью ряда Тейлора, пригодный и в случае трансцендентных уравнений. Приближения не всегда сходятся к истинному корню. На это обращал внимание еще И. Ньютон. Как можно обеспечить сходимость итерационного процесса показал марсельский математик Ж.Р. Муррайль в «Трактате об общем решении уравнения» (1768 г.) Детальный анализ метода провел Ж.Б. Фурье (опубликовано посмертно в 1831 г.).

В XVIII веке появился и первый метод линеаризации. Его автором стал российский академик Яков Герман. В одной из своих работ он рассмотрел уравнение:

$$y = F(y')x + Q(y'). \quad (18)$$

Это уравнение теперь известно под именем либо Даламбера, решившего его на 20 лет позднее (1748 г.), либо Лагранжа, занявшегося им еще позднее. Для решения уравнения Я. Герман вводит параметр

$$p = y', \quad (19)$$

и дифференцируя уравнение по x , получает линейное уравнение относительно x :

$$p = F(p) + [xF'(p) + Q'(p)] \frac{dp}{dx}. \quad (20)$$

В XVIII веке создавались основы приближенных методов решения дифференциальных уравнений. Необходимость в них возникла при попытке применить основные уравнения механики к задачам теории планетных движений, а именно к задаче трех тел. Эксцентриситеты планетных орбит, наклон их к эклиптике и действия сил тяготения в теории возмущений представляют собой очень малые величины. Поэтому со времени выхода «Исследований о различных, важных вопросах системы мира» (1754 г.) Даламбера пришли к мысли рассматривать в качестве приближенных решений круговые орбиты, а затем исправлять эти приближения с помощью рядов, расположенных по возрастающим степеням указанных малых величин.

Рассмотрим систему нелинейных уравнений, полученных Эйлером при рассмотрении задачи движения планет. Начало системы координат, Эйлер поместил в центр Солнца:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} - 2n \frac{dy}{dt} - n^2(1+x^2) = \frac{-n^2(1+x)}{[(1+x)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}; \\ \frac{d^2y}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} - n^2y = \frac{-n^2y}{[(1+x)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}, \end{cases} \quad (21)$$

где x, y – декартовы координаты планеты в момент t ; $n = \frac{1}{a\sqrt{a}}$; a – среднее расстояние планеты от Солнца. В выбранной системе координат y^2 весьма мало по сравнению с $(1+x^2)$. Учитывая это, Эйлер разлагает в ряд общий множитель правых частей уравнений

$$\frac{1}{[(1+x)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{(1+x)^3} - \frac{3}{2} \frac{y^2}{(1+x)^5} + \frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 4} \frac{y^4}{(1+x)^7} - \dots \quad (22)$$

Затем проводится разложение каждого из слагаемых. После замены

$$\xi = nt \tag{23}$$

Эйлер сохраняет в правых частях преобразованных уравнений члены до шестого порядка. Приближенное решение весьма сложной нелинейной системы уравнений Эйлер строит в виде разложений неизвестных функций x и y по степеням малого параметра, за который в данном случае берется эксцентриситет орбиты ε :

$$\begin{cases} x = \varepsilon P + \varepsilon^2 Q + \varepsilon^3 R + \dots \\ y = \varepsilon p + \varepsilon^2 q + \varepsilon^3 r + \dots, \end{cases} \tag{24}$$

где $P, Q, \dots p, q, \dots$ – неизвестные функции аргумента ξ , подлежащие определению. Определение их проводится соответственно задаваемой степени точности, т.е. максимальной степени ε , участвующей в уравнениях. Сохраняя члены лишь первого и второго порядков, Эйлер получает линейную систему:

$$\begin{cases} \frac{d^2 P}{d\xi^2} - \frac{2dp}{d\xi} = 3P; & \frac{d^2 p}{d\xi^2} + \frac{2dP}{d\xi} = 0; \\ \frac{d^2 Q}{d\xi^2} - \frac{2dq}{d\xi} = 3Q - 3P^2 + \frac{3}{2} p^2; & \frac{d^2 q}{d\xi^2} + \frac{2dQ}{d\xi} = 3Pp. \end{cases} \tag{25}$$

Аналогичные системы последовательно выписываются при учете членов до шестого порядка включительно.

В работах Эйлера получает дальнейшее развитие метод бесконечных рядов, при этом, наряду с разложениями по степеням приращения независимого переменного Эйлер использовал разложение по степеням малого параметра, а также им использовались тригонометрические ряды. Кроме Эйлера в указанной области много работали Лагранж, Лаплас и Кондорсе.

В теории обыкновенных дифференциальных уравнений заслуживает внимание работа Остроградского «Заметка о методе последовательных приближений» (1838 г.). В ней предложен метод решения нелинейных уравнений с помощью разложения решения в ряд по малому параметру, позволяющий избегать так называемых вековых членов, содержащих аргумент вне тригонометрических функций. В этом случае:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + y = \alpha y^3 \tag{26}$$

при граничных условиях

$$\begin{cases} y|_{x=0} = 1; \\ \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = 0 \end{cases} \tag{27}$$

представляется в виде

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \left(1 - \frac{3\alpha}{4}\right)y = \omega \left(y^3 - \frac{3}{4}y\right), \tag{28}$$

которое совпадает с исходным уравнением при $\omega = \alpha$. Решение имеет вид:

$$y = \cos(nt) + \frac{2}{32h}(\cos(nt) - \cos(3nt)), \quad \text{где } h = 1 - \frac{3\alpha}{n}. \tag{29}$$

Еще одним способом линеаризации является выделение из нелинейного линейного оператора и построение итерационной процедуры. При этом на каждом шаге её решается линейное дифференциальное уравнение. Одним из самых старых и известных итерационных методов является метод последовательных приближений. В историко-математической литературе распространено мнение, что первое применение этот метод получил в работах Огюста

Коши (1789-1857). Поводом для этого послужили ссылки на Коши французского ученого Ф. Муаньо во втором томе его лекций по анализу (1844 г.), где для решения уравнения

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = F(x) \cdot y \quad (30)$$

строилась следующая итерационная процедура:

$$\frac{d^2 y_0}{dx^2} = 0; \frac{d^2 y_1}{dx^2} = F(x) \cdot y_0; \frac{d^2 y_2}{dx^2} = F(x) \cdot y_1; \dots, \quad (31)$$

тогда сумма решений этих уравнений дает решение исходного уравнения

$$y = y_0 + y_1 + y_2 + \dots \quad (32)$$

Метод последовательных приближений досконально проанализировал Пикар. В дальнейшем метод последовательных приближений применялся целым рядом авторов для интегрирования линейных дифференциальных уравнений произвольного порядка (Коке, 1864 г., Фуке, 1870-1871 гг. и др.).

В III томе «Интегрального исчисления» Эйлера изложены методы решения нелинейных уравнений первого порядка типа:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 = a^2, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = \varphi\left(x, \frac{V}{x}\right), \quad V = \varphi\left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}\right). \quad (33)$$

При этом ряд нелинейных уравнений сводится к линейным уравнениям при помощи преобразования

$$d\left(V - x \frac{\partial V}{\partial x} - y \frac{\partial V}{\partial y}\right) = -x d\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right) - y d\left(\frac{\partial V}{\partial y}\right), \quad (34)$$

которое впоследствии стало несправедливо называться «преобразованием Лежандра». Эйлер использует также несимметричное преобразование

$$d\left(V - y \frac{\partial V}{\partial y}\right) = \frac{\partial V}{\partial x} dx - y d\left(\frac{\partial V}{\partial y}\right). \quad (35)$$

В этом же томе «Интегрального исчисления» Эйлер показал, что любое дифференциальное уравнение в частных производных первого порядка с тремя переменными можно привести к линейному уравнению в частных производных с четырьмя переменными. Этот результат, которому сам Эйлер не придал должного значения, был по достоинству оценен Лагранжем. Однако ни Эйлер, ни Лагранж не завершили исследование нелинейных уравнений первого порядка. Их идеи были развиты в работах П. Шарпи и Г. Монжа. Идея метода, носящего имена Лагранжа и Шарпи в современных учебниках, состоит в том, что к нелинейному уравнению

$$F\left(x, y, V, \frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}\right) = 0 \quad (36)$$

подбирается другое уравнение

$$Q\left(x, y, V, \frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}\right) = a, \quad (37)$$

содержащее произвольную постоянную a так, чтобы система уравнений (35) и (36) стала бы вполне интегрируемой. Для этого необходимо, чтобы систему можно было решить относительно совокупности переменных

$$p = \frac{\partial V}{\partial x}, \quad q = \frac{\partial V}{\partial y}, \quad (38)$$

и чтобы найденные при этом функции удовлетворяли условию полной интегрируемости:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y}. \quad (39)$$

Условие (38) приводит к линейному уравнению в частных производных для подбираемой функции $Q(x, y, V, p, q)$:

$$\frac{\partial F}{\partial p} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial q} \frac{\partial Q}{\partial y} + \left(p \frac{\partial F}{\partial p} + q \frac{\partial F}{\partial q} \right) \frac{\partial Q}{\partial V} - \left(\frac{\partial F}{\partial x} + p \frac{\partial F}{\partial V} \right) \frac{\partial Q}{\partial p} - \left(\frac{\partial F}{\partial y} + q \frac{\partial F}{\partial V} \right) \frac{\partial Q}{\partial q} = 0. \quad (40)$$

Достаточно найти одно частное решение последнего уравнения, а так как оно эквивалентно системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{\frac{\partial F}{\partial p}} = \frac{dy}{\frac{\partial F}{\partial q}} = \frac{dV}{p \frac{\partial F}{\partial p} + q \frac{\partial F}{\partial q}} = -\frac{dp}{\frac{\partial F}{\partial x} + p \frac{\partial F}{\partial V}} = -\frac{dq}{\frac{\partial F}{\partial y} + q \frac{\partial F}{\partial V}}, \quad (41)$$

то достаточно найти один первый интеграл этой системы

$$Q(x, y, V, p, q) = a. \quad (42)$$

После подбора функции $Q(x, y, z, p, q)$ в уравнении (36) из системы уравнений (35), (36) находят p и q :

$$p = \varphi_1(x, y, V, a), \quad q = \varphi_2(x, y, V, a) \quad (43)$$

и для неизвестной функции $V(x, y)$ получается вполне интегрируемое уравнение

$$dV = \varphi_1(x, y, V, a) dx + \varphi_2(x, y, V, a) dy. \quad (44)$$

Интеграл последнего уравнения

$$I(x, y, V, C_1, C_2) = 0, \quad (45)$$

где C_1, C_2 – произвольные постоянные, будет так называемым полным интегралом исходного нелинейного уравнения.

Шарпи пытался распространить метод на уравнения с большим числом переменных, но ему не удалось преодолеть встретившиеся на этом пути трудности. Новые методы решения нелинейных уравнений в частных производных были даны в следующем столетии, в трудах И.Ф. Пфаффа, О. Коши, К.Г. Якоби.

Нелинейные уравнения в частных производных второго порядка были рассмотрены Монжем еще в 1784 г. Он продифференцировал уравнение

$$F(x, y, V, p, q, r, s, t) = 0, \quad (46)$$

где $p = \frac{\partial V}{\partial x}$, $q = \frac{\partial V}{\partial y}$, $r = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$, $s = \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y}$, $t = \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$, и особо допустил, что дифференциал

$$A dr + B ds + C dt + D dx + E dy = 0 \quad (47)$$

распадается на два уравнения

$$\begin{cases} D dx + E dy = 0; \\ A dr + B ds + C dt = 0, \end{cases} \quad (48)$$

т.е., как мы говорим теперь, существует характеристика второго порядка. Эти два уравнения дали ему линейное дифференциальное уравнение, но уже третьего порядка, которое доставило согласно прежним его указаниям два обыкновенных дифференциальных уравнения, непосредственно приводящих к решению.

Еще один прием решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка дал Лежандр в 1789 г. Он рассмотрел уравнение

$$r = F(s, t). \quad (49)$$

С помощью преобразования

$$x ds + y dt = dU \quad (50)$$

он свел последнее к линейному уравнению

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + S \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial s} - T \frac{\partial^2 U}{\partial s^2} = 0, \quad (51)$$

где S и T – функции s и t .

Ниже рассмотрено современное состояние методов линеаризации нелинейных дифференциальных уравнений механики деформированного твердого тела.

Математические методы, позволяющие исследовать нелинейные дифференциальные уравнения, значительно сложнее и труднее методов линейного анализа, поэтому долгое время в механике рассматривались лишь простейшие нелинейные задачи. Развитию новых идей в понимании нелинейной механики способствовало появление компьютеров. Их использование для нелинейного анализа достигло такого уровня, что представляется возможным исследовать глобальное поведение тонкостенной системы.

Существующие методы решения нелинейных задач, в зависимости от уровня, на котором происходит линеаризация, можно разделить на две группы. Первая – линеаризация систем дифференциальных уравнений, вторая – линеаризация алгебраических уравнений, получающихся в результате применения к исходным дифференциальным методам дискретизации. Далее рассмотрены методы первой группы.

1. Методы, не изменяющие исходный дифференциальный оператор

Одними из представителей этой группы являются методы Ньютона и Ньютона – Канторовича. Суть их в следующем: пусть задано нелинейное уравнение

$$L[x] = 0 \quad (52)$$

с нелинейным, дифференцируемым по Фреше оператором, действующим из некоторого множества G банахова пространства E_1 в банахово пространство E_2 . Если определен действующий из E_1 в E_2 линейный оператор

$$\{L'[x^{(n+1)}]\}^{-1}, \quad (53)$$

то для решения исходного дифференциального уравнения применима следующая итерационная процедура

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} - \{L'[x^{(n)}]\}^{-1} L[x^{(n)}]. \quad (54)$$

Модификацией этой итерационной процедуры является следующая

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} - \{L'[x^{(0)}]\}^{-1} L[x^{(n)}], \quad (55)$$

где $x^{(0)}$ – начальное приближение.

Метод Ньютона – Канторовича использован в статье [44] для решения системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих большие деформации оболочек вращения при симметричной нагрузке. При этом метод применен ко всей системе. Для нахождения матрицы функциональных производных предлагается использовать либо численную процедуру, типа разностной, либо непосредственное дифференцирование операторов. Эффективность метода подтверждена решением задачи о нелинейном деформировании плоской мембраны. Тот же метод применен в статье В.Н. Мальгина [32] для создания алгоритмов решения задач прочности, устойчивости и колебаний оболочек вращения, основанных на уравнениях типа С.П. Тимошенко. Метод Ньютона – Канторовича применяется последовательно к каждому из шести обыкновенных нелинейных уравнений. Линейные уравнения решаются методом ортогональной прогонки. Автором отмечается, что контрольные расчеты по всем

программам показали хорошую сходимость алгоритмов и их устойчивость. В статье Н.В. Валишвили [10] с помощью метода Ньютона исходная нелинейная краевая задача теории оболочек сводится к задаче Коши, для решения которой используется метод Рунге – Кутты. Что касается доказательств сходимости методов Ньютона и Ньютона – Канторовича для нелинейных уравнений, то они даны в статьях В.М. Вержбицкого [15] и А.В. Машкова [33]. Модификация метода Ньютона с использованием ряда Тейлора относится к другой группе и описана ниже.

2. Методы, изменяющие исходный дифференциальный оператор

Наиболее известный метод этой группы – метод последовательных приближений. Существуют две модификации этого метода. В первой – из нелинейного оператора выделяется линейный оператор со старшими производными. Все остальные составляющие исходного уравнения перебрасываются в правую часть и их формирование происходит за счет значений искомых функций, полученных на предыдущих итерациях.

Наиболее часто встречается метод простой итерации. Суть его в следующем. Для решения нелинейной системы

$$L[u] = f \quad (56)$$

предлагается представить оператор в виде

$$L = L_1 + L_2 + L_3, \quad (57)$$

где L_1 – линейный оператор старшей степени, а L_2 – линейный оператор младшей степени, L_3 – нелинейный оператор. В результате получается следующая итерационная процедура:

$$L_1^{(n)}[u] = f - L_2^{(n-1)}[u] - L_3^{(n-1)}[u]. \quad (58)$$

Использование этой процедуры отражено в статьях [45, 5, 6, 7, 28, 29, 1] и многих других. Для учета нелинейных членов в граничных условиях при решении задач теории оболочек в статье [47] предложено добавить в правую часть итерационного уравнения член, стоящий слева, вычисленный по формулам нелинейных граничных условий от предыдущей итерации. В ряде статей [26, 27] предложено кроме линейных членов со старшей производной оставлять линейные члены меньшей степени с искомой функцией. В статье [56] в итерационную процедуру введен специальный параметр:

$$L_1^{(n)}[u] = (1 - \omega)L_1^{(n-1)}[u] + \omega(f - L_2^{(n-1)}[u] - L_3^{(n-1)}[u]). \quad (59)$$

Ряд статей посвящен привлечению дополнительных итерационных процедур для уточнения решения, получаемого методом простой итерации. Так, в статье С.П. Гавели [16] предлагается при решении основных итерационных процессов использовать методы теории потенциала, приводящие к удобным для построения итерационного процесса матрицам Грина. В работе [11] в основную итерационную процедуру добавлены уравнения, для уточнения некоторых членов в правой части. И наконец, в статье [17] введен дополнительный итерационный процесс

$$u^{(n+1)} = u^{(n)} + \alpha(\tilde{u} - u^{(n)}), \quad (60)$$

где α – параметр, обеспечивающий сходимость процесса; \tilde{u} – решение по методу простой итерации.

Другой модификацией метода последовательных приближений является подход, предложенный в статье В.Г. Трошина [49]. Рассматривается техническая теория оболочек в смешанной форме. Вводятся три новых функции

$$\varphi_1 = \frac{1}{2}w, \varphi_2 = (1-s)w, \varphi_3 = sF, \quad (61)$$

где s – некоторая постоянная. В результате получаем систему следующего вида:

$$\begin{cases} D\Delta\Delta w + L(\varphi_3, w) + \Delta_2 F = p_1 \\ H\Delta\Delta F - \Delta_1 w = p_2. \end{cases} \quad (62)$$

Величина φ_3 представляет собой дополнительную изгибную жесткость, а в операторы Δ_i входят дополнительные параметры кривизны и кручения срединной поверхности. Таким образом, исходная нелинейная система заменяется последовательностью линейных систем с дополнительными параметрами жесткости, кривизны и кручения, определяемых итерационным путём. Коэффициент s характеризует вклад, который вносит дополнительная изгибная жесткость в общий уровень нелинейности системы. Для примера автором рассматривалась прямоугольная в плане сферическая панель под действием равномерно распределенной нагрузки, края оперты шарнирно-подвижно. Результаты расчетов подтверждают хорошую сходимость предлагаемого метода.

Метод, предложенный в 1958 г. В.З. Власовым и получивший название метода последовательных нагружений, заключается в представлении нагрузки в виде суммы отдельных ступеней. В пределах каждой ступени нагрузки считаются линейными для рассматриваемых объектов (пластинки, оболочки и др.). Величины ступеней нагрузки выбираются так, чтобы, например отношение прогиба к толщине пластинки укладывалось в рамки лимитной теории. Таким образом, решение системы нелинейных уравнений сводится к последовательному решению нескольких систем линейных уравнений. Этот метод был разработан В.В. Петровым в статье [39]. Этим методом решены как геометрически, так и физически нелинейные задачи, контактные задачи и задачи для массивных тел. В ряде статей предложено уточнять решение, полученное методом последовательных нагружений, методом наискорейшего спуска, разработанным Л.В. Канторовичем [40], или методом Ньютона [30].

Одной из разновидностей методов последовательных приближений являются методы линеаризации, описанные в книге Р. Беллмана, Р. Калаба [9]. Применение этих методов описано в статьях Я.М. Григолюка, А.Т. Василенко, Н.Н. Крюкова и многих других [18, 20, 21]. Во всех работах многомерная задача предварительно сводилась к одномерной методами Власова – Канторовича, Бубнова – Галёркина, прямых. В результате получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$\frac{d\bar{N}}{dx} = \bar{g}(x, \bar{N}), \quad (63)$$

где \bar{N} , \bar{g} , x – соответственно вектор искомых функций, вектор правых частей и независимая переменная. К уравнениям присоединяются граничные условия

$$C_1 \bar{N}(x_1) = c_1, C_2 \bar{N}(x_2) = c_2. \quad (64)$$

Для решения этой нелинейной системы предлагается следующий алгоритм:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{N}^{(m+1)}}{dx} &= \bar{g}(x, \bar{N}^{(m)}) + J(\bar{N}^{(m)})[\bar{N}^{(m+1)} - \bar{N}^{(m)}]; \\ C_1 \bar{N}^{(n+1)}(x_1) &= c_1; \\ C_2 \bar{N}^{(n+1)}(x_2) &= c_2, \end{aligned} \quad (65)$$

где $J(\bar{N}^{(m)})$ – матрица Якоби системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Полученная линейная краевая задача решается методом дискретной ортогонализации.

Другой разновидностью методов последовательных приближений являются методы спуска, которые впервые были описаны Темплом [53] и Канторовичем [25]. Они состоят в том, что для решения функционального уравнения

$$(A - \lambda B)X - P = 0 \quad (66)$$

отыскивают на каждом шаге итерационного процесса минимум одной из форм: Φ_1 – потенциальная энергия системы, Φ_2 – сумма квадратов левых частей уравнений или других на не-

котором подпространстве минимизации. Помимо геометрической интерпретации, метод спуска может быть истолкован «механически». Он имитирует движение системы, когда она освобождена в начальном положении, не представляющем положение равновесия. Для такой интерпретации достаточно номеру шага процесса присвоить название «дискретного времени». Таким образом, статическая система заменяется динамической с искусственно введенным временем, что обеспечивает ранее недостижимые вычислительные результаты. Классификация методов спуска и обзор работ по использованию их в задачах механики приведены в работах [12, 13, 14, 46].

3. Метод малой добавки

Методы, принадлежащие третьей группе, используют представление искомым функций в виде суммы известного решения и малой добавки – играющей роль уточнения решения. Это представление дает возможность линеаризовать исходное уравнение. Одним из таких методов является метод, изложенный в статьях [52, 54, 55, 41, 36]. Суть его в следующем. Пусть дано нелинейное уравнение

$$y''(x) + f(y(x), x) = 0. \quad (67)$$

Будем искать решение в виде

$$y_1 = y_0 + \Delta, \quad (68)$$

где y_0 – заданное решение; Δ – поправка. Подставляя в исходное уравнение и разлагая нелинейные члены в ряд Тейлора в окрестности точки (x_0, y_0) , получаем:

$$y_0'' + \Delta'' + f(y_0, x_0) + f'(y_0, x_0)(y_1 - y_0) + \dots = 0. \quad (69)$$

Отбрасывая слагаемые, начиная с

$$(y_1 - y_0)^2 = \Delta^2, \quad (70)$$

приходим к линейному уравнению

$$\Delta'' + k \Delta = F(y_0, x_0). \quad (71)$$

Решая это уравнение, находим поправку, которую используем для нахождения первого приближения. Затем процесс повторяется до достижения заданной точности.

Аналогичный подход, но под названием метода последовательных приближений, применен в статье [2] для численного решения нелинейной задачи определения прогибов и напряжений в гофрированной мембране, упруго закрепленной по контуру и нагруженной равномерно распределенным давлением и сосредоточенной силой в центре. Гофрированная мембрана представлена в виде осесимметричной полой оболочки. Далее используется процедура, описанная выше. Нулевое приближение находится из решения линейной задачи. Статья [51] посвящена применению аналогичного подхода к решению задачи для тела типа диска из анизотропного материала, нагруженного по краю. Нулевое приближение получается из решения задачи для изотропного тела.

Разновидностью методов, использующих малые добавки к решению, являются методы малого параметра. Д.Ф. Давиденко в статьях [22, 23] предложен метод решения систем нелинейных уравнений, содержащих параметр, значение которого известно. Изложим кратко существо этого метода. Пусть дана система уравнений

$$f_k(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (72)$$

Пусть также для $\lambda = \lambda_0$ известны такие x_{i0} , что

$$f_k(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}, \lambda_0) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (73)$$

Функции f_k определены и непрерывны в некоторой $(n+1)$ – мерной области G изменения $x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda$ и точка $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}, \lambda_0) \in G$. Пусть также в области G якобиан

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = \frac{D(f_1, f_2, \dots, f_n)}{D(x_1, x_2, \dots, x_n)} \neq 0. \quad (74)$$

Параметр λ принимается за независимую переменную и x_1, x_2, \dots, x_n считаются функциями λ . Исходная система дифференцируется по λ . В результате получается система обыкновенных уравнений, линейных относительно производных:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial f_k}{\partial x_i} \frac{dx_i}{d\lambda} = -\frac{\partial f_k}{\partial \lambda}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (75)$$

Так как якобиан этой системы отличен от нуля, то она может быть решена относительно производных $\frac{dx_i}{d\lambda}$. В итоге задача сводится к системе уравнений вида:

$$\frac{dx_i}{d\lambda} = F_i(x_1, \dots, x_n, \lambda), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (76)$$

К этой системе присоединяются граничные условия

$$x_i(\lambda_0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (77)$$

Полученная задача является задачей Коши для переменной λ . Интегрирование этой задачи любым из известных методов для значений на отрезке $[\lambda, \lambda_0] \in G$ даёт приближенное решение для исходной системы. Описанный метод нашел широкое применение для решения разнообразных задач механики [31, 33, 18, 24, 48, 50]. Метод малого параметра был впервые использован Г.Н. Савиным и А.Н. Гузем [42] для исследования напряженного состояния около криволинейных отверстий в оболочках. Развитием этого подхода явилась статья Ю.К. Немиша и Б.Л. Пелеха [35]. Метод Ньютона в сочетании с методом продолжения решения по параметру применен к задаче о нелинейном деформировании спиральных камер гидротурбин в упругой среде в статье [4]. Для линеаризации уравнений, описывающих деформацию нелинейно-упругих оболочек вращения переменной толщины И.Р. Садыховым [43] используется метод малого параметра, названного автором методом малых возмущений. Для этого в нелинейный закон упругости вводится малый параметр, который характеризует отклонение нелинейного закона от условного линейного закона. Использование малого параметра и разложения в ряд Тейлора нелинейных членов рассмотрено в статье [3].

4. Методы прямой линеаризации

Рассмотрим их на примере статей Я.Г. Пановко [37, 38]. Пусть задано нелинейное уравнение

$$\ddot{x} + f(x) = 0. \quad (78)$$

Заменим это уравнение на линейное

$$\ddot{x} + \bar{f}(x) = 0, \quad (79)$$

где $\bar{f}(x) = kx$.

Для определения коэффициента k проведем следующие рассуждения. Уклонение заменяющей линейной характеристики от заменяемой нелинейной имеет вид

$$r(x) = f(x) - \bar{f}(x) \quad (80)$$

и может быть подчинено требованию минимума интеграла

$$I = \int_{-A}^A r^2(x) dx, \quad (81)$$

выражающего интегральное квадратичное уклонение. Этот интеграл, очевидно, зависит от выбора параметра k , поэтому минимизация достигается определением этого параметра из уравнения:

$$\frac{\partial I}{\partial k} = 0. \quad (82)$$

Далее автор отмечает, что в существовании такого подхода лежит предположение о том, что все отклонения в равной мере важны, независимо от значения координаты x . На самом деле, в задачах о колебаниях существеннее те отклонения, которые имеют место при больших значениях координаты, а это делает естественным замену самого отклонения моментом отклонения:

$$r \cdot x = [f(x) - \bar{f}(x)] \cdot x. \quad (83)$$

Задача сводится к минимизации интеграла:

$$I = \int_{-A}^A \{ [f(x) - \bar{f}(x)] x \}^2 dx, \quad (84)$$

т.е. нахождению коэффициента k из уравнения

$$\frac{\partial}{\partial k} \int_{-A}^A \{ [f(x) - \bar{f}(x)] x \}^2 dx = 0. \quad (85)$$

Подставляя в подинтегральное выражение значение $\bar{f}(x)$ и проводя некоторые вычисления, получаем формулу для вычисления k :

$$k = \frac{5}{2A^5} \int_{-A}^A f(x) \cdot x^3 dx. \quad (86)$$

После того как параметр k найден, задача сводится к элементарному интегрированию линейного уравнения

$$\ddot{x} + kx = 0. \quad (87)$$

Аналогичный подход прямой замены нелинейных членов на линейные описан в статье Л.У. Бахтиевой и А.У. Богдановича [8]. Идея метода изложена на примере оболочек вращения. Отметим также, что данный подход предусматривает уточнение вводимых линейных величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Е.Г. Инженерный метод расчета тонких прямоугольных плит переменной толщины / Е.Г. Алексеева // Сб. тр. Моск. инж.-строит. ин-та. 1969. № 63. С. 124-129.
2. Андреева Л.Е. Численное решение задачи о больших прогибах гофрированной мембраны / Л.Е. Андреева // Инженерный журнал. Механика твердого тела. 1967. № 3. С. 83-89.
3. Андрианов И.В. Модифицированный метод декомпозиции Адомяна / И.В. Андрианов, В.И. Олевский, С.И. Токажевский // Прикладная математика и механика. 1969. Т. 62. № 4. С. 334-339.
4. Аронсон А.Я. Нелинейное деформирование спиральных камер гидротурбин в упругой среде / А.Я. Аронсон // Проблемы прочности. 1985. № 4. С. 97-102.
5. Баженов В.А. О кольцевых напряжениях в цилиндрических оболочках, усиленных продольными ребрами / В.А. Баженов, В.А. Заруцкий // Прикладная механика. 1968. Т. 4. № 11. С. 125-129.
6. Баженов В.А. Нелінійна задача згину циліндричної оболонки-труби, укладеної в ґрунт / В.А. Баженов // Доповіді АН УРСР. А. 1968. № 7. С. 648-652.
7. Баженов В.А. Расчет цилиндрических оболочек по деформированному состоянию / В.А. Баженов // Соппротивление материалов и теория сооружений: Всесоюзн. межвуз. науч. сб. М., 1968. Вып. 7. С. 26-32.
8. Бахтиева Л.У. Метод прямой линеаризации геометрически нелинейных задач теории оболочек / Л.У. Бахтиева, А.У. Богданович // Исследования по прикладной математике. 1992. № 18. С. 12-16.

9. Беллман Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Р. Беллман, Р. Калаба. М.: Мир, 1968. 183 с.
10. Валишвили Н.В. Об одном алгоритме решения нелинейных краевых задач / Н.В. Валишвили // Прикладная математика и механика. 1968. Т. 32. № 6. С. 1089-1092.
11. Ващенко Л.Ф. Геометрически нелинейное деформирование мягких оболочек / Л.Ф. Ващенко // Доклады АН УССР. Сер. А. 1979. № 2. С. 101-104.
12. Вайнберг Д.В. Методы численного анализа в теории упругости / Д.В. Вайнберг, А.Л. Синявский // Тр. 2-го Всесоюзн. съезда по теор. и прикл. механ. М.: Наука, 1964. С. 83-94.
13. Вайнберг Д.В. Итерационные алгоритмы и численные задачи теории пластин и оболочек / Д.В. Вайнберг, А.Л. Синявский, Е.С. Дихтярюк // Теория оболочек и пластин: сб. ст. Ереван: АН Арм. ССР, 1964. С. 301-308.
14. Вайнберг Д.В. Метод спуска и программирование задач строительной механики пластин и оболочек / Д.В. Вайнберг, Е.С. Дихтярюк, А.Л. Синявский // ЭЦВМ в строительной механике: сб. ст. М.: Стройиздат, 1966. С. 465-470.
15. Вержбицкий В.М. О свободных от обращения вложенных итерациях Ньютона / В.М. Вержбицкий // Краевые задачи: сб. ст. Пермь, 1979. С. 83-84.
16. Гавеля С.П. Итерационные схемы расчета напряженного состояния тонких оболочек / С.П. Гавеля // Прикладная механика. 1969. Т. V. № 8. С. 42-49.
17. Грибов А.П. Алгоритм расчета гибких пологих оболочек с использованием прямого метода граничных элементов / А.П. Грибов, В.Г. Малахов // Тр. XVIII Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. Саратов: СГТУ, 1997. С. 54-59.
18. Григолюк Э.И. К построению периодических решений в задаче о концентрации напряжений в круговой цилиндрической оболочке с отверстиями / Э.И. Григолюк, Л.А. Фильштинский, В.Е. Кац // Исследования по теории пластин и оболочек: сб. ст. Казань: КГУ, 1970. Вып. 6-7. С. 65-67.
19. Григоренко Я.М. К численному решению краевых задач о деформации гибких круглых пластин переменной жесткости / Я.М. Григоренко, О. Овлякулиев // Прикладная механика. 1978. Т. XIV. № 4. С. 63-70.
20. Григоренко Я.М. Неосесимметричная деформация гибких круглых пластин переменной жесткости / Я.М. Григоренко, Н.Н. Крюков, Т.Г. Ахалая // Прикладная механика. 1979. Т. XV. № 10. С. 75-80.
21. Григоренко Я.М. Численное решение задач о напряженном состоянии гибких некруговых цилиндрических оболочек / Я.М. Григоренко, А.Т. Василенко, Н.Н. Крюков // Прикладная механика. 1984. Т. XX. № 3. С. 40-44.
22. Давиденко Д.Ф. Об одном новом методе численного решения систем нелинейных уравнений / Д.Ф. Давиденко // Доклады АН СССР. 1953. Т. 88. № 4. С. 601-602.
23. Давиденко Д.Ф. О приближенном решении систем нелинейных уравнений / Д.Ф. Давиденко // Украинский математический журнал. 1953. Т. 5. № 2. С. 196-206.
24. Карасик М.И. Об одном шаговом методе решения нелинейных уравнений теории упругости / М.И. Карасик, В.И. Шалашилин // Прочность конструкций: сб. ст. Уфа, 1976. № 1. С. 87-92.
25. Канторович Л.В. Об одном эффективном методе решения экстремальных задач для квадратичных функционалов (о градиентном методе наискорейшего спуска) / Л.В. Канторович // Доклады АН СССР. 1945. Т. 48. № 7. С. 345-357.
26. Каюк Я.Ф. Метод квазилинеаризации в некоторых нелинейных задачах механики / Я.Ф. Каюк, В.К. Хижняк // Прикладная механика. 1981. Т. XVII. № 5. С. 27-32.
27. Каюк Я.Ф. Об улучшении сходимости метода простых итераций в нелинейных задачах гибких пластин и пологих оболочек / Я.Ф. Каюк // Прикладная механика. 1974. Т. X. № 11. С. 47-55.

28. Квитка А.Л. Методика расчета нестационарных температурных полей и термоупругих деформаций пластин / А.Л. Квитка, А.С. Цыбенко, Ю.Б. Гнучий // Проблемы прочности. 1976. № 1. С. 68-71.
29. Куземко А.М. О разрешимости интегральных уравнений теории оболочек / А.М. Куземко, Н.И. Куземко // Вычислительная и прикладная математика: межвед. науч. сб. 1971. Вып. 17. С. 134-139.
30. Кузнецов Э.Н. Об одной модификации шагового метода последовательных нагружений / Э.Н. Кузнецов // Тр. ЦНИИ строительных конструкций. 1972. Вып. 22. С. 16-18.
31. Леньков В.Ф. Изгиб нелинейно-упругого клина в квадратичной теории упругости / В.Ф. Леньков, В.М. Собин // Технология машиностроения: сб. ст. Тула, 1969. Вып. 14. С. 113-116.
32. Мальгин В.Н. Алгоритмы решения задач прочности, устойчивости и колебаний оболочек вращения, основанные на уравнениях типа С.П. Тимошенко / В.Н. Мальгин // Методы решения задач упругости и пластичности: сб. ст. Горький, 1973. Вып. 7. С. 137-142.
33. Машков А.В. К вопросу использования метода Ньютона-Канторовича при решении задач нелинейной теории упругости эластомеров / А.В. Машков // Методы решения задач упругости и пластичности: сб. ст. Горький, 1990. Вып. 15. С. 141-145.
34. Немиш Ю.Н. Приближенный метод решения граничных задач математической теории упругости анизотропной среды / Ю.Н. Немиш // Математическая физика: Респ. межвед. науч. сб. 1972. Вып. 11. С. 98-104.
35. Немиш Ю.К. Изгиб трансверсально-изотропных пластин с криволинейными включениями / Ю.К. Немиш, Б.Л. Пелех // Прикладная механика. 1970. Т. 6. № 1. С. 119-124.
36. Овчинников И.Г. Метод Ньютона в приложении к гибкой пологой осесимметричной оболочке из нелинейно-упругого материала / И.Г. Овчинников // Вычислительная физика: сб. ст. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1977. Вып. 1. С. 64-68.
37. Пановко Я.Г. Способ прямой линеаризации в нелинейных задачах теории упругих колебаний / Я.Г. Пановко // Инженерный сборник института механики АН СССР. 1952. Т. XIII. С. 34-35.
38. Пановко Я.Г. Способ прямой линеаризации в нелинейных задачах крутильных колебаний / Я.Г. Пановко // Уч. записки Латвийского гос. ун-та. 1953. Вып. 4. С. 73-90.
39. Петров В.В. К расчету пологих оболочек при конечных прогибах / В.В. Петров // Научные доклады высшей школы. Строительство. 1959. № 1. С. 27-35.
40. Петров В.В. Применение градиентного метода Канторовича к расчету гибких пластинок и пологих оболочек / В.В. Петров, Ю.В. Бетев // Теория расчета и надежность приборов: сб. ст. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1969. С. 3-10.
41. Пухлий В.А. К расчету сопряженных оболочек переменной жесткости / В.А. Пухлий // Прикладная механика. 1989. Т. 25. № 11. С. 31-37.
42. Савин Г.Н. О напряженном состоянии около криволинейных отверстий в оболочках / Г.Н. Савин, А.Н. Гузь // Известия АН СССР. Механика и машиностроение. 1964. № 6. С. 37-39
43. Садыхов И.Р. К расчету нелинейно-упругих оболочек вращения переменной толщины с использованием ЭВМ / И.Р. Садыхов // Известия АН Азерб. ССР. Сер. Физико-технических и математических наук. 1984. № 1. С. 132-138.
44. Санкин Ю.Н. Об одном численном методе в нелинейной теории тонкостенных упругих оболочек / Ю.Н. Санкин // Тр. Ульянов. политехн. ин-та. 1972. Т. 8. № 2. С. 191-202.
45. Свирский И.В. Использование соображений подобия для улучшения сходимости процесса последовательных приближений при расчете оболочек / И.В. Свирский // Прикладная математика и механика. 1960. Т. 24. № 1. С. 134-143.
46. Симеонов С.В. Некоторые методы решения нелинейных задач механики деформируемого твердого тела / С.В. Симеонов // Прикладная математика и механика. 1964. Т. 28. № 2. С. 418-429.

47. Скрипник В.П. Об учете нелинейных членов в граничных условиях / В.П. Скрипник // Вычислительная и прикладная математика. 1979. № 38. С. 26-34.

48. Солянова О.Н. Изгиб квадратной пластинки с отверстием, внешний контур которой зашпелен / О.Н. Солянова // Механика деформируемых сред: сб. ст. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1973. Вып. 1. С. 5-10.

49. Трошин В.Г. Об одном подходе к решению геометрически нелинейных задач технической теории оболочек / В.Г. Трошин // Прикладная математика и механика. 1983. Т. 47. № 1. С. 101-107.

50. Уздалев А.И. Свободные колебания двухсвязанных пластин / А.И. Уздалев, Л.Н. Нагибин // Механика деформируемых сред: сб. ст. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1973. Вып. 1. С. 136-142.

51. Grüters J. Iterative Lösung von Lastspannungsproblemen in anisotropen Körpern / J. Grüters // Z. angew Math und Mech. 1974. Vol. 54. № 4. P. 79-80.

52. Mescall J. Numerical solutions of nonlinear equations for shells of revolution / J. Mescall // AIAA Journal. 1966. Vol. 4. № 11. P. 2041-2043.

53. Temple G. The general theory of relaxation methods applied to linear systems / G. Temple // Proc. Roy. Soc., Ser. A, 1939.

54. Thurston G.A. A Numerical Solution of the Nonlinear Equations for Axisymmetric Bending of Shallow Spherical Shells / G.A. Thurston // Trans ASME. 1961. E28. № 4. P. 557-562.

55. Thurston G.A. Continuation of Newton's Method Through Bifurcation Points / G.A. Thurston // Trans ASME. 1969. E36. № 3. P. 425-430.

56. Weinitschke H.J. Wärmespannungen in elastischen Platten und Schalen bei endlicher Durchbiegung / H.J. Weinitschke // Z. angew. Math und Mech. 1972. Vol. 52. № 4. P. 158-161.

Жигалов Максим Викторович –
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Высшая математика»
Саратовского государственного
технического университета

Zhigalov Maksim Viktorovich –
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor of the Department
of «Higher Mathematics»
of Saratov State Technical University

Бабенкова Татьяна Валентиновна –
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Высшая математика»
Саратовского государственного
технического университета

Babenkova Tatyana Valentinovna –
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor of the Department
of «Higher Mathematics»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 28.10.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 539.3

А.Л. Медведский

СВЕРХЗВУКОВОЙ ЭТАП ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГОГО ОДНОРОДНОГО ИЗОТРОПНОГО ШАРА И АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПРЕГРАДЫ

Рассмотрена задача о вертикальном ударе упругим однородным изотропным шаром по абсолютно жесткой плоской преграде. Для решения по-

ставленной задачи использованы поверхностные функции влияния для упругого шара при малых временах взаимодействия [1]. Исследована динамика шара на сверхзвуковом этапе внедрения. Задача сведена к нелинейному интегро-дифференциальному уравнению относительно глубины погружения шара, для решения которого используется метод сеток. Приведены результаты решения задачи об ударе стальным шаром по неподвижной преграде.

Упругий шар, контактная задача, функции влияния, интегро-дифференциальные уравнения.

A.L. Medvedsky

SUPERSONIC STAGE OF INTERACTION OF THE ELASTIC HOMOGENEOUS ISOTROPIC SPHERE AND ABSOLUTELY RIGID BORDER

The problem about vertical impact by an elastic homogeneous isotropic sphere on absolutely rigid flat border is considered here. For the decision of a task in view surface functions of influence for an elastic sphere are used at small times of interaction [1]. Dynamics of a sphere at a supersonic stage of introduction is researched. The problem is shown to the nonlinear integral-differential equation concerning depth of immersing of a sphere for which decision the mesh method is used. Results of the decision of a problem about impact by a steel sphere on a motionless border are given.

Elastic sphere, a contact problem, functions of influence, an integral-differential equation.

1. Постановка задачи. Пусть в начальный момент времени $t = 0$ упругий шар радиуса R_0 , материал которого характеризуется плотностью ρ и параметрами Ламе λ и μ , касается абсолютно жесткого полупространства $x_1 > 0$ в точке O прямоугольной декартовой системы координат $Ox_1x_2x_3$ (рис. 1). Введем связанную систему координат $O_1y_1y_2y_3$, начало которой совпадает с центром шара. До начала взаимодействия все точки шара имеют начальную скорость $\mathbf{v} = V_0\mathbf{e}_1$, где \mathbf{e}_i – ортонормированный базис системы координат $Ox_1x_2x_3$. В процессе внедрения на упругий шар действует внешняя нагрузка $\mathbf{R}_e = R_e\mathbf{e}_1$ и результирующая контактных напряжений $\mathbf{R} = R_1\mathbf{e}_1 + R_2\mathbf{e}_2$.

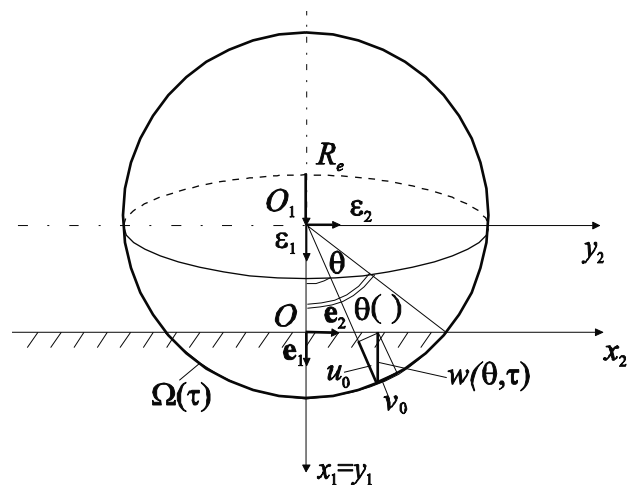


Рис. 1

Для шара введем безразмерные параметры (далее тильда везде опущена):

$$\tau = \frac{c_1 t}{R_0}, \quad \tilde{x}_i = \frac{x_i}{R_0}, \quad \tilde{U}_c = \frac{U_c}{R_0}, \quad \tilde{V}_c = \frac{V_c}{c_1}, \quad \tilde{R}_e = \frac{R_e}{\rho c_1^2 R_0^2},$$

$$\tilde{m} = \frac{m}{\rho R_0^3}, \quad \tilde{\sigma}_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\lambda + 2\mu}, \quad \kappa = \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu}, \quad \gamma^2 = \frac{c_1^2}{c_2^2},$$
(1.1)

где m – масса шара; σ_{ij} – компоненты тензора напряжений; c_1 и c_2 – скорости волн расширения сжатия и формоизменения в упругой среде; U_c – вертикальное смещение центра масс недеформированного шара; $V_c = \dot{U}_c$ – скорость центра масс шара.

Динамика ударника как абсолютно твердого тела описывается следующей задачей Коши [2] относительно компоненты U_c вектора смещения $\mathbf{U}_c = U_c \mathbf{e}_1$:

$$m\ddot{U}_c = R_e + R_1, \quad U_c(0) = U_{c0} = -1, \quad \dot{U}_c(0) = V_0. \quad (1.2)$$

Далее удобно ввести новую переменную $h(\tau)$ – глубину погружения по следующей формуле:

$$h(\tau) = U_c(\tau) - U_{c0}. \quad (1.3)$$

Тогда уравнение движения и начальные условия для шара (1.2) примут вид

$$m\dot{h} = R_e + R_1, \quad h(0) = 0, \quad \dot{h}(0) = V_0. \quad (1.4)$$

Введем сферическую систему координат, связанную с началом шара:

$$\begin{aligned} y_1 = \cos \theta, \quad y_2 = \cos \alpha \sin \theta, \quad y_3 = \sin \alpha \sin \theta, \\ \alpha \in (-\pi, \pi], \quad \theta \in [0, \pi]. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Выражение для результирующей контактных напряжений $R = R_1$ определяется следующим образом

$$R(\tau) = \int_{\Omega(\tau)} (\sigma_{rr} \cos \theta - \sigma_{r\theta} \sin \theta)|_{r=1} dS, \quad (1.6)$$

где интегрирование ведется по области Ω , представляющей собой шаровой сегмент – «смонченную» часть поверхности шара.

В первом приближении будем определять область контакта из геометрических соображений без учета деформированного состояния шара. В этом случае область контакта Ω определяется так (см. рис. 1):

$$\Omega(\tau) = \{(\alpha, \theta) \in \mathbf{R}^2 \mid \alpha \in (-\pi, \pi], \quad \theta \in [0, \theta_*(\tau)]\}, \quad (1.7)$$

при этом глубина погружения h связана с углом θ_* следующим образом:

$$h(\tau) = 1 - \cos \theta_*(\tau). \quad (1.8)$$

В силу осесимметричного характера задачи из (1.5), (1.6) и (1.7) для результирующей R получим:

$$R(\tau) = 2\pi \int_0^{\theta_*(\tau)} (\sigma_{rr} \cos \theta - \sigma_{r\theta} \sin \theta)|_{r=1} \sin \theta d\theta. \quad (1.9)$$

Упругое деформирование шара описывается уравнениями движения относительно потенциалов φ и ψ в сферической системе координат [3]:

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial\tau^2}, \quad \Delta\psi - \frac{\psi}{r^2 \sin^2\theta} = \gamma^2 \frac{\partial^2\psi}{\partial\tau^2}. \quad (1.10)$$

Уравнениям движения (1.10) соответствуют неоднородные начальные условия:

$$\varphi|_{\tau=0} = 0, \quad \dot{\varphi}|_{\tau=0} = V_0 r \cos \theta. \quad (1.11)$$

Рассмотрим два типа граничных условий, которые могут возникать на поверхности контакта: свободное проскальзывание (задача 1) и жесткое сцепление (задача 2). В обоих случаях они носят смешанный характер.

Задача 1 (свободное проскальзывание):

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}|_{r=1} = 0, \quad (\theta \notin [0, \theta_*]), \quad u_r|_{r=1} = u_0(\theta, \tau), \quad (\theta \in [0, \theta_*]), \\ \sigma_{r\theta}|_{r=1} = 0, \quad (\theta \in [0, \pi]), \\ \varphi(r, \tau) = O(1), \quad \psi(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Задача 2 (жесткое сцепление):

$$\begin{aligned} u_r|_{r=1} &= u_0(\theta, \tau), \quad u_\theta|_{r=1} = v_0(\theta, \tau), \quad (\theta \in [0, \theta_*]), \\ \sigma_{rr}|_{r=1} &= \sigma_{r\theta}|_{r=1} = 0, \quad (\theta \notin [0, \theta_*]), \\ \varphi(r, \tau) &= O(1), \quad \psi(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Из рис. 1 следует связь полного перемещения точек упругого шара $w(\theta, \tau)$ и компонент $u_0(\theta, \tau)$ и $v_0(\theta, \tau)$:

$$\begin{aligned} u_0(\theta, \tau) &= -w(\theta, \tau) \cos \theta, \quad v_0(\theta, \tau) = w(\theta, \tau) \sin \theta, \\ w(\theta, \tau) &= \cos \theta - \cos \theta_*(\tau) = \cos \theta + h(\tau) - 1. \end{aligned} \quad (1.14)$$

Таким образом, соотношения (1.4), (1.10), (1.9), а также (1.12) или (1.13) дают математическую постановку задачи о вертикальном ударе упругим шаром по жесткому полупространству.

2. Сверхзвуковой этап взаимодействия. Для рассматриваемой задачи можно ввести понятие сверхзвукового этапа внедрения, который соответствует начальным временам взаимодействия, при которых $\dot{\theta}_* > 1$. Такой участок при $V_0 \neq 0$ всегда существует. Действительно, дифференцируя по времени (1.8) и учитывая начальные условия (1.4), будем иметь:

$$\begin{aligned} \dot{h} &= \dot{\theta}_* \sin \theta_*, \quad \theta_*(0) = 0, \quad \dot{h}(0) = \dot{\theta}_*(0) \sin \theta_*(0) = V_0 \neq 0, \\ \lim_{\tau \rightarrow 0} \dot{\theta}_*(0) &= +\infty. \end{aligned} \quad (2.1)$$

В этом случае носители компонент вектора напряжений u_r , u_θ и тензора напряжений σ_{rr} , $\sigma_{r\theta}$ совпадают, и граничные условия задач 1 и 2 носят несмешанный характер.

Задача 1 (свободное проскальзывание):

$$\begin{aligned} u_r|_{r=1} &= 0, \quad (\theta \notin [0, \theta_*]), \quad u_\theta|_{r=1} = u_0(\theta, \tau), \quad (\theta \in [0, \theta_*]), \\ \sigma_{r\theta}|_{r=1} &= 0, \quad (\theta \in [0, \pi]), \\ \varphi(r, \tau) &= O(1), \quad \psi(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Задача 2 (жесткое сцепление):

$$\begin{aligned} u_r|_{r=1} &= u_0(\theta, \tau), \quad u_\theta|_{r=1} = v_0(\theta, \tau), \quad (\theta \in [0, \theta_*]), \\ u_r|_{r=1} &= u_\theta|_{r=1} = 0, \quad (\theta \notin [0, \theta_*]), \\ \varphi(r, \tau) &= O(1), \quad \psi(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Решение начально-краевой задачи (1.10), (1.11) с граничными условиями (2.2) или (2.3) будем искать методом неполного разделения переменных по угловой координате θ . Для этого представим искомые функции в виде рядов по полиномам Лежандра и Гегенбауэра [3]. Начальные (1.11) и граничные (2.2), (2.3) условия также разложим в ряды по указанным системам функций:

$$\begin{aligned} u_0(\theta, \tau) &= \sum_{n=0}^2 u_{0n}(\tau) P_n(\cos \theta), \quad v_0(\theta, \tau) = -\sin \theta \sum_{n=1}^2 v_{0n}(\tau) C_{n-1}^{3/2}(\cos \theta), \\ u_{0n}(\tau) &= \frac{1}{\|P_n(\cos \theta)\|_0^2} \int_0^\pi u_0(\theta, \tau) P_n(\cos \theta) \sin \theta d\theta, \\ v_{0n}(\tau) &= \frac{1}{\|C_{n-1}^{3/2}(\cos \theta)\|_0^2} \int_0^\pi v_0(\theta, \tau) C_{n-1}^{3/2}(\cos \theta) \sin^2 \theta d\theta, \\ \dot{\phi}|_{\tau=0} &= V_0 r \cos \theta = V_0 r P_1(\cos \theta), \end{aligned} \quad (2.4)$$

где нормы полиномов Лежандра и Гегенбауэра определены в [3].

Подставим разложения для компонент тензора напряжений σ_{rr} и $\sigma_{r\theta}$ в выражения для равнодействующей R (1.9) и учтем, что при $\theta \notin [\theta_*, \pi]$ напряжения тождественно равны нулю. В результате получим следующую цепочку преобразований:

$$\begin{aligned}
 R(\tau) &= 2\pi \int_0^{\theta_*(\tau)} (\sigma_{rr} \cos \theta - \sigma_{r\theta} \sin \theta)|_{r=1} \sin \theta d\theta = \\
 &= 2\pi \int_0^{\pi} (\sigma_{rr} \cos \theta - \sigma_{r\theta} \sin \theta)|_{r=1} \sin \theta d\theta = 2\pi \sum_{n=0}^{\infty} \sigma_{rrn}|_{r=1} \int_0^{\pi} P_n(\cos \theta) \cos \theta \sin \theta d\theta + \\
 &+ 2\pi \sum_{n=1}^{\infty} \sigma_{r\theta n}|_{r=1} \int_0^{\pi} C_{n-1}^{3/2}(\cos \theta) \sin^3 \theta d\theta = \frac{4\pi}{3} (\sigma_{rr1} + 2\sigma_{r\theta 1})|_{r=1}.
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

При выводе соотношений (2.5) учтено свойство ортогональности полиномов Лежандра и Гегенбауэра [3]. Как следует из формулы (2.5), для нахождения результирующей контактных напряжений R необходимо знать решение задачи для шара при $n = 1$.

Рассмотрим следующую начально-краевую задачу для коэффициентов рядов, соответствующих $n = 1$ (номер члена ряда в обозначении опустим):

– уравнения движения [3]

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \varphi &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \tau^2}, \\
 \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \psi &= \gamma^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \tau^2},
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

– начальные условия

$$\varphi|_{\tau=0} = 0, \quad \dot{\varphi}|_{\tau=0} = V_0 r, \tag{2.7}$$

– граничные условия

Задача 1:

$$\begin{aligned}
 u_r|_{r=1} &= u_{01}(\tau), \quad \sigma_{r\theta}|_{r=1} = 0, \\
 \varphi(r, \tau) &= O(1), \quad \psi(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0.
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Задача 2:

$$\begin{aligned}
 u_r|_{r=1} &= u_{01}(\tau), \quad u_\theta|_{r=1} = v_{01}(\tau), \\
 \varphi(r, \tau) &= O(1), \quad \psi(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0,
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

где $u_{01}(\tau)$ и $v_{01}(\tau)$ определены в (2.4).

В силу принципа суперпозиции [3] решение задачи (2.6)-(2.9) на поверхности шара при $r = 1$ может быть представлено в следующем виде (верхним индексом обозначен номер задачи):

$$\begin{aligned}
 \sigma_{r\theta}^{(1)}(\tau) &= u_{01}(\tau) * G_{r\theta}^{(1)}(\tau) + V_0 F_r^{(1)}(\tau), \\
 \sigma_{r0}^{(2)}(\tau) &= u_{01}(\tau) * G_{rr}^{(2)}(\tau) + v_{01}(\tau) * G_{\theta r}^{(2)}(\tau) + V_0 F_r^{(1)}(\tau), \\
 \sigma_{\theta\theta}^{(2)}(\tau) &= u_{01}(\tau) * G_{r\theta}^{(2)}(\tau) + v_{01}(\tau) * G_{\theta\theta}^{(2)}(\tau) + V_0 F_\theta^{(1)}(\tau), \\
 \sigma_{i0}^{(k)}(\tau) &= \sigma_{ri}^{(k)}(r, \tau)|_{r=1}, \quad j \in \{r, \theta\}.
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

Здесь $F_i^{(m)}(\tau)$ и $G_{ij}^{(m)}(\tau)$ – функции влияния для упругого шара; $\sigma_{i0}^{(k)}(\tau)$ – контактные напряжения. Для нахождения функций влияния рассмотрим начально-краевые задачи для уравнений (2.6) с начальными условиями:

$$\varphi|_{\tau=0} = 0, \quad \dot{\varphi}|_{\tau=0} = V_0 r \tag{2.11}$$

и следующими граничными условиями

Задача 1:

$$\begin{aligned}
 u_r^{(1)}|_{r=1} &= A\delta(\tau), \quad \sigma_{r\theta}^{(1)}|_{r=1} = 0, \quad A \in R, \\
 \varphi^{(1)}(r, \tau) &= O(1), \quad \psi^{(1)}(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0.
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Задача 2:

$$\begin{aligned} u_r^{(2)}|_{r=1} &= A\delta(\tau), \quad u_0^{(2)}|_{r=1} = B\delta(\tau), \quad A, B \in R, \\ \varphi^{(2)}(r, \tau) &= O(1), \quad \psi^{(2)}(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Функции $F_{ij}^{(m)}(\tau)$ являются решением задачи (2.6), (2.11) ($V_0 = 1$) при однородных граничных условиях (2.12), (2.13) ($A = B = 0$). В свою очередь, граничные функции влияния $G_{ij}^{(m)}(\tau)$ удовлетворяют уравнениям (2.6), однородным начальным условиям (2.11) ($V_0 = 0$) и неоднородным граничным условиям (2.13) ($A = 1, B = 1$).

Применим к задаче (2.6), (2.11), (2.12) и (2.13) интегральное преобразование Лапласа по времени (трансформанты обозначены чертой, s – параметр преобразования). Тогда в пространстве изображений с учетом свойств преобразования Лапласа получим следующую краевую задачу:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\bar{\varphi}^{(i)}}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\bar{\varphi}^{(i)}}{dr} - \left(\frac{2}{r^2} + s^2 \right) \bar{\varphi}^{(i)} &= -V_0 r, \\ \frac{d^2\bar{\psi}^{(i)}}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\bar{\psi}^{(i)}}{dr} - \left(\frac{2}{r^2} + \gamma^2 s^2 \right) \bar{\psi}^{(i)} &= 0, \quad (i=1,2). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Задача 1:

$$\begin{aligned} \bar{u}_r^{(1)}|_{r=1} &= A, \quad \bar{\sigma}_{r0}^{(1)}|_{r=1} = 0, \quad A \in R, \\ \bar{\varphi}^{(1)}(r, \tau) &= O(1), \quad \bar{\psi}^{(1)}(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Задача 2:

$$\begin{aligned} \bar{u}_r^{(2)}|_{r=1} &= A, \quad \bar{u}_0^{(2)}|_{r=1} = B, \quad A, B \in R, \\ \bar{\varphi}^{(2)}(r, \tau) &= O(1), \quad \bar{\psi}^{(2)}(r, \tau) = O(1), \quad r \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Ограниченные в нуле решения уравнений (2.14) имеют вид [3]:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}^{(i)}(r, s) &= r^{-1/2} C_1^{(i)}(s) I_{3/2}(rs) + \frac{V_0 r}{s^2}, \\ \bar{\psi}^{(i)}(r, s) &= r^{-1/2} C_2^{(i)}(s) I_{3/2}(\gamma rs). \end{aligned} \quad (2.17)$$

Найдем трансформанты компонент напряженно-деформированного состояния шара [4]:

$$\begin{aligned} \bar{u}_r^{(i)}(r, s) &= r^{-3/2} \{ C_1^{(i)}(s) [rs I_{5/2}(rs) + I_{3/2}(rs)] - 2C_2^{(i)}(s) I_{3/2}(\gamma rs) \} + \frac{V_0}{s^2}, \\ \bar{u}_0^{(i)}(r, s) &= r^{-3/2} \{ C_1^{(i)}(s) I_{3/2}(rs) - C_2^{(i)}(s) [\gamma rs I_{5/2}(\gamma rs) + I_{3/2}(\gamma rs)] \} + \frac{V_0}{s^2}, \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{rr}^{(i)}(r, s) &= r^{-5/2} \{ C_1^{(i)}(s) [r^2 s^2 I_{3/2}(rs) - 2(1-\kappa)rs I_{5/2}(rs)] + C_2^{(i)}(s) (1-\kappa)\gamma rs I_{5/2}(\gamma rs) \}, \\ \bar{\sigma}_{r0}^{(i)} &= \frac{(1-\kappa)}{2} r^{-5/2} \{ 2C_1^{(i)}(s) rs I_{5/2}(rs) + C_2^{(i)}(s) [2\gamma rs I_{5/2}(\gamma rs) - \gamma^2 s^2 r^2 I_{3/2}(\gamma rs)] \}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Рассмотрим задачу 1. Подставим выражения для трансформант перемещений и напряжений в граничные условия (2.15) и получим систему алгебраических уравнений относительно констант интегрирования $C_1^{(1)}$ и $C_2^{(1)}$:

$$\mathbf{A}^{(1)} \mathbf{C}^{(1)} = \mathbf{Y}^{(1)}, \quad (2.20)$$

$$\mathbf{C}^{(1)} = (C_1^{(1)}(s), C_2^{(1)}(s))^T, \quad \mathbf{Y}_n^{(1)} = (A - V_0/s^2, 0)^T, \quad \mathbf{A}_n^{(1)} = (a_{ij}^{(1)}(s))_{2 \times 2},$$

где

$$\begin{aligned} a_{11}^{(1)}(s) &= s I_{5/2}(s) + I_{3/2}(\gamma s), \quad a_{12}^{(1)}(s) = -2 I_{3/2}(\gamma s), \quad a_{21}^{(1)}(s) = 2s I_{5/2}(s), \\ a_{22}^{(1)}(s) &= -\gamma^2 s^2 I_{3/2}(\gamma s) + 2\gamma s I_{5/2}(\gamma s). \end{aligned}$$

Решение системы (2.20) имеет вид:

$$C_1^{(1)}(s) = \frac{(As^2 - V_0)a_{22}^{(1)}(s)}{s^2\Delta_1(s)}, \quad C_2^{(1)}(s) = -\frac{(As^2 - V_0)a_{21}^{(1)}(s)}{s^2\Delta_1(s)}, \quad (2.21)$$

$$\Delta_1(s) = a_{11}^{(1)}(s)a_{22}^{(1)}(s) - a_{12}^{(1)}(s)a_{21}^{(1)}(s).$$

Используя (2.21), (2.19) и полагая $A = 1, V_0 = 0$, получим следующее выражение для трансформанты поверхностной функции влияния $\bar{G}_{rr}^{(1)}(s)$ (2.10):

$$\bar{G}_{rr}^{(1)}(s) = \Delta_1^{-1}(s)Q_{rr}^{(1)}(s), \quad (2.22)$$

$$Q_{rr}^{(1)}(s) = a_{22}^{(1)}(s)[s^2I_{3/2}(rs) - 2(1-\kappa)sI_{5/2}(rs)] - a_{21}^{(1)}(s)(1-\kappa)\gamma sI_{5/2}(\gamma s).$$

Трансформанту функции влияния $\bar{F}_r^{(1)}(s)$ определим из (2.21), (2.19), положив в (2.21) $A = 0, V_0 = 1$:

$$\bar{F}_r^{(1)}(s) = s^{-2}\Delta_1^{-1}(s)Q_{rr}^{(1)}(s). \quad (2.23)$$

Аналогичный подход используем для нахождения функций влияния во второй задаче. Подставим выражения (2.18) в граничные условия (2.16) и получим систему линейных уравнений относительно констант интегрирования $C_i^{(2)}(s)$:

$$\mathbf{A}^{(2)}\mathbf{C}^{(2)} = \mathbf{Y}^{(2)}, \quad (2.24)$$

$$\mathbf{C}^{(2)} = (C_1^{(2)}(s), C_2^{(2)}(s))^T, \quad \mathbf{Y}_n^{(2)} = (A - V_0/s^2, B - V_0/s^2)^T, \quad \mathbf{A}_n^{(2)} = (a_{ij}^{(2)}(s))_{2 \times 2},$$

где

$$a_{11}^{(2)}(s) = a_{11}^{(1)}(s), \quad a_{12}^{(2)}(s) = a_{12}^{(1)}(s),$$

$$a_{21}^{(2)}(s) = I_{3/2}(s), \quad a_{22}^{(2)}(s) = -\gamma sI_{5/2}(\gamma s) - I_{3/2}(\gamma s).$$

Решение системы (2.20) имеет вид:

$$C_1^{(1)}(s) = \frac{(As^2 - V_0)a_{22}^{(1)}(s) - (Bs^2 - V_0)a_{12}^{(1)}(s)}{s^2\Delta_2(s)},$$

$$C_2^{(1)}(s) = \frac{(Bs^2 - V_0)a_{11}^{(1)}(s) - (As^2 - V_0)a_{21}^{(1)}(s)}{s^2\Delta_2(s)}, \quad (2.25)$$

$$\Delta_2(s) = a_{11}^{(2)}(s)a_{22}^{(2)}(s) - a_{12}^{(2)}(s)a_{21}^{(2)}(s).$$

Тогда для трансформант функций влияния $\bar{G}_{ij}^{(2)}(s)$ из (2.25), (2.19) будем иметь $V_0 = 0$:

$$\bar{G}_{ij}^{(2)}(s) = \Delta_2^{-1}(s)Q_{ij}^{(2)}(s), \quad (i, j) \in \{r, \theta\}, \quad (2.26)$$

где

$$Q_{rr}^{(2)}(s) = a_{22}^{(2)}(s)[s^2I_{3/2}(s) - 2(1-\kappa)sI_{5/2}(s)] - (1-\kappa)\gamma a_{21}^{(2)}(s)sI_{5/2}(s),$$

$$Q_{r\theta}^{(2)}(s) = \gamma s a_{11}^{(2)}(s)I_{5/2}(\gamma s) - a_{12}^{(2)}(s)[s^2I_{3/2}(s) - 2(1-\kappa)sI_{5/2}(s)],$$

$$Q_{\theta r}^{(2)}(s) = \frac{1-\kappa}{2} \{2s a_{22}^{(2)}(s)I_{5/2}(s) - a_{21}^{(2)}(s)[2\gamma sI_{5/2}(\gamma s) - \gamma^2 s^2I_{3/2}(\gamma s)]\}, \quad (2.27)$$

$$Q_{\theta\theta}^{(2)}(s) = \frac{1-\kappa}{2} \{a_{11}^{(2)}(s)[2\gamma sI_{5/2}(\gamma s) - \gamma^2 s^2I_{3/2}(\gamma s)] - 2s a_{12}^{(2)}(s)I_{5/2}(s)\}.$$

Полагая в выражениях (2.25) $A = B = 0, V_0 = 1$, найдем трансформанты функций влияния $\bar{F}_{rr}^{(2)}(s)$ (по повторяющемуся индексу суммирования нет):

$$\bar{F}_i^{(2)}(s) = -s^{-2}\Delta_2^{-1}(s)[Q_{ii}^{(2)}(s) + Q_{ij}^{(2)}(s)], \quad (i, j) \in \{r, \theta\}. \quad (2.28)$$

Здесь функции $Q_{ij}^{(2)}(s)$ определены в (2.27).

3. Асимптотика поверхностных функций влияния для шара. Как показывают расчеты контактных задач, сверхзвуковой участок внедрения соответствует моментам взаимодействия, для которых $\tau \ll 1$. Поэтому рассмотрим асимптотическое поведение функций влияния при $\tau \rightarrow 0$ $G_{ij}^{(m)}(s)$ и $\bar{F}_{ij}^{(k)}(s)$, что соответствует разложению трансформант указанных функций в окрестности бесконечно удаленной точки $s \rightarrow \infty$. Для этого воспользуемся следующими асимптотическими разложениями модифицированных функций Бесселя $I_\nu(z)$ [5]

$$I_\nu(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} e^z \left[\sum_{l=0}^m (-1)^l \frac{c_{\nu l}}{z^l} \right] + O\left(\frac{1}{z^{m+1}}\right), \quad z \rightarrow \infty, \quad (3.1)$$

$$c_{\nu l} = \frac{\prod_{i=0}^l (4\nu^2 - (2i-1)^2)}{2^{3l} l! (4\nu^2 - 1)}.$$

Подставим разложения (3.1) в (2.22), (2.23), (2.26) и (2.28) и с использованием символьного процессора Maple 9.5 получим следующие представления:

$$\bar{G}_{ij}^{(k)}(s) = s \sum_{l=0}^{m+1} \frac{g_{l,ij}^{(k)}}{s^l} + O\left(\frac{1}{s^{m+1}}\right), \quad \bar{F}_i^{(k)}(s) = \sum_{l=1}^m \frac{f_{l,i}^{(k)}}{s^l} + O\left(\frac{1}{s^{m+1}}\right), \quad s \rightarrow \infty. \quad (3.2)$$

Ниже приведены коэффициенты асимптотических разложений (3.2) при $m = 2$:

$$g_{0,rr}^{(1)} = 1, \quad g_{1,rr}^{(1)} = 2\kappa - 1, \quad g_{2,rr}^{(1)} = -2\gamma^{-2}[(1-\kappa)\gamma(2-\gamma) - 2], \quad (3.3)$$

$$g_{3,rr}^{(1)} = -2\gamma^{-3}[2\gamma(1-\kappa)(2-\gamma) + \gamma^3\kappa - 4], \quad f_{1,r}^{(1)} = -1, \quad f_{2,r}^{(1)} = 1 - 2\kappa,$$

$$g_{0,11}^{(2)} = 1, \quad g_{1,11}^{(2)} = 2\kappa - 1, \quad g_{2,11}^{(2)} = 2\gamma, \quad g_{3,11}^{(2)} = 2\gamma^{-1}(2-\gamma),$$

$$g_{0,12}^{(2)} = 0, \quad g_{1,12}^{(2)} = 2\gamma^{-1}[(1-\kappa)\gamma - 1], \quad g_{2,12}^{(2)} = -2\gamma^{-1}, \quad (3.4)$$

$$g_{3,12}^{(2)} = 2\gamma^{-3}(1-2\gamma), \quad f_{1,1}^{(2)} = -1, \quad f_{2,1}^{(2)} = \gamma^{-1}(2-\gamma),$$

$$g_{0,21}^{(2)} = 0, \quad g_{1,21}^{(2)} = \gamma^2(2-\gamma), \quad g_{2,21}^{(2)} = -\gamma^3, \quad g_{3,21}^{(2)} = \gamma(1-2\gamma),$$

$$g_{0,22}^{(2)} = \gamma^3, \quad g_{1,22}^{(2)} = -2\gamma^2, \quad g_{2,22}^{(2)} = 1 + 2\gamma, \quad g_{3,22}^{(2)} = \gamma^2 - 1, \quad (3.5)$$

$$f_{1,1}^{(2)} = -\gamma^3, \quad f_{2,1}^{(2)} = -f_{1,1}^{(2)}.$$

Оригиналы выражений (3.2) являются табличными [6] и имеют вид (остаточный член далее опущен):

$$G_{ij}^{(k)}(\tau) = g_{0,ij}^{(k)}\delta'(\tau) + g_{1,ij}^{(k)}\delta(\tau) + H(\tau) \sum_{l=2}^{m+1} \frac{g_{l,ij}^{(k)}}{(l-2)!} \tau^{l-2}, \quad (3.6)$$

$$F_i^{(k)}(\tau) = H(\tau) \sum_{l=1}^m \frac{f_{l,i}^{(k)}}{(k-1)!} \tau^{l-2}.$$

Тогда для контактных напряжений $\sigma_{r0}^{(k)}(\tau)$, $\sigma_{\theta 0}^{(k)}(\tau)$ из (2.10) и (3.6) получим следующие представления:

$$\sigma_{i0}^{(k)}(\tau) = u_{0j}^{(k)}(\tau) * G_{ij}^{(k)}(\tau) + V_0 F_i^{(k)}(\tau) =$$

$$= g_{0,ij}^{(k)} \dot{u}_{0j}^{(k)}(\tau) + g_{1,ij}^{(k)} u_{0j}^{(k)}(\tau) + \int_0^\tau u_{0j}^{(k)}(t) G_{ij}^{(k)}(\tau-t) dt + F_i^{(k)}(\tau), \quad (3.7)$$

$$G_{ij}^{(k)}(\tau) = \sum_{l=2}^{m+1} \frac{g_{l,ij}^{(k)}}{(l-2)!} \tau^{l-2}, \quad u_{01}^{(k)}(\tau) = u_{01}(\tau), \quad u_{02}^{(k)}(\tau) = v_{01}(\tau), \quad i \in \{r, \theta\}.$$

Здесь по индексу j проводится суммирование от 1 до k , где k — номер задачи.

Воспользуемся соотношениями (2.4) и вычислим коэффициенты разложения поверхностной нагрузки $u_{10}(\tau)$ и $v_{10}(\tau)$ (3.7):

$$u_{01}(\tau) = \frac{1}{2} - \frac{3}{4} \cos \theta_*(\tau) + \frac{1}{4} \cos^3 \theta_*(\tau), \quad (3.8)$$

$$v_{01}(\tau) = \frac{3}{16} - \frac{1}{2} \cos \theta_*(\tau) + \frac{3}{8} \cos^2 \theta_*(\tau) - \frac{1}{16} \cos^4 \theta_*(\tau). \quad (3.9)$$

Коэффициенты $u_{10}(\tau)$, $v_{10}(\tau)$ (3.8), (3.9), а также их производные $\dot{u}_{10}(\tau)$, $\dot{v}_{10}(\tau)$ с помощью соотношения (1.8) следующим образом выражаются через глубину погружения $h(\tau)$

$$\begin{aligned} u_{01}(\tau) &= -\frac{1}{4} h^2(\tau)(3-h(\tau)), & \dot{u}_{01}(\tau) &= -\frac{3}{4} \dot{h}(\tau)h(\tau)(2-h(\tau)), \\ v_{01}(\tau) &= -\frac{1}{16} h^3(\tau)(4-h(\tau)), & \dot{v}_{01}(\tau) &= -\frac{1}{4} \dot{h}(\tau)h^2(\tau)(3-h(\tau)). \end{aligned} \quad (3.10)$$

4. Интегриродифференциальное уравнение движения упругого шара. Рассмотрим контактную задачу для шара в условиях жесткого сцепления, условия свободного проскальзывания будут следовать как частный случай. Воспользуемся представлениями (3.7) для контактных напряжений $\sigma_{ri0}^{(2)}(\tau)$ и подставим последние в формулу для результирующей контактной нагрузки R (2.5). После несложных преобразований получим

$$R^{(2)} = \frac{4\pi}{3} \left(p^{(2)}(h, \dot{h}) + \sum_{i=1}^2 \int_0^\tau q_i^{(2)}(h(t)) G_i^{(2)}(\tau-t) dt + V_0 r^{(k)}(\tau) \right), \quad (4.1)$$

где

$$\begin{aligned} p^{(2)}(h, \dot{h}) &= y_i^{(2)}(h)(g_{1,1i}^{(2)} + 2g_{1,2i}^{(2)}) + z_i^{(2)}(h, \dot{h})(g_{0,1i}^{(2)} + 2g_{0,2i}^{(2)}), \\ y_1^{(2)}(x) &= -\frac{1}{4} x^2(3-x), & y_2^{(2)}(x) &= -\frac{1}{16} x^3(4-x), \\ z_1^{(2)}(x, y) &= -\frac{3}{4} xy(2-x), & z_2^{(2)}(x) &= -\frac{1}{4} x^2 y(3-x), \\ r^{(2)}(\tau) &= F_1^{(2)}(\tau) + 2F_2^{(2)}(\tau), \\ G_1^{(2)}(\tau) &= G_{11}^{(2)}(\tau) + 2G_{21}^{(2)}(\tau), & G_2^{(2)}(\tau) &= G_{12}^{(2)}(\tau) + 2G_{22}^{(2)}(\tau). \end{aligned} \quad (4.2)$$

Здесь по повторяющемуся индексу i проводится суммирование от единицы до двух.

В результате подстановки (4.1) в уравнение (1.4) задача динамики упругого шара сводится к нелинейному интегриродифференциальному уравнению с соответствующими начальными условиями ($m = 4/3\pi$):

$$\begin{aligned} \ddot{h} - f^{(2)}(h, \dot{h}) - \sum_{i=1}^2 \int_0^\tau g_i^{(2)}(h(t)) G_i^{(2)}(\tau-t) dt &= \frac{3}{4\pi} R_e^{(2)}(\tau) + V_0 r^{(2)}(\tau), \\ h(0) &= 0, & \dot{h}(0) &= V_0. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Случай свободного проскальзывания ($\sigma_{r0}^{(1)} = \sigma_{r01}^{(1)} \equiv 0$) с учетом (3.7), (2.10) и (2.5) также сводится к интегриродифференциальному уравнению (4.3), в котором надо положить:

$$G_2^{(1)}(\tau) \equiv 0, \quad G_1^{(1)}(\tau) = G_{11}^{(1)}(\tau). \quad (4.4)$$

Построим процедуру численного решения нелинейного интегриродифференциального уравнения (4.3), которое запишем в общем виде так (номер задачи для краткости опустим):

$$\begin{aligned} \ddot{h} + f(h, \dot{h}) + \int_0^\tau g(h(t)) G(\tau-t) dt &= r(\tau), \\ h(0) &= 0, & \dot{h}(0) &= V_0. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Введем конечно-разностную сетку T_δ на отрезке времени $[0, T]$

$$T_\delta = \{t_i \in [0, T] \mid t_i = (i-1)\delta, i = \overline{1, M}\}, \quad \delta = T/(M-1), \quad (4.6)$$

где M – количество узлов сетки, а также конечно-разностные аппроксимации производных, входящих в (4.5) [7]:

$$h(t_k) = \frac{h^k - 2h^{k-1} + h^{k-2}}{\delta^2} + O(\delta^2), \quad \dot{h}(t_k) = \frac{3h^k - 4h^{k-1} + h^{k-2}}{2\delta} + O(\delta^2), \quad (4.7)$$

$$h^k = (t_k), \quad k = \overline{3, M}.$$

Рассмотрим аппроксимацию интегродифференциального уравнения (4.5) в момент времени $\tau = t_k$. Для аппроксимации интегрального слагаемого применим квадратурные формулы Ньютона – Котеса [7]:

$$\int_0^{t_k} g(h(t))G(t_k - t) dt = \delta \sum_{j=1}^k \beta_j g(h^j) G^{k-j+1} + O(h^l) \approx$$

$$\approx \delta \sum_{j=2}^k \beta_j g(h^j) G^{k-j+1} = \delta \beta_k g(h^k) G^1 + \delta \sum_{j=2}^{k-1} \beta_j g(h^j) G^{k-j+1}, \quad G^k = G(t_k), \quad (4.8)$$

где β_j – коэффициенты квадратур; l зависит от порядка квадратурной формулы. Здесь учтено, что значение функций $g_i(h^l) = g_i(0) = 0$ (4.2).

Воспользуемся аппроксимациями (4.7), (4.8), подставим их в (4.5) и получим следующее нелинейное уравнение относительно глубины погружения шара h^k :

$$F(h^k) = q^{k-1}, \quad k = \overline{3, M}; \quad i = \overline{1, k-1},$$

$$F(h^k) = h^k + \delta^2 f\left(h^k, \frac{3h^k - 4h^{k-1} + h^{k-2}}{2\delta}\right) + \delta^3 \beta_k g(h^k) G^1, \quad (4.9)$$

$$q^{k-1} = 2h^{k-1} - h^{k-2} - \delta \sum_{j=2}^{k-1} \beta_j g(h^j) G^{k-j+1} + r^k, \quad r^k = r(t_k).$$

Решение нелинейного уравнения (4.9) строится методом Ньютона – Рафсона [7]. В качестве начального приближения используется значение величины h^{k-1} глубины погружения на предыдущем шаге.

Рассмотрим методику нахождения решения на первом временном слое, т.е. при $t_2 = \delta$. Для этого применим для искомой функции $h(\tau)$ формулу Тейлора в окрестности точки $\tau = 0$ и учтем начальные условия задачи (4.5):

$$h(\delta) = h(0) + \dot{h}(0)\delta + \ddot{h}(0)\frac{\delta^2}{2} + O(\delta^3) = V_0\delta + \ddot{h}(0)\frac{\delta^2}{2} + O(\delta^3). \quad (4.10)$$

Выразим вторую производную по времени \ddot{h} из уравнения (4.5):

$$\ddot{h}(\tau) = r(\tau) - f(h(\tau), \dot{h}(\tau)) - \int_0^\tau g(h(t))G(\tau - t) dt, \quad (4.11)$$

и подставим в (4.10). В результате будем иметь (остаточный член разложения опущен):

$$h^2 = h(\delta) = V_0\delta + \frac{\delta^2}{2}(r^1 - f(0, V_0)). \quad (4.12)$$

Таким образом, соотношения (4.9) и (4.12) позволяют найти значения сеточной функции h^k ($k = \overline{2, M}$) на любом шаге по времени.

5. Пример решения контактной задачи для шара. С использованием разработанного подхода был решен ряд задач об ударе упругим шаром по абсолютно жесткому полупространству. На рис. 2-5 приведены результаты расчета контактной задачи для стального шара ($\gamma = 1,87$; $\kappa = 0,428$) при начальной скорости внедрения $V_0 = 0,05$ и значению внешней силы

$R_e \equiv 0$. Далее на рисунках сплошная линия соответствует случаю свободного проскальзывания, а штриховая – жесткому сцеплению контактирующих тел. Интегродифференциальное уравнение движения шара (4.3) решалось с помощью разработанной конечно-разностной процедуры (4.9), (4.12) с использованием квадратур интегрирования (4.8) по методу трапеций [7]. Шаг интегрирования δ выбирался адаптивно до достижения погрешности $\varepsilon = 10^{-4}$ по норме сеточных функций h :

$$\|h_\delta - h_{\delta/2}\| = \max_n |h_\delta^n - h_{\delta/2}^n| < \varepsilon. \quad (5.1)$$

На рис. 2 и 3 представлены временные зависимости границы области контакта $\theta_*(\tau)$ и $\dot{\theta}_*(\tau)$, которые подтверждают наличие сверхзвукового участка в контактной задаче. Как следует из рис. 3, учет жесткого сцепления приводит к уменьшению длительности сверхзвукового этапа взаимодействия.

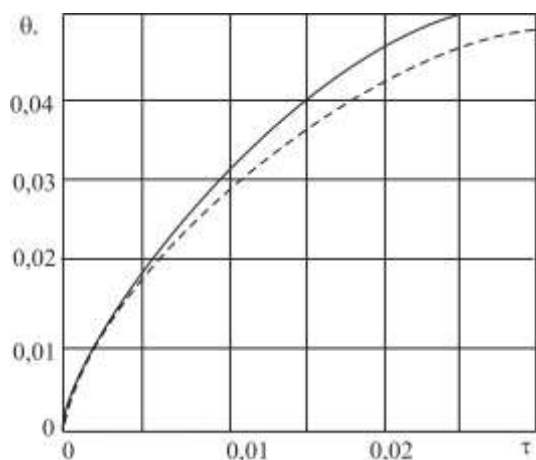


Рис. 2

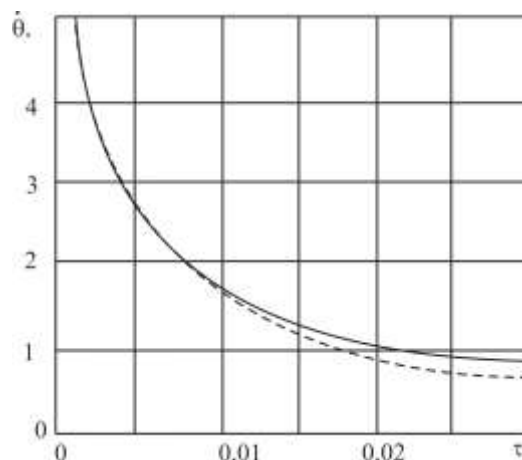


Рис. 3

На рис. 4 и 5 изображены кинематические параметры центра масс упругого шара $h(\tau)$ и $\dot{h}(\tau)$. Как следует из графиков, на сверхзвуковом участке взаимодействия происходит незначительное уменьшение начальной скорости внедрения V_0 и шар внедряется практически равномерно (рис. 5).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта № 09-01-00731-а).

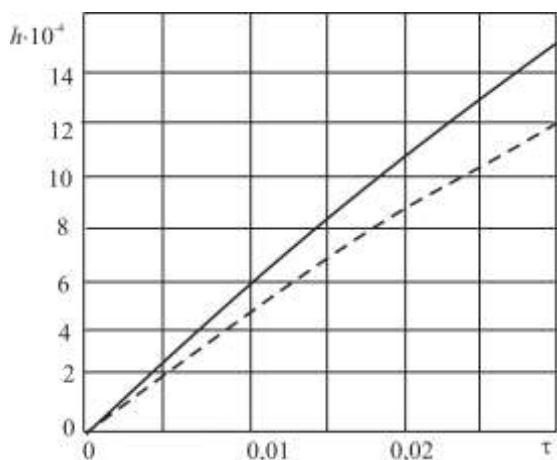


Рис. 4

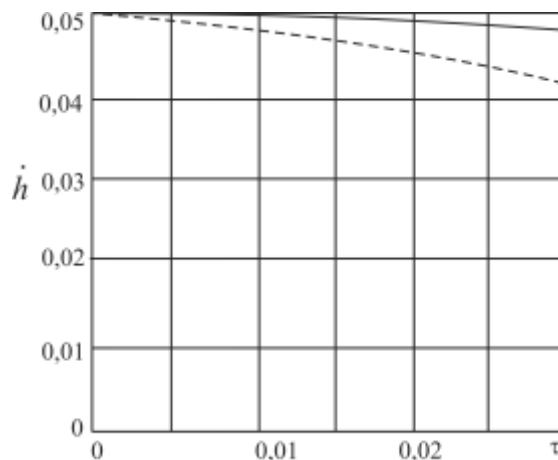


Рис. 5

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведский А.Л. Метод поверхностных функций влияния в нестационарных задачах дифракции / А.Л. Медведский, Л.Н. Рабинский. М.: Изд-во МАИ, 2007. 256 с.
2. Бухгольц Н.Н. Основы теоретической механики: в 2 ч. / Н.Н. Бухгольц. М.: Наука, 1972. Ч. 1. 420 с.; Ч. 2. 440 с.
3. Волны в сплошных средах / А.Г. Горшков, А.Л. Медведский, Л.Н. Рабинский, Д.В. Тарлаковский. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 632 с.
4. Горшков А.Г. Нестационарная аэрогидроупругость тел сферической формы / А.Г. Горшков, Д.В. Тарлаковский. М.: Наука, 1990. 264 с.
5. Справочник по специальным функциям / под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. М.: Наука, 1979. 830 с.
6. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования / Г. Деч. М.: Наука, 1971. 288 с.
7. Бахвалов Н.С. Численные методы. 3-е изд., перераб. и доп. / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003. 632 с.

Медведский Александр Леонидович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Сопrotивление материалов, динамика и прочность машин» Московского авиационного института (государственного технического университета), заместитель проректора института по учебной работе

Medvedsky Aleksandr Leonidovich – Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Assistant Professor of the Department of «Materials' Resistance, Dynamics and Machines' Durability» of Moscow Aviation Institute (of State Technical University of Aerospace Technologies), Assistant of the Pro-rector

Статья поступила в редакцию 20.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 539.3

В.Н. Филатов, А.А. Абросимов

РАСЧЕТЫ ПОДЪЕМИСТЫХ ОБОЛОЧЕК С РАЗНЫМИ СИСТЕМАМИ АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ

В высоких приближениях метода Бубнова – Галеркина, с использованием систем аппроксимирующих функций полиномиального вида и функций, базирующихся на системах синусов, исследуется напряженно-деформированное состояние гибких пологих подъемистых оболочек прямоугольного плана, шарнирно закрепленных и жестко защемленных по сторонам несмещаемого прямоугольного контура. Обнаружены новые эффекты.

Аппроксимирующие функции, гибкие пологие оболочки, напряженно-деформированное состояние.

V.N. Filatov, A.A. Abrosimov

HIGH CURVATURE SHELLS CALCULATION WITH DIFFERENT SYSTEMS OF APPROXIMATION FUNCTIONS

In high-approximations Bubnova Galerkin methods, using systems of approximation functions polynomial type and functions based on sine systems, re-

search the stress-strain condition of shallow flexible shells of high curvature of rectangular plan merely supported and rigidly restrained on both sides of rectangular contour. New effects were found and presented here.

Approximation functions, flexible flat shells, stress-strain condition.

Пластины и оболочки широко используются в строительстве, авиации, ракетостроении, являются элементами приборов точного машиностроения. Совершенствование расчетов таких конструкций является актуальным. Используемая нами методика расчетов гибких пологих оболочек прямоугольного плана базируется на комбинированном методе линеаризации (КМЛ), когда предварительный расчет выполняется крупными шагами метода последовательных нагружений (МПН) [1], а уточняющий расчет из точек финиша в МПН ведется методом последовательных приближений (МПП), а также на модификации статического метода В.З. Власова [2, 3], дающего возможность подбирать полные системы функций, аппроксимирующих составляющие перемещения. Такая методика позволяет уточнить выполненные ранее решения и решить новые, ранее не решаемые задачи. В частности, такие задачи были решены ранее авторами в работе [4]. Ниже, в настоящей работе, приводятся результаты, уточняющие имеющиеся решения в части шарнирно неподвижно закрепленных по контуру подъемистых оболочек и результаты решения новых задач в части жестко защемленных по контуру пологих оболочек большой кривизны.

В работе [4] приводятся нелинейные разрешающие уравнения в частных производных, описывающие работу гибких пологих оболочек. Вводя в эти уравнения безразмерные переменные и параметры по формулам

$$\begin{aligned} \xi &= (1/a) \cdot x, \quad \eta = (1/b) \cdot y, \quad \lambda = a/b, \quad \bar{z} = (1/h) \cdot z, \\ \bar{k}_1 &= (a^2/h) \cdot k_1, \quad \bar{k}_2 = (b^2/h) \cdot k_2, \quad \bar{D}_0 = (1/Eh) \cdot A_0, \quad \bar{D}_2 = (1/Eh^3) \cdot A_2, \\ \bar{U} &= (a/h^2) \cdot U, \quad \bar{V} = (b/h^2) \cdot V, \quad \bar{W} = (1/h) \cdot W, \quad \bar{q} = (a^4/Eh^4) \cdot q, \end{aligned}$$

имеем разрешающие уравнения в перемещениях в безразмерной форме

$$\begin{aligned} \left\{ \bar{D}_0 [\bar{U}_\xi - \bar{k}_1 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\xi^2 + \mu \lambda^2 (\bar{V}_\eta - \bar{k}_2 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\eta^2)] \right\}'_\xi + \mu_1 \lambda^2 \left\{ \bar{D}_0 (\bar{U}_\eta + \bar{V}_\xi + \bar{W}_\xi \bar{W}_\eta) \right\}'_\eta &= 0; \\ \left\{ \bar{D}_0 [\mu (\bar{U}_\xi - \bar{k}_1 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\xi^2) + \lambda^2 (\bar{V}_\eta - \bar{k}_2 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\eta^2)] \right\}'_\eta + \mu_1 \left\{ \bar{D}_0 (\bar{U}_\eta + \bar{V}_\xi + \bar{W}_\xi \bar{W}_\eta) \right\}'_\xi &= 0; \\ (\bar{k}_1 + \bar{W}_{\xi\xi}) \left\{ \bar{D}_0 [\bar{U}_\xi - \bar{k}_1 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\xi^2 + \mu \lambda^2 (\bar{V}_\eta - \bar{k}_2 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\eta^2)] \right\} + & \quad (1) \\ + (\bar{k}_2 + \bar{W}_{\eta\eta}) \left\{ \bar{D}_0 [\mu (\bar{U}_\xi - \bar{k}_1 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\xi^2) + \lambda^2 (\bar{V}_\eta - \bar{k}_2 \bar{W} + 0,5 \bar{W}_\eta^2)] \right\} + 2 \mu_1 \lambda^2 \left\{ \bar{D}_0 (\bar{U}_\eta + \bar{V}_\xi + \bar{W}_\xi \bar{W}_\eta) \right\} - & \\ - 4 \mu_1 \lambda^2 (\bar{D}_2 \bar{W}_{\xi\eta})''_{\xi\eta} - [\bar{D}_2 (\bar{W}_{\xi\xi} + \mu \lambda^2 \bar{W}_{\eta\eta})]''_{\xi\xi} - \lambda^2 [\bar{D}_2 (\mu \bar{W}_{\xi\xi} + \lambda^2 \bar{W}_{\eta\eta})]''_{\eta\eta} + (1 - \mu^2) \bar{q} &= 0. \end{aligned}$$

Безразмерные нормальные $\bar{\sigma}_{11}$, $\bar{\sigma}_{22}$ и касательное $\bar{\sigma}_{12}$ напряжения вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{11} &= \bar{U}_\xi + \mu \lambda^2 \bar{V}_\eta - (\bar{k}_1 + \mu \lambda^2 \bar{k}_2) \bar{W} + 0,5 (\bar{W}_\xi^2 + \mu \lambda^2 \bar{W}_\eta^2) - \bar{z} \cdot (\bar{W}_{\xi\xi} + \mu \lambda^2 \bar{W}_{\eta\eta}), \\ \bar{\sigma}_{22} &= \mu \bar{U}_\xi + \lambda^2 \bar{V}_\eta - (\mu \bar{k}_1 + \lambda^2 \bar{k}_2) \bar{W} + 0,5 (\mu \bar{W}_\xi^2 + \lambda^2 \bar{W}_\eta^2) - \bar{z} \cdot (\mu \bar{W}_{\xi\xi} + \lambda^2 \bar{W}_{\eta\eta}), \\ \bar{\sigma}_{12} &= \mu_1 \lambda [\bar{U}_\eta + \bar{V}_\xi + \bar{W}_\xi \cdot \bar{W}_\eta - 2 \cdot \bar{z} \cdot \bar{W}_{\xi\eta}], \end{aligned}$$

где соответствующие размерные напряжения

$$\sigma_{11} = (Eh^2/(1 - \mu^2) a^2) \cdot \bar{\sigma}_{11}, \quad \sigma_{22} = (Eh^2/(1 - \mu^2) b^2) \cdot \bar{\sigma}_{22}, \quad \sigma_{12} = (Eh^2/(1 - \mu^2) ab) \cdot \bar{\sigma}_{12}.$$

В работе [4] также приводится вид функций, базирующихся на синусах, аппроксимирующих составляющие искомого перемещений U , V и W .

В данной работе решаем задачи отыскания напряженно-деформированного состояния (НДС) квадратных в плане оболочек большой кривизны (подъемистых оболочек), шарнирно неподвижно закрепленных по сторонам прямоугольного контура и жестко защемленных по всему контуру от действия равномерно распределенной нагрузки, перпендикулярной плану оболочки. Результаты решений приводятся ниже. На рис. 1 приводятся графики «безразмерная нагрузка \bar{q} – безразмерный прогиб в центре оболочки $\bar{W}(u) = \bar{W}(0,5; 0,5)$ » для шарнирно неподвижно закрепленных по контуру оболочек с разными безразмерными кривизнами $\bar{k} = \bar{k}_1 = \bar{k}_2 = 16; 32; 64$. В качестве аппроксимирующих функций здесь берется система полиномиального вида, подобранная с помощью модификации статического метода В.З. Власова:

$$\begin{aligned}
 X_{1m}(\xi) &= X_{2m}(\xi) = (2 \cdot \xi - 1)^{m+2} - 0,5 \left((1 - (-1)^m)(2 \cdot \xi - 1) + (1 + (-1)^m) \right), \\
 X_{3m}(\xi) &= (2 \cdot \xi - 1)^{m+4} + (1/12) \left\{ (m^2 + 7m + 12)((-1)^m - 1)(2 \cdot \xi - 1)^3 - 3(m^2 + 7m + 12)(1 + (-1)^m) \cdot \right. \\
 &\quad \left. \cdot (2 \cdot \xi - 1)^2 - (m^2 + 7m + 6)((-1)^m - 1)(2 \cdot \xi - 1) + 3(m^2 + 7m + 10)(1 + (-1)^m) \right\}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

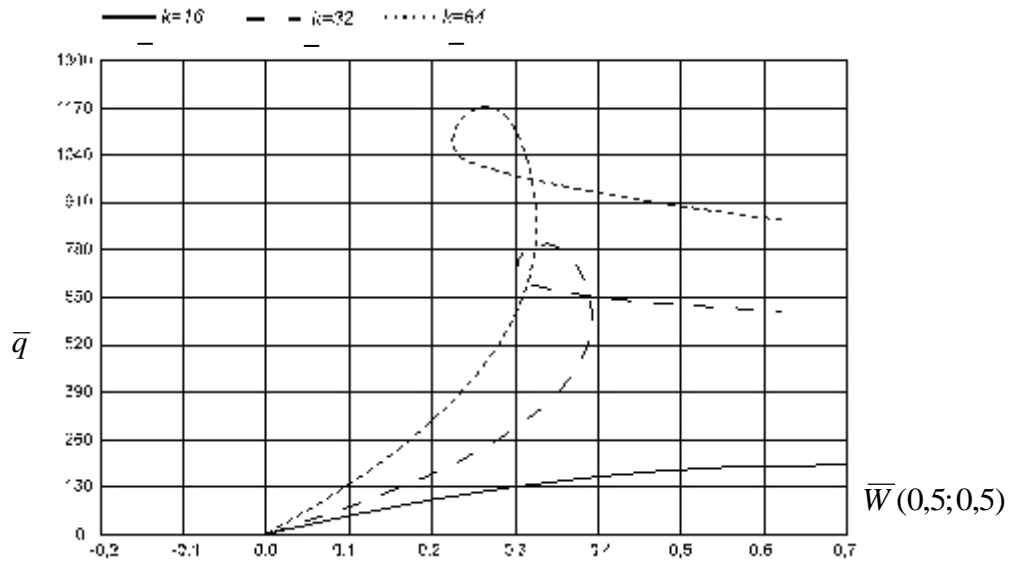


Рис. 1. Графики « $\bar{q} - \bar{W}(u)$ » для шарнирно закрепленных по контуру оболочек различной кривизны

В формулах (2) $m = 0, 1, 2, \dots$ функции перпендикулярного направления записываются аналогично. Все нижеприведенные результаты получены в 16-м приближении метода Бубнова – Галеркина. На приводимых графиках видно, сколь значительно отличается конфигурация кривых « $\bar{q} - \bar{W}(u)$ » для подъемистых оболочек с $\bar{k} = 32; 64$ от классической конфигурации такой кривой для очень пологой оболочки с $\bar{k} = 16$. Такого типа петлеобразования, как для кривых с $\bar{k} = 32; 64$, отмечались в работах других авторов, в частности в работах В.В. Карпова [5].

На рис. 2 приводятся эпюры безразмерных напряжений $\bar{\sigma}_{11}$, на верхней поверхности оболочки ($\bar{z} = -0,5$) в верхних критических точках (ВКТ) для оболочек с кривизнами соответственно $\bar{k} = 16; 32; 64$. Для оболочки с $\bar{k} = 16$ это точка с координатами ($\bar{q} \approx 210; \bar{W}(u) = 1,0$), для оболочки с $\bar{k} = 32$ на рис. 1 точка ($\bar{q} \approx 790, \bar{W}(u) \approx 0,33$), для оболочки с $\bar{k} = 64 - (\bar{q} \approx 1170, \bar{W}(u) \approx 0,25)$. Значения напряжений приводятся в точках ξ по сечению $\eta = 0,5$. Сравнивая качество эпюр, видим, что к моменту потери устойчивости (в ВКТ)

оболочка с $\bar{k} = 16$ по всему рассматриваемому сечению находилась в сжатой зоне (отрицательные напряжения), при этом максимум сжимающих усилий находился в центре оболочки. В случае подъемистых оболочек с $\bar{k} = 32; 64$ у опор имеем напряжения растяжения, и максимум сжимающих усилий сместился в четверти.

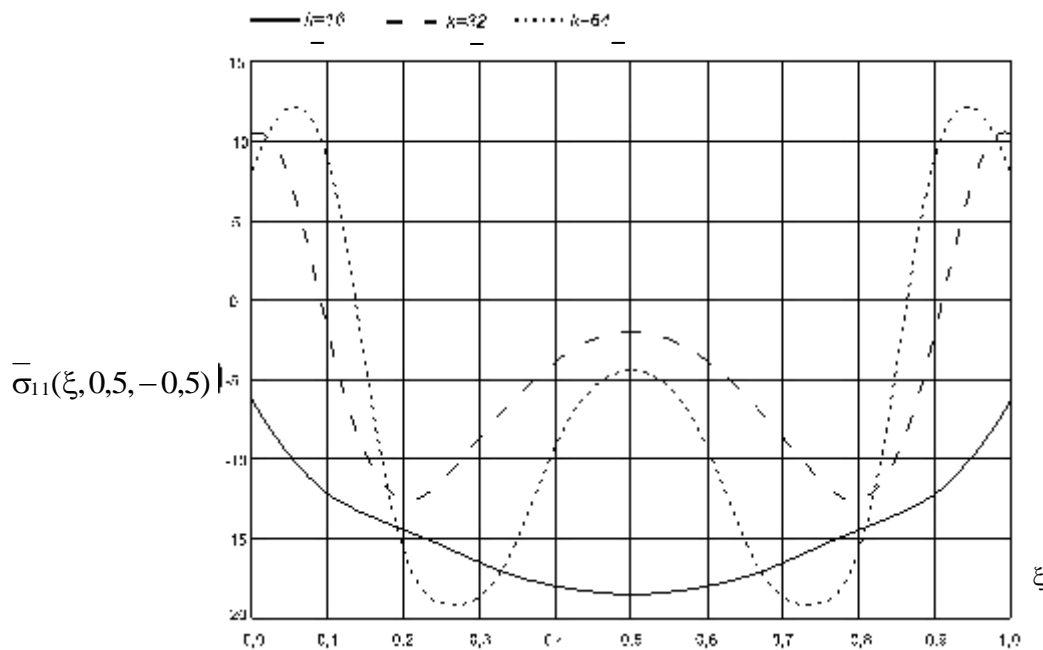


Рис. 2. Эпюры напряжений $\bar{\sigma}_{11}(\xi; 0,5; -0,5)$ в ВКТ для оболочек различной кривизны шарнирно закрепленных по контуру

На рис. 3 приводятся графики « $\bar{q} - \bar{W}(y)$ » для жестко защемленных по контуру оболочек с кривизнами $\bar{k} = \bar{k}_1 = \bar{k}_2 = 16; 32; 64$. В качестве аппроксимирующих функций здесь берется система полиномиального вида, у которой $X_{1m}(\xi)$, $X_{2m}(\xi)$ имеют прежний вид по (2), а $X_{3m}(\xi)$, удовлетворяя граничным условиям жесткого защемления, имеют вид

$$X_{3m}(x) = (2(x/a) - 1)^{m+4} + 0,25 \left\{ (m+3) \left((-1)^m - 1 \right) (2(x/a) - 1)^3 - (m+4) \left((-1)^m + 1 \right) (2(x/a) - 1)^2 - (m+1) \left((-1)^m - 1 \right) (2(x/a) - 1) + (m+2) \left((-1)^m + 1 \right) \right\}. \quad (3)$$

На этих графиках еще более контрастны конфигурации кривых для оболочек с $\bar{k} = 32; 64$ и с $\bar{k} = 16$. Эта разница столь велика, что мы, засомневавшись в правильности полученных результатов, сделали дублирующий расчет с аппроксимирующими функциями (6) работы [4], базирующимися на синусах. Результаты расчетов приводятся на рис. 4 и 5. Как видно из приводимых результатов, штриховые кривые при расчетах с функциями, базирующимися на синусах, практически повторяют сплошные кривые, построенные с полиномами.

Для выяснения характера распределения прогибов по плану оболочки на разных этапах нагружения, на рис. 6 построены эпюры прогибов по сечению $\eta = 0,5$, соответственно в точках A, B, C и D сплошной кривой на рис. 4. Из приводимых на рис. 6 кривых видно, что на начальных этапах нагружения наибольший прогиб был в центре оболочки. При последующем деформировании максимум прогибов сместился в четверти, а прогиб в центре стал уменьшаться, приняв в точке C отрицательное значение. Таким образом, за счет провала оболочки в четвертях центр оболочки не опустился, а вспучился.

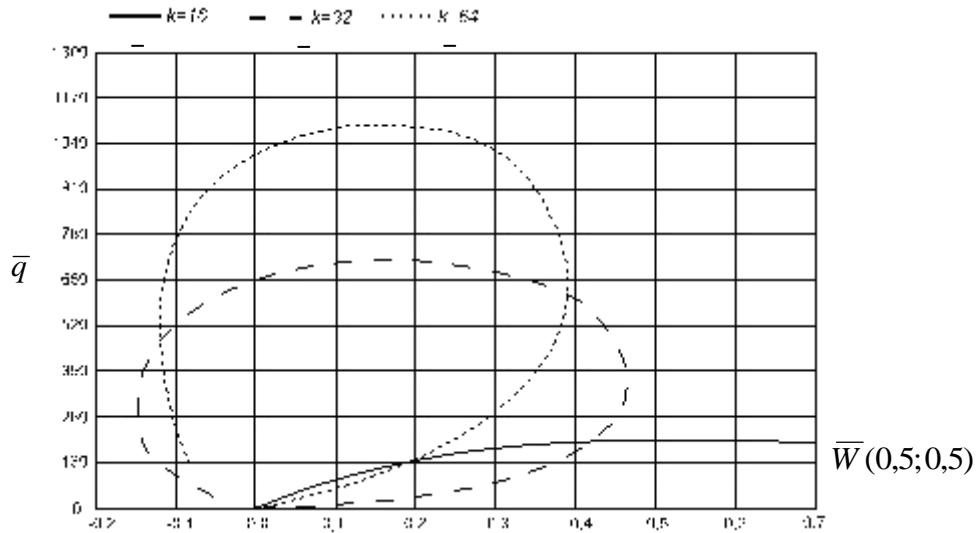


Рис. 3. Графики « $\bar{q} - \bar{W}(u)$ » для жестко защемленных по контуру оболочек различной кривизны

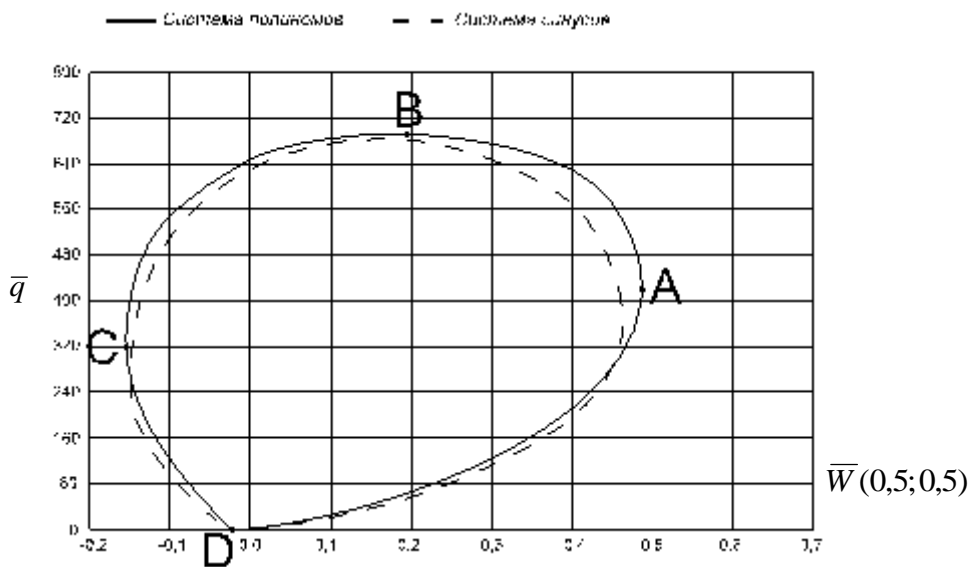


Рис. 4. Графики « $\bar{q} - \bar{W}(u)$ » для жестко защемленных по контуру оболочек с кривизной $\bar{k} = 32$, полученные при расчетах с полиномами (сплошная линия) и с образующими синусами (штриховая)

На рис. 7 приводятся эпюры безразмерных напряжений $\bar{\sigma}_{11}$, на верхней поверхности оболочки ($\bar{z} = -0,5$) в ВКТ для оболочек с кривизнами соответственно $\bar{k} = 16; 32; 64$. Для оболочки с $\bar{k} = 16$ это точка с координатами ($\bar{q} \approx 180; \bar{W}(u) \approx 0,9$), для оболочки с $\bar{k} = 32$ точка ($\bar{q} \approx 700, \bar{W}(u) \approx 0,2$) на рис. 3, для оболочки с $\bar{k} = 64 - (\bar{q} \approx 1100, \bar{W}(u) \approx 0,15)$. Сравнивая качество эпюр при разных кривизнах, видим, что к моменту потери устойчивости (в ВКТ) оболочка с $\bar{k} = 16$ в рассматриваемом сечении на опорах растянута, напряжение изменяется по сечению по закону, близкому к параболическому, максимум усилий сжатия находится в центре оболочки. В случае подъемистых оболочек с $\bar{k} = 32; 64$ напряжения у опор близки к нулю, максимум сжимающих напряжений сдвинулся в четверти, а в центре оболочка растянута. Таким образом, качество и эпюр прогибов, и эпюр напряжений у очень пологой оболочки с $\bar{k} = 16$ и у подъемистых оболочек с $\bar{k} = 32; 64$ совершенно разные.

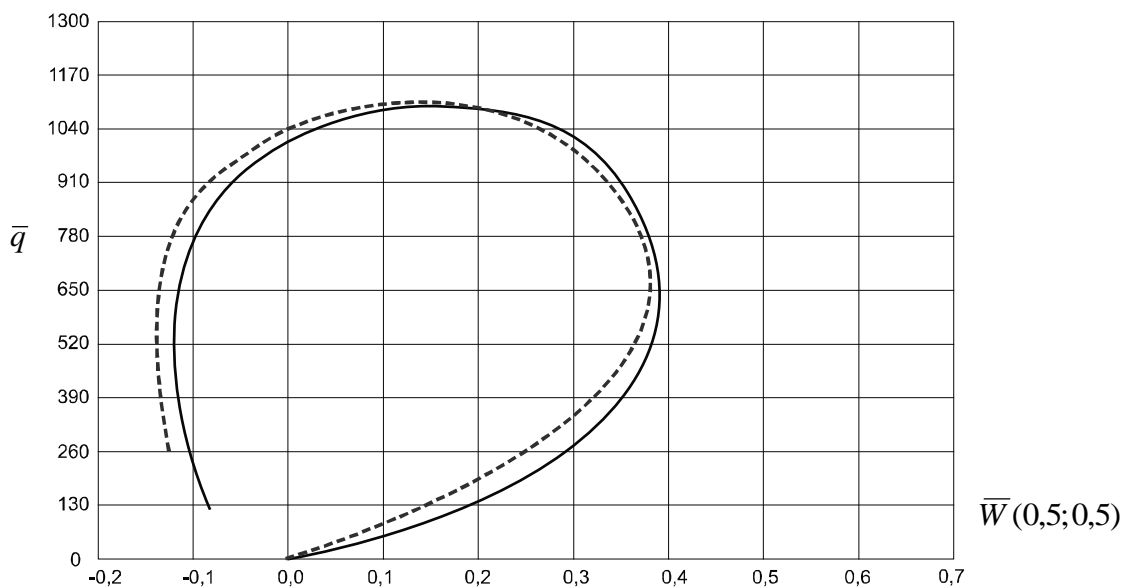


Рис. 5. Графики « $\bar{q} - \bar{W}(u)$ » для жестко защемленных по контуру оболочек с кривизной $\bar{k} = 64$, полученные при расчетах с полиномами (сплошная линия) и с образующими синусами (штриховая)

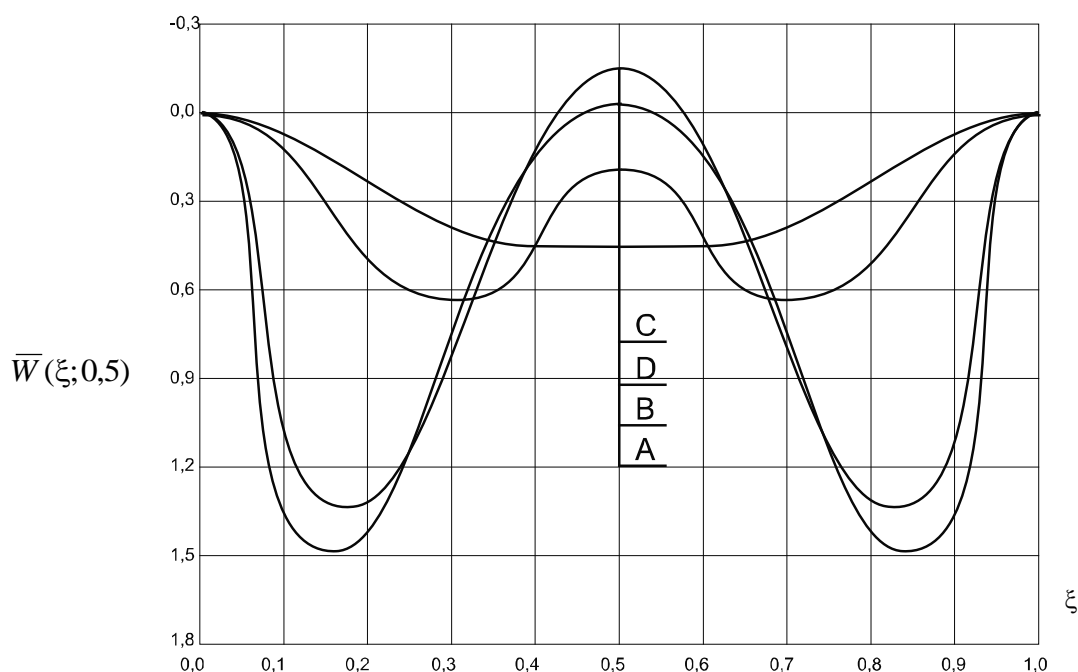


Рис. 6. Эпюры прогибов по сечению $\eta = 0,5$ на разных фазах нагружения

Основные выводы – при рассмотрении оболочек большой подъемности у шарнирно закрепленных по контуру оболочек наблюдались эффекты петлеобразования, которые обнаружены другими авторами. В нашей работе произошло уточнение имеющихся в литературе решений. В случае жестко защемленных оболочек эти эффекты наблюдались нами впервые, и они еще более рельефны, чем в случае шарнирно закрепленных оболочек. Сравнение результатов при полиномиальной аппроксимации и аппроксимации с образующими синусами говорит в пользу возможности и эффективности применения и тех и других систем функций. НДС очень пологих и подъемистых оболочек разные.

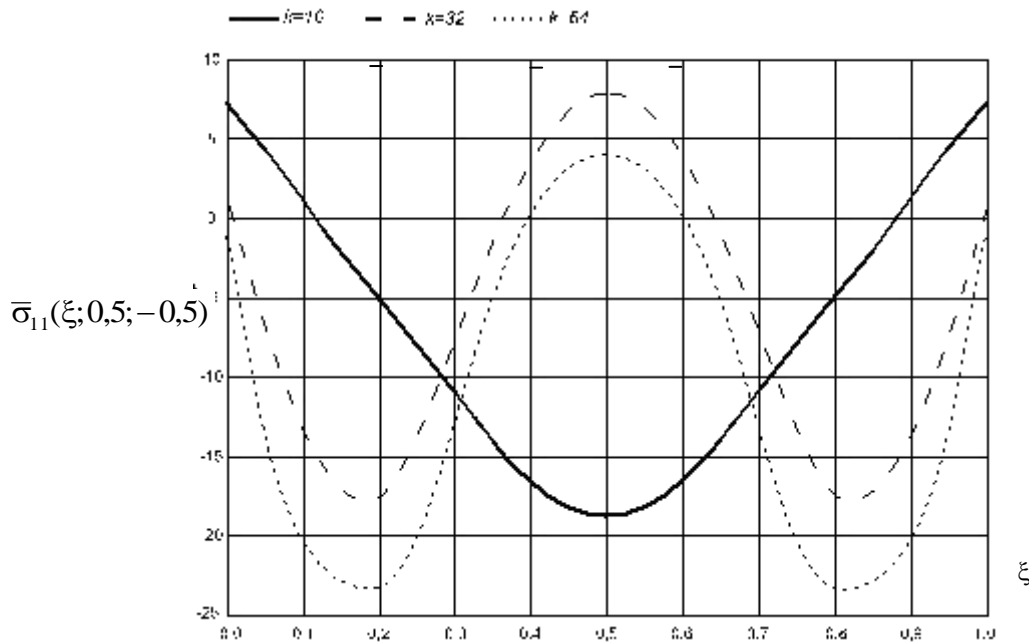


Рис. 7. Эпюры напряжений $\bar{\sigma}_{11}(\xi; 0,5; -0,5)$ в ВКТ для оболочек различной кривизны, жестко защемленных по контуру

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек / В.В. Петров. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. 120 с.
2. Филатов В.Н. Построение систем аппроксимирующих функций с помощью модификации статического метода В.З.Власова, служащих для решения задач теории гибких пластин / В.Н. Филатов; Саратов. политехн. ин-т. Саратов, 1985. 26 с. Деп. в ВИНТИ 20.10.85. № 7427-В85.
3. Филатов В.Н. Исследование НДС пологих оболочек переменной толщины с использованием разных систем аппроксимирующих функций / В.Н. Филатов, А.А. Абросимов, К.В. Молодчиков // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвуз. темат. сб. тр. Вып. 11. СПб.: СПбГАСУ, 2005. С. 89-103.
4. Абросимов А.А. Потеря устойчивости и закритическое поведение пологих оболочек, различным образом закрепленных на прямоугольном контуре / А.А. Абросимов, Г.А. Айрапетьянц, В.Н. Филатов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 3(26). Вып. 1. С. 7-12.
5. Карпов В.В. Математические модели задач строительного профиля и численные методы их исследования: учеб. пособие / В.В. Карпов, А.В. Коробейников. М.; СПб.: Изд-во АСВ; СПбГАСУ, 1999. 188 с.

Филатов Валерий Николаевич –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Высшая математика»
Саратовского государственного
технического университета

Filatov Valery Nikolaevich –
Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of «Higher Mathematics»
of Saratov State Technical University

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

Abrosimov Aleksey Anatolyevich –
Post-graduate student of the Department
of «Higher Mathematics»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 20.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.873

Л.В. Барановская, А.П. Кобзев

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрена методика инженерного расчета на оптимальность металлоконструкции тяжелого козлового крана, приведена математическая модель оптимизационной задачи в виде функции цели и ограничений-неравенств, указан метод ее решения. Компоненты напряженно-деформированного состояния, используемые в задаче, найдены непрямым методом граничных элементов (МГЭ). Указаны преимущества МГЭ перед широко применяемым методом конечных элементов.

Козловые краны, оптимальное проектирование, условная оптимизация, метод конечных элементов, метод граничных элементов.

L.V. Baranovskaya, A.P. Kobzev

HEAVY ANGLE CRANES OPTIMAL DESIGN WITH THE HELP OF BORDERLINE ELEMENTS METHOD

The method of engineering account of heavy angle crane metal frame capacity is described in the article. The author shows a mathematical model of an optimal task that is represented as purpose and limit of inequality function, the solution of which is given. The components of pre-stressed deformation, used in the task, are found with the help of irregular method of borderline elements. The theoretical base and algorithm of the mentioned method are described in the article. The advantages of the above method in comparison with the method of final elements are pointed out.

Angle cranes, optimal designing, conditional optimization, the method of borderline elements, the function of Green.

В настоящее время оптимальное проектирование находит все более широкое распространение в подъемно-транспортном машиностроении. Выбор оптимальных схем для тяжелых козловых кранов особенно важен, т.к. они изготавливаются в единичном или в мелкосерийном производстве, нет возможности изготовления опытных образцов для проведения испытаний и исследований. Как отмечено в работе [4], схемы металлоконструкций тяжелых

козловых кранов можно разделить на семь основных типов. Оптимизационные методы позволяют выбрать наилучшую схему металлоконструкции крана. Сравнение нескольких вариантов металлоконструкций и выбор среди них наилучшего производится по критерию оптимальности, в качестве которого для тяжелых козловых кранов с достаточной точностью можно брать металлоемкость металлоконструкции [4].

Методика инженерного расчета на оптимальность требуемой металлоконструкции крана состоит из следующих шагов:

I. Анализ технического задания.

В техническом задании указываются основные параметры крана: грузоподъемность, высота подъема груза, длина пролета, количество тележек и т.д. Металлоконструкции тяжелых козловых кранов в основном выполняются из листового прокатного материала и имеют прямоугольные поперечные сечения, которые обладают меньшей трудоемкостью изготовления вследствие более простой сборки и применения автоматической сварки. Кроме того, коробчатая металлоконструкция позволяет использовать внутренние полости для расположения электроаппаратуры.

II. Выбор схемы металлоконструкции крана.

На этом этапе основные схемы металлоконструкций кранов приводятся к единым исходным техническим параметрам согласно техническому заданию, т.е. к единой грузоподъемности, высоте подъема груза, длине пролета и т.д.

Для каждого крана решается оптимизационная задача:

Выбирают в качестве неизвестных задачи – b_i , h_i , δ_{Pi} , δ_{Ci} (ширину и высоту сечения, толщину пояса, толщину стенки сечения i -го элемента, $i = 1, 2, \dots, n$, где n – число элементов металлоконструкции). Для простоты вычислений выбирают одинаковую толщину левой и правой стенок, а также толщину верхнего и нижнего поясов.

Требуется найти значения неизвестных, при которых целевая функция (металлоемкость конструкции без учета ребер жесткости) достигает наименьшего значения:

$$m = \sum_{i=1}^n \gamma \cdot F_i \cdot l_i = \sum_{i=1}^n \gamma \cdot 2 \cdot (b_i \delta_{Pi} + h_i \delta_{Ci} - 2 \delta_{Pi} \delta_{Ci}) \cdot l_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где γ – плотность материала, из которого изготовлена металлоконструкция; l_i – длина i -го элемента металлоконструкции; $F_i = b_i \delta_{Pi} + h_i \delta_{Ci} - 2 \delta_{Pi} \delta_{Ci}$ – площадь поперечного сечения.

При этом решение должно удовлетворять ограничениям в виде неравенств:

$$\sigma_{экс IV i} = \sqrt{\sum \sigma_i^2 + 3 \sum \tau_i^2} \leq [\sigma], \quad (2)$$

$$\frac{u_i}{l_i} \leq \left[\frac{u}{l} \right], \quad (3)$$

где $\sum \sigma_i$ – сумма нормальных напряжений от изгибающих моментов, продольной силы, стесненного изгиба и кручения; $\sum \tau_i$ – сумма касательных напряжений от поперечных сил, крутящего момента, стесненного кручения; u_i – прогиб в i -м стержне ($i = 1, 2, \dots, n$). Неравенства (2), (3) являются ограничениями по прочности и статической жесткости.

Для определения внутренних усилий и деформаций, используемых в условиях оптимизационной задачи, широко применяется метод конечных элементов (МКЭ), базирующийся на представлении конструкции в виде совокупности отдельных элементов, соединенных в конечном числе узловых точек. В настоящее время МКЭ достиг такого уровня развития и популярности, что трудно представить метод, способный составить конкуренцию.

В данной методике предлагается новый метод расчета напряженно-деформированного состояния конструкции крана – непрямой метод граничных элементов (МГЭ). Теоретические основы и алгоритм МГЭ рассмотрены в работе [2]. Основное преимущество нового метода

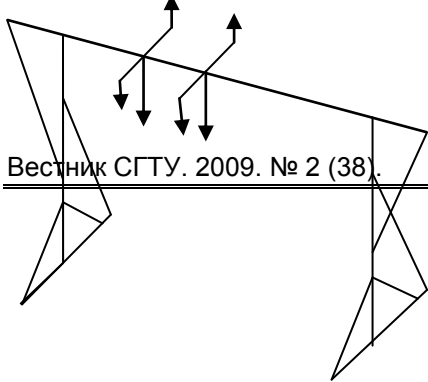


Рис. 1. Схема козлового крана K2x190

расчета состоит в том, что он позволяет найти компоненты НДС в виде непрерывных функций или функций с точками разрыва 1-го рода (скачками). Для задач оптимального проектирования такие решения наиболее удобны, т.к. позволяют точно найти экстремальные точки по следующей схеме:

- Найти производные функций.
 - Найти точки, где производные равны нулю или не существуют.
 - Найти значения функций в точках, где производные равны нулю, и в точках, расположенных на расстоянии $\pm \varepsilon$ ($\varepsilon \rightarrow 0$) от точек, где производные не существуют.
 - Сравнить полученные значения и найти наибольшее.
- В математическом пакете Mathcad с помощью встроенных функций можно найти точки максимума и минимума, что значительно упрощает решение.

Найденные наибольшие значения сравниваются с допустимыми значениями в неравенствах (2), (3).

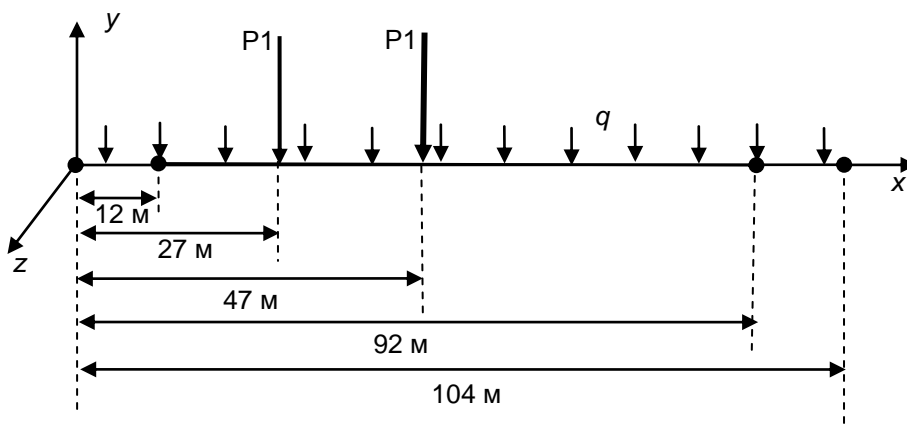


Рис. 2. Схема верхней балки крана

Например, при расчете козлового крана K2x190 (рис. 1) прогибы u_y , u_z в верхней балке (рис. 2) определяются по методу граничных элементов следующими функциями:

$$u_y(x) = G_y(x,0)\varphi(0) + K_y(x,0)\mu(0) + G_y(x,12)\varphi(12) + K_y(x,92)\mu(92) + G_y(x,92)\varphi(0) + K_y(x,92)\mu(92) + G_y(x,104)\varphi(104) + K_y(x,104)\mu(104) + G_y(x,27)P1 + G_y(x,47)P1 + G_{yq}(x)q,$$

$$u_z(x) = G_z(x,0)\varphi(0) + K_z(x,0)\mu(0) + G_z(x,12)\varphi(12) + K_z(x,12)\mu(12) + G_z(x,92)\varphi(0) + K_z(x,92)\mu(92),$$

где $P1 = -2156000$ Н/м, $q = -21,4$ Н/м², $l = 104$ м – длина балки; E – модуль упругости; J_y, J_z – моменты инерции изгибе стержня; $G_y(x, \xi)$, $G_z(x, \xi)$, $K_y(x, \xi)$, $K_z(x, \xi)$, $G_{yq}(x)$ – функции Грина, представляют собой перемещения в точке x в направлении осей координат от единичной сосредоточенной силы, момента, приложенных в точке ξ , и от равномерно распределенной нагрузки q_y , интенсивность которой равна единице. Определяются по формулам:

$$G_y(x, \xi) = \frac{l^3}{12EJ_z} \left(2 + \left| \frac{x-\xi}{l} \right|^3 - 3 \left| \frac{x-\xi}{l} \right|^2 \right), \quad G_z(x, \xi) = \frac{l^3}{12EJ_y} \left(2 + \left| \frac{x-\xi}{l} \right|^3 - 3 \left| \frac{x-\xi}{l} \right|^2 \right),$$

$$K_y(x, \xi) = \frac{l^2}{12EJ_z} \operatorname{sgn}(x, \xi) \cdot \left| \frac{x-\xi}{l} \right| \cdot \left(\left| \frac{x-\xi}{l} \right|^2 - 3 \left| \frac{x-\xi}{l} \right| + 2 \right),$$

$$K_z(x, \xi) = \frac{-l^2}{12EJ_y} \operatorname{sgn}(x, \xi) \cdot \left| \frac{x-\xi}{l} \right| \cdot \left(\left| \frac{x-\xi}{l} \right|^2 - 3 \left| \frac{x-\xi}{l} \right| + 2 \right),$$

$$G_{yq}(x, l) = \frac{1}{48EJ_z} (2x^4 - 4lx^3 - 6l^2x^2 + 8l^3x + 5l^4),$$

функция $\operatorname{sgn}(x, \xi) = \begin{cases} 1, & \text{если } x > \xi, \\ -1, & \text{если } x < \xi, \\ \text{не определена,} & x = \xi, \end{cases}$ но $\frac{x-\xi}{l} \operatorname{sgn}(x, \xi) = 0$, при $x = \xi$.

$\varphi(\xi)$, $\mu(\xi)$ – фиктивные нагрузки, приложенные к балке, определяются в результате расчета методом граничных элементов и имеют значения:

$$\begin{aligned} \varphi_y(0) &= -36757, & \varphi_z(0) &= -2247547, & \varphi_y(12) &= 2266, & \varphi_z(12) &= 6515314, \\ \varphi_y(92) &= 9602, & \varphi_z(92) &= 4761378, & \varphi_y(104) &= -31880, & \varphi_z(104) &= -2210068, \\ \mu_y(0) &= 15993728, & \mu_z(0) &= 3221314, & \mu_y(12) &= -2828358, & \mu_z(12) &= -170128, \\ \mu_y(92) &= 2864031, & \mu_z(92) &= -90534, & \mu_y(104) &= -8901036, & \mu_z(104) &= -2447504. \end{aligned}$$

Полный прогиб в балке определяется по формуле:

$$u(x) = \sqrt{u_y^2(x) + u_z^2(x)}.$$

Максимальный прогиб балки найден с помощью встроенной функции Mathcad, имеет место в сечении с координатой $x = 47,3$ м и равен $u(x) = 0,236$ м.

Графики функций $u_y(x)$, $u_z(x)$, $u(x)$, описывающих прогибы верхней балки крановой конструкции, показаны на рис. 3.

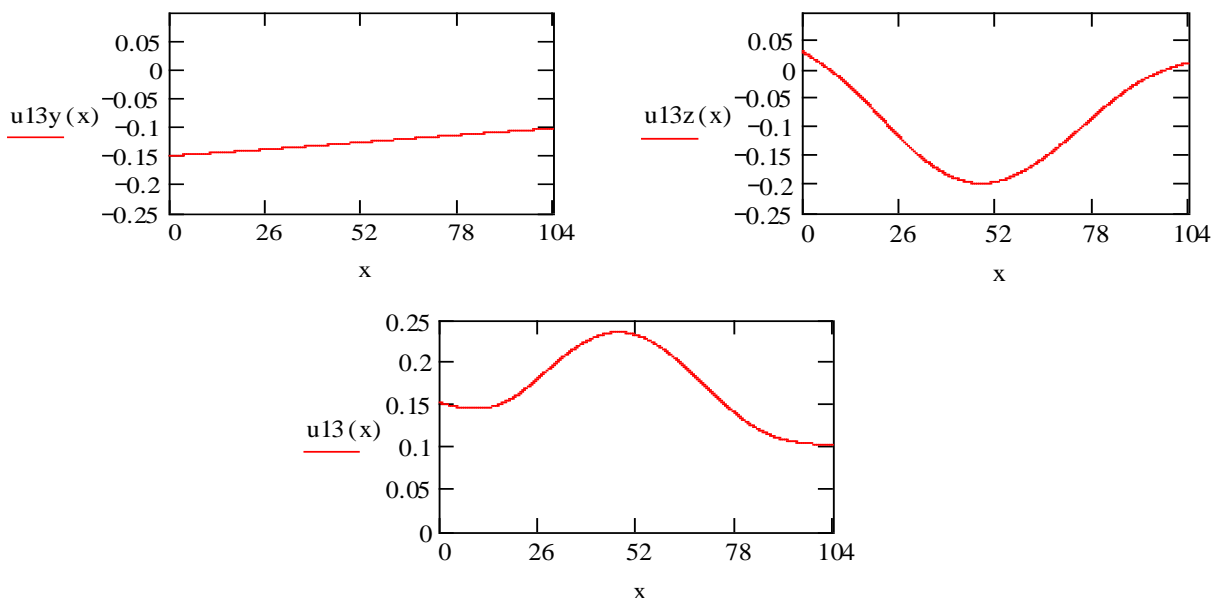


Рис. 3. Прогибы балки по направлениям осей координат, полный прогиб

Оптимизационная задача (1)-(3) является задачей условной оптимизации с ограничениями в виде неравенств. Решение ее методом прямого поиска Хука – Дживса показано в работе [4] и доказаны преимущества указанного метода перед другими.

В результате проведенных расчетов выбирается кран (или несколько кранов) с наименьшим значением металлоемкости.

III. Синтез выбранной схемы крана.

На данном этапе анализируется оптимальность выбранной схемы крана, что особенно актуально для сложных схем металлоконструкций, имеющих дополнительные элементы - консоли, подкосы. Эти элементы не влияют на значения основных параметров технического задания и вводятся для обеспечения условий прочности металлоконструкции, устойчивости стенок и сжатого пояса. Оптимальность схемы зависит от решения вопроса необходимости самих элементов и оптимальности их геометрических размеров.

На данном этапе также решается оптимизационная задача подобная (1)-(3), но берется целевая функция, включающая в себя металлоемкость металлоконструкции крана с учетом ребер жесткости:

$$m = \sum_{i=1}^n [\gamma \cdot 2 \cdot (b_i \delta_{Pi} + h_i \delta_{Ci} - 2\delta_{Pi} \delta_{Ci}) \cdot l_i + m1_i + m2_i + m3_i], \quad (4)$$

где $m1_i$, $m2_i$, $m3_i$ – металлоемкость поперечных, продольных, коротких ребер жесткости, которые устанавливаются согласно существующим нормам.

В качестве неизвестных берутся длины консолей и подкосов l_i , входящих в схему крана. Значения ширины b_i и высоты h_i сечения, толщины δ_{Pi} пояса, толщины δ_{Ci} стенки сечения i -го элемента схемы берутся из решения задачи (1)-(3) предыдущего этапа исследования.

Требуется найти значения неизвестных l_i , при которых достигается минимальное значение функции цели (4).

При решении задачи берется большее количество ограничений, чем в предыдущей:

$$\sigma_{экс IV i} = \sqrt{\sum \sigma_i^2 + 3\sum \tau_i^2} \leq [\sigma], \quad (5)$$

$$\frac{u_i}{l_i} \leq \left[\frac{u}{l} \right], \quad (6)$$

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}], \quad (7)$$

$$n_{0i} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sum \sigma_i}{\sigma_{кр}}\right)^2 + \left(\frac{\sum \tau_i}{\tau_{кр}}\right)^2}} \geq n, \quad (8)$$

$$t \leq [t]. \quad (9)$$

Неравенство (7) является ограничением прочности сжатой стенки сечения, имеет место для кранов, мост которых работает на кручение и рельс грузовой тележки устанавливается над стенкой; $\sigma_{см}$ – напряжение смятия под ходовым колесом, $[\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение смятия для материала стенки. Данное ограничение позволяет уточнить толщину сжатой стенки.

Неравенство (8) является ограничением по местной устойчивости балок кранов. При невыполнении этого условия устанавливаются ребра жесткости и увеличиваются толщины стенок и поясов.

Неравенство (9) является ограничением динамической жесткости; t – время затухания собственных колебаний крана, $[t]$ – допустимое время колебаний.

Задача (4)-(9) может быть решена методом Хука – Дживса. Элементы НДС определяются методом граничных элементов, как было указано в предыдущей задаче. В результате решения получаются оптимальные длины подкосов и консолей крана.

IV. Выбор оптимальных сечений элементов металлоконструкции крана.

Как было отмечено, металлоконструкции тяжелых козловых кранов в основном выполняются из листового прокатного материала и имеют прямоугольное поперечное сечение.

Выбор оптимального сечения элементов металлоконструкций является оптимизационной задачей с переменными:

b_i, h_i – ширина и высота сечения,

$\delta_{ПНi}, \delta_{ПВi}$ – толщины нижнего и верхнего поясов,

$\delta_{СЛi}, \delta_{СПi}$ – толщины левой и правой стенок сечения i -го элемента схемы.

Функция цели будет иметь вид:

$$m = \sum_{i=1}^n [\gamma \cdot l_i \cdot (h_i(\delta_{СЛi} + \delta_{СПi}) + b_i(\delta_{ПВi} + \delta_{ПНi}) - (\delta_{СЛi} + \delta_{СПi})(\delta_{ПВi} + \delta_{ПНi})) + m1_i + m2_i + m3_i]. \quad (10)$$

В качестве ограничений задачи берутся неравенства (5)-(9).

V. Выбор оптимальной схемы металлоконструкции крана.

В результате решения трех оптимизационных задач могут быть признаны оптимальными несколько металлоконструкций кранов. Окончательный выбор происходит после сравнения суммарных затрат на изготовление, монтаж, обслуживание кранов по формулам, приведенным в [4]. Выбирается кран, для которого эти затраты будут наименьшими.

Таким образом, приведенная методика расчета на оптимальность металлоконструкций показывает, что преимущество МГЭ – возможность нахождения необходимых компонентов перемещений и сил в любом сечении конструкции – позволяет точно и достаточно легко найти точки с наибольшими значениями этих компонентов. При этом размерность матриц задачи определения НДС невелика. При аналогичном размере матриц метод конечных элементов даст решения только в граничных точках стержней схемы металлоконструкции. Для достижения более точного результата МКЭ необходимо ввести дополнительные точки разбиения схемы, что ведет к увеличению матриц решения. При этом попадание в максимальную точку носит случайный характер, следовательно, требуемая точка может быть пропущена.

Решение оптимизационных задач с применением МГЭ упрощается, т.к. ограничения - неравенства могут быть легко проверены. Поэтому его можно рекомендовать для решения задач оптимального проектирования пространственных металлоконструкций, применяемых в краностроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. М.: Высшая школа, 2000. 560 с.
2. Барановская Л.В. Теоретические основы применения метода граничных элементов к расчету пространственных крановых металлоконструкций / Л.В. Барановская // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 1. С. 48-54.
3. Бенерджи П. Методы граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. М.: Мир, 1984. 494 с.
4. Кобзев А.П. Оптимальное проектирование тяжелых козловых кранов / А.П. Кобзев. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1991. 160 с.

Барановская Лариса Вакифовна – ассистент кафедры «Высшая математика и механика» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

Baranovskaya Larisa Vakifovna – Assistant of the Department of «Higher Mathematics and Mechanics» of Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (affiliated branch) of Saratov State Technical University

Кобзев Анатолий Петрович –
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Подъемно-транспортные, строительные
и дорожные машины»
Балаковского института техники,
технологии и управления (филиала)
Саратовского государственного
технического университета

Kobzev Anatoly Petrovich –
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department
of «Pick-and place Construction
and Road Machinery»
of Balakovo Institute of Engineering,
Technology and Management (affiliated branch)
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 08.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 621.9.02

А.Л. Плотников, А.Ю. Плотников

НОВЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ В САПР ТП ТОКАРНЫХ РАБОТ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Предложена принципиально новая методика расчёта точности механической обработки на токарных станках с ЧПУ при использовании систем автоматизированного проектирования механообработки. Данная методика обеспечивает заданную точность механической обработки на основе информации о свойствах пары «инструмент – деталь», получаемой во время предварительного пробного прохода.

Надёжность расчёта, составляющие силы резания, термоЭДС, пробный проход.

A.L. Plotnikov, A.Yu. Plotnikov

A NEW APPROACH IN PROVISION OF WORKING ACCURACY IN TURNING WORKS AT LATHE WITH CAD

A brand new calculation method of accuracy of machining on NC lathe by use of mechanical CAD has been proposed. This method ensures prescribed accuracy of machining on basis of information about properties of tool-work piece pair, obtained at the time of preliminary trial pass. A new approach in provision of working accuracy in the system of automated design for machines with digital programmed management

Calculation reliability, component forces of cutting, thermal electric driving force (thermo EDF), trial pass.

Задача обеспечения точности токарной обработки в условиях автоматизированного производства, где чётко наметилась тенденция использования систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), является актуальной. Наиболее значимыми факторами при этом являются составляющие силы резания. Так, точность обработки детали типа «вал» зависит от величины прогиба u_C детали под действием радиальной

составляющей P_y силы резания во время обработки. При этом допустимая величина данного параметра $u_{доп}$ должна составлять не больше 5% от допуска на размер Δ :

$$u_{доп} \leq 0,05 \cdot \Delta. \quad (1)$$

Чтобы решить поставленную задачу обеспечения точности обработки в САПР ТП, необходимо решить вопрос надёжного определения составляющих силы резания, так как ошибка при определении силы резания повлечёт за собой ошибку в обеспечении точности обработки. В качестве примера рассмотрим случай, когда заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон в консольном положении.

В этом случае прогиб детали под действием радиальной силы резания определяется как:

$$y_c = \frac{P_y \cdot (L_{заг} - x_p)^3}{3 \cdot 10^3 \cdot E \cdot J}, \quad (2)$$

где $L_{заг}$ – длина детали, выступающей из патрона; x_p – расстояние от правого торца до места приложения силы (до резца); E – модуль упругости материала детали; J – момент инерции сечения заготовки в месте искомого прогиба.

Максимальный прогиб детали будет в сечении $x_p = 0$. В формуле (2) радиальная составляющая силы резания P_y определяется по известной зависимости с учётом глубины резания t , подачи s , скорости резания v и силовых коэффициентов C_{Pz} , C_{Px} и C_{Py}

$$P_{x,y,z} = C_{P_{x,y,z}} \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_{P_{x,y,z}}, \quad (3)$$

где K – поправочный коэффициент, включающий поправку на прочностные свойства стали и геометрию инструмента.

Традиционные методики [1] допускают значительные ошибки при определении составляющих силы резания. Причина этих ошибок заключается в неполном учёте колебания свойств обрабатываемого и инструментального материалов внутри их марочного состава на силы резания [2]. При определении составляющих силы резания не учитывается разброс физико-механических свойств внутри марочного состава обрабатываемого материала, поправочный коэффициент для отдельной марки стали принимается постоянным. При этом предполагается, что с ростом предела прочности обрабатываемого материала составляющие силы резания также будут возрастать. Однако опытные данные измерения составляющих силы резания при обработке сталей твёрдосплавным инструментом на скоростях выше зоны наростообразования дают противоположные результаты. Это связано с тем, что в условиях высокоскоростного пластического деформирования интегральная сумма сил, действующих на переднюю грань инструмента, определяется не только величиной действующих напряжений, но и длиной участка пластического контакта, что, в свою очередь, определяется теплопроводностью контактируемых пар [3]. Теплопроводность сталей с пониженной прочностью значительно выше, чем у более прочных сталей, что приводит к увеличению участка пластического контакта, и этим объясняется «парадокс» с обратной зависимостью сил резания от их прочностных свойств. На рис. 1 приведены данные о величине составляющих силы резания при обработке сталей с различными прочностными свойствами и различной теплопроводностью резцом Т30К4.

Составляющая P_z изменяется слабо при изменении коэффициента теплопроводности обрабатываемых сталей от 25 до 37 Вт/м·К. Составляющие P_x и P_y изменяются линейно по явно выраженной закономерности: чем выше теплопроводность стали, тем больше горизонтальные составляющие силы резания. Однако этот «парадокс» противоречит существующим методикам определения составляющих сил резания, которые связывают их величину с прочностью сталей. В существующих методиках не учитываются влияния свойств инструментального материала на значение составляющих силы резания, хотя такое влияние имеется.

На рис. 2 представлены результаты измерения составляющих сил резания при обработке стали 25 твёрдыми сплавами с различной теплопроводностью.

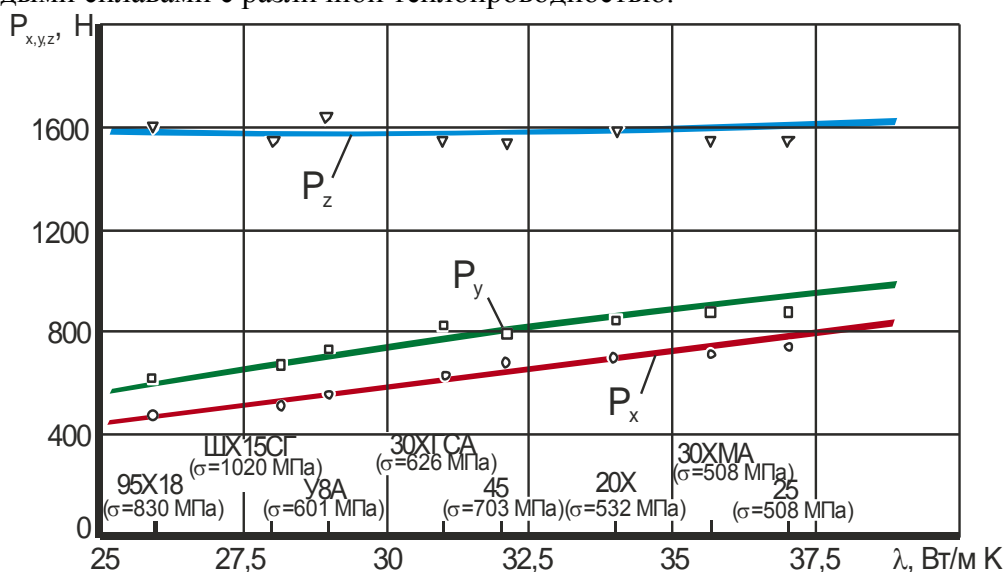


Рис. 1. Влияние теплофизических свойств сталей на составляющие силы резания. ($V = 110$ м/мин, $S = 0,3$ мм/об, $t = 2$ мм, $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\lambda = 0$)

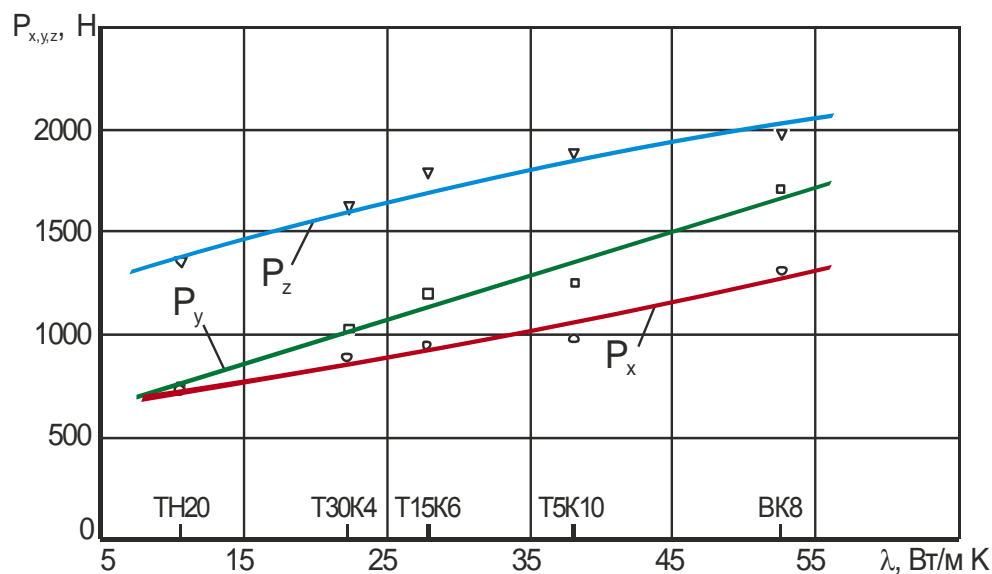


Рис. 2. Влияние теплопроводности инструментального материала на составляющие силы резания при обработке стали 25. Режимы обработки те же, что и на рис. 1

Проявляется четкая зависимость всех составляющих силы резания от теплопроводности инструмента. Чем выше теплопроводность, тем выше сила резания. Расчетные же значения для всех марок твердого сплава, согласно [1], одинаковы. В формуле определения составляющих силы резания (3) отсутствует поправка на теплофизические свойства твёрдосплавного инструмента. Ошибка в расчетном значении P_x и P_y по сравнению с измеренным достигает двукратного и более значения. Для получения оперативных данных о физико-механических свойствах обрабатываемого материала необходимо производить испытания на разрыв, которые затрудняют автоматизацию расчёта и не дают информации об изменении этих свойств в условиях высокоскоростного пластического деформирования.

Предлагается альтернативный способ определения составляющих резания, который бы учитывал недостатки традиционных методик и позволял автоматизировать процесс расчёта точности обработки. Способ основан на использовании величины сигнала термоЭДС пробного прохода из зоны резания и устойчивых корреляционных связях её величины с силовыми коэффициентами C_{Pz} , C_{Px} и C_{Py} , входящими в расчетные формулы по определению составляющих силы резания, корреляционной связи этих коэффициентов с работой сил стружкообразования, которая, в свою очередь, линейно связана с теплопроводностью контактируемых пар. В предлагаемом способе величина термоЭДС используется не как традиционная характеристика уровня температур в зоне резания, а как интегральный показатель физико-механических свойств контактируемой пары «инструмент – заготовка».

Суть данного способа заключается в следующем. Перед началом обработки производится пробный проход в течение 4-5 секунд на режимах $V = 100$ м/мин, $S = 0,1$ мм/об, $t = 1$ мм. При этом измеряется величина термоЭДС пробного прохода, которая несет в себе информацию о теплофизических свойствах материалов контактируемой пары. Далее измеренное значение термоЭДС подставляется в расчетные формулы для определения составляющих силы резания.

В данной методике радиальная составляющая силы резания P_y определяется по скорректированной зависимости [4]

$$P_y = (A_y + k_y \cdot E) \cdot t^{0,9} \cdot S^{0,6} \cdot V^{-0,3}, \quad (4)$$

где E – термоэлектродвижущая сила в мВ, измеренная в условиях пробного прохода; $A_y = 300$, постоянная, определенная из условий предварительной обработки; $k_y = 10$, коэффициент, определенный из условий предварительной обработки.

Глубина резания t определяется из чертежа детали и является независимым параметром. Допустимая подача S при чистовом точении определяется по следующей формуле:

$$S = 0,07 \cdot \sqrt{Rz \cdot r}, \quad (5)$$

где Rz – заданная шероховатость обработки; r – радиус закругления при вершине резца.

Величина подачи подбирается методом пересчёта, с тем, чтобы радиальная сила резания не была больше допустимой

$$P_y = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot E \cdot J \cdot 0,05 \cdot \Delta}{L_{3\Delta}^3}. \quad (6)$$

При этом способе автоматизированного определения составляющей силы резания ошибка составляет не более 15%. Скорость резания V в данном способе также определяется с использованием величины термоЭДС пробного прохода [2].

Вывод: данный способ даёт более точное определение составляющих силы резания и обеспечивает задаваемые параметры точности обработки. Он может быть использован в алгоритме расчёта точности токарной обработки при использовании САПР ТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога машиностроителя: в 3 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 2. 465 с.
2. Бржозовский Б.М. Обеспечение надёжности определения режимов лезвийной обработки для автоматизированного станочного оборудования / Б.М. Бржозовский, А.Л. Плотников. Саратов: СГТУ, 2001. 88 с.
3. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н.В. Талантов. М.: Машиностроение, 1992. 240 с.

4. Пат. № 2120354 Россия, С1 В 23 В 25/06. Способ определения составляющих силы резания на токарных станках с ЧПУ / А.Л. Плотников, В.В. Еремеев. № 97116947/20; Заявлено 14.10.97; Опубл. Бюл. № 29, 1998.

Плотников Александр Леонтьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета

Plotnikov Aleksandr Leontyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Automated Production Processes» of Volgograd State Technical University

Плотников Антон Юрьевич – магистр кафедры «Технология машиностроения» Волгоградского государственного технического университета

Plotnikov Anton Yuryevich – Master of Sciences of the Department of «Technology of Machine Building» of Volgograd State Technical University

Статья поступила в редакцию 26.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 621.9:531.3

И.Н. Янкин, Ю.В. Кисметов

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Приведены принципы разработки компьютерной модели процесса шлифования, основанной на учете его технологических параметров и динамического состояния технологического оборудования. Описан круг решаемых с ее помощью задач.

Шлифование, динамическое состояние, компьютерная модель.

I.N. Yankin, Yu.V. Kismetov

COMPUTER MODEL OF GRINDING PROCESSES

Principles of development of computer model of grinding processes based on its technological parameters and a dynamic condition of technological equipments are given here. The circle of problems decided with its help is described.

Grinding, dynamic condition, computer model.

Процесс шлифования представляет собой массовое микрорезание обрабатываемого материала абразивными зёрнами, сосредоточенными в поверхностном слое круга. Формообразование шлифуемой поверхности происходит в результате высокоскоростного взаимодействия потока активных абразивных зёрен с материалом обрабатываемой детали и осуществляется под влиянием множества факторов как имеющих технологический характер, так и связанных с состоянием технологического оборудования.

Чрезмерно высокая плотность потока режущих элементов, измеряемая тысячами актов царапания в секунду, случайный характер геометрии абразивных зёрен и их хаотическое расположение на инструменте являлись в течение продолжительного времени определяющей

мотивацией в подходе к описанию процесса шлифования на основе лишь теоретико-вероятностных моделей. Вместе с тем значительный скачок мощности и возможностей вычислительных средств, произошедший в последние годы, открывает возможность перехода от традиционных теоретико-вероятностных моделей описания процессов в станках к их компьютерному моделированию. Процесс шлифования рассматривается как сложная техническая система с большим числом взаимодействующих между собой процессов. Вовлечение в моделирование новых факторов позволяет более глубоко подойти к исследованию сложных процессов и получить новые результаты.

В этой связи на кафедре КиМО СГТУ создана компьютерная система для моделирования сложных процессов, протекающих при абразивной обработке. В качестве разновидности абразивной обработки выбрано внутреннее шлифование, как наиболее проблемный процесс, в котором в наибольшей степени взаимосвязаны технологические факторы с протекающими в зоне резания динамическими явлениями. С целью достижения максимальной адекватности модели реальным условиям шлифования предпринята попытка смоделировать технологическую среду шлифования на основе учета максимально возможных факторов, под влиянием которых осуществляется процесс шлифования. К их числу относятся:

- характеристики абразивного материала, геометрические характеристики круга и материала детали;
- наследственные погрешности детали от предшествующих операций;
- режущие свойства абразивного круга, формируемого процессом правки, и их изменение в процессе шлифования;
- упругие деформации и динамические явления в подсистемах круга и детали, определяемые статическими и динамическими характеристиками станка;
- современные данные о процессе стружкообразования при микрорезании.

Структура компьютерной модели процесса шлифования приведена на рис. 1. Она включает следующие составляющие:

- геометрическую модель шлифовального круга;
- модель процесса правки круга;
- геометрическую модель исходной поверхности детали;
- модель технологического движения инструмента и детали;
- модель динамики взаимодействия инструмента с деталью;
- модель силового взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемым материалом;
- модель стружкообразования при микрорезании;
- модель изменения режущих свойств абразивного круга.

Модель абразивного круга сформирована на основе учета особенностей технологии его изготовления. Основными характеристиками абразивного круга, учитываемыми при построении его геометрической модели, являются форма зерна, острота вершинной части, зернистость и структура. Форма абразивных зерен принята в виде эллипсоида вращения. Для описания положения зерен используется условная каркасная решетка. Ее отдельная ячейка имеет форму куба со стороной, определяемой в соответствии с размерной характеристикой зерна основной фракции и плотностью их распределения по объему круга [1].

К ячейкам куба привязаны вершинные части абразивных зерен координатами, сформированными случайным образом. Геометрические характеристики абразивных зерен подчиняются нормальному закону распределения. Поле рассеяния характеристик абразивных зерен определяется паспортными данными на абразивный материал. В итоге рельеф круга определяется системой вершин-полусфер, поверхность которых описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 &= r_{\text{бз}}^2; & x_0 &= S_p(i-1) + x_{\text{бз}}; \\ y_0 &= R_{\text{кн}} \cdot \cos \left[\frac{S_p(j-1)}{R_{\text{кн}}} \right] + y_{\text{бз}}; & z_0 &= R_{\text{кн}} \cdot \sin \left[\frac{S_p(j-1)}{R_{\text{кн}}} \right] + z_{\text{бз}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты центра вершины абразивного зерна; i, j – идентификаторы узла решетки; x, y, z – координаты, описывающие поверхности вершинных частей абразивных зерен; R_{KH} – радиус внешнего слоя; S_p – размерная характеристика решетки.

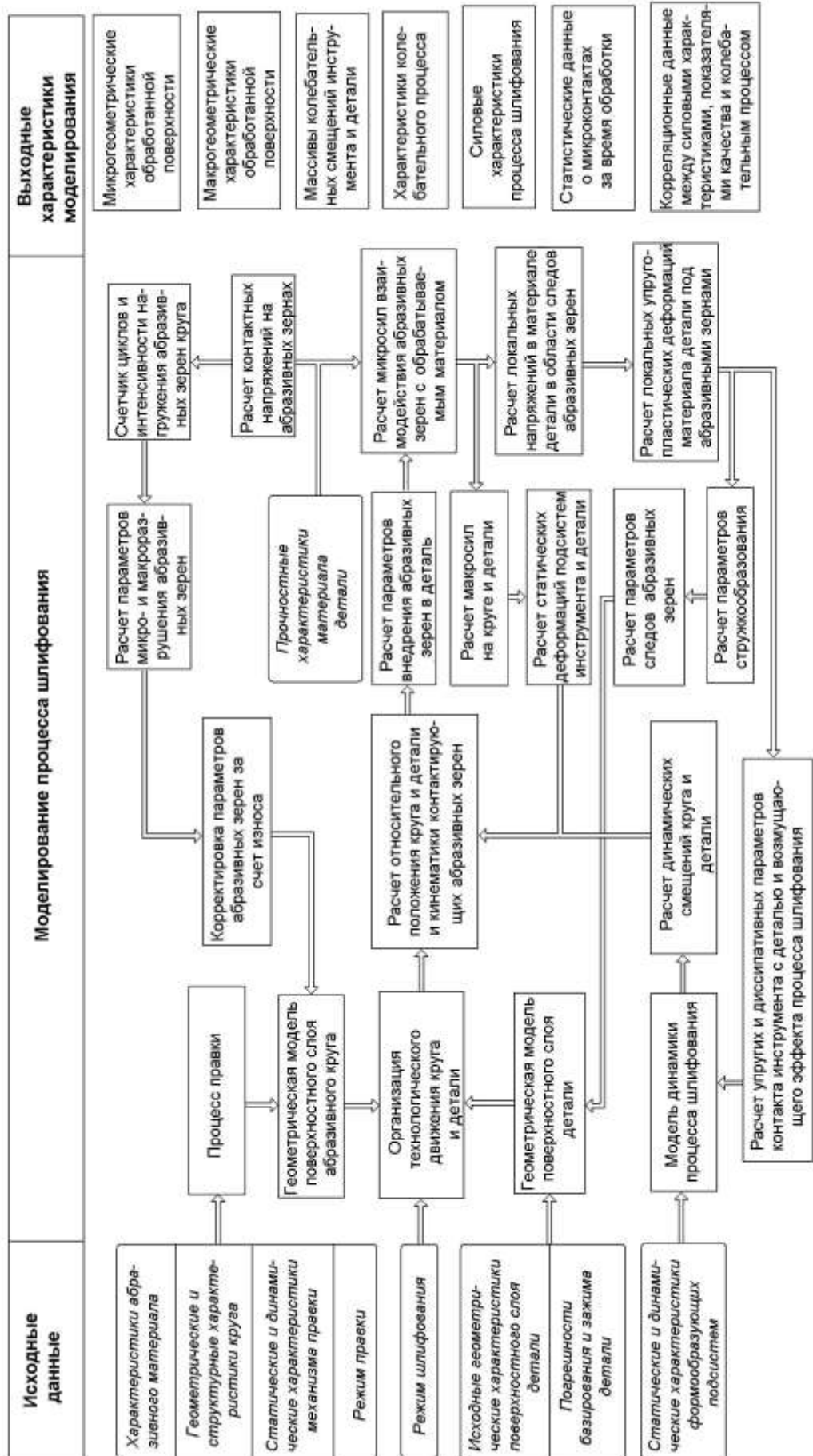


Рис. 1. Структурная схема компьютерной модели процесса шлифования

Модель правки круга реализована в виде его обтачивания правящим карандашом с учетом динамики процесса и учитывает как режим правки, так и состояние технологического оборудования. Формообразование круга реализуется как массовый процесс хрупкого ударного разрушения поверхностного слоя абразивного круга при его контакте с вершиной правящего инструмента. Появление новых режущих элементов формируется путем сколов вершинных элементов абразивных зерен или их макроразрушения в процессе взаимодействия с правящим элементом с учетом прочностных характеристик зерен и связи круга.

Геометрическая модель исходной обрабатываемой поверхности задается двумерным массивом ординат точек с учетом:

- разброса исходных размеров заготовок;
- наследственных геометрических погрешностей и закономерностей исходного рельефа детали, созданных на предшествующих операциях;
- погрешностей базирования детали и их деформаций в зажимном устройстве.

Модель технологического движения реализует изменение относительного положения инструмента и обрабатываемой детали в пространстве по схеме внутреннего шлифования врезанием или с продольной подачей круга.

Модель динамики процесса шлифования основана на описании движений инструмента и детали по четырем координатным направлениям. В условиях консольной схемы внутреннего шлифования с чрезмерно низкой жесткостью оправки с кругом определяющими характеристиками жесткости и диссипации динамической системы становятся характеристики контактной области круга с деталью, которые формируются на основе протекающего в ней процесса упругопластического деформирования обрабатываемого материала. Указанные характеристики контактной области круга с деталью формируются под действием многочисленных локальных актов взаимодействия режущих элементов абразивных зерен с обрабатываемым материалом и зависят от числа одновременно контактирующих режущих элементов, их геометрии и глубины внедрения в обрабатываемый материал.

Динамические характеристики контактной области круга с деталью определяются совокупным соотношением во времени процессов, протекающих при внедрении абразивных зерен в деталь в пределах дуги контакта: скольжение, упругая деформация, пластическая деформация и вытеснение материала. Упругие и диссипативные характеристики контактной области формируются в зависимости от соотношения энергетических затрат на указанные процессы.

Высокая степень детализации протекающих процессов, реализованная в модели шлифования, позволяет с высокой степенью точности определять мгновенные значения жесткости, диссипации и возмущающего эффекта резания. Однако во времени указанные параметры непрерывно меняются вместе с изменением характеристик внедрения в деталь новых зерен и выхода из контакта отработавших зерен. Кроме того, они находятся под влиянием режущих свойств абразивного круга, которые изменяются по мере микро- и макроразрушения абразивных зерен в цикле обработки одной поверхности. В этой связи для описания динамики процесса шлифования использована система нелинейных уравнений с изменяющимися параметрами:

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + c_{\rho 1}(t) \dot{x}_1 + p_{\rho 1}(t) x_1 + c_{\rho}(t) \cdot (1 - \mu_1 x_1^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4) &= 0, \\
 m_2 \ddot{x}_2 + c_{\rho 2}(t) \dot{x}_2 + p_{\rho 2}(t) x_2 + p_{\rho}(t) \cdot (1 - \mu_2 x_2^2)(x_1 + x_3) &= 0, \\
 m_3 \ddot{x}_3 + c_{\rho 3}(t) \dot{x}_3 + p_{\rho 3}(t) x_3 + c_{\rho}(t) \cdot (1 - \mu_3 x_3^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4) &= 0, \\
 m_4 \ddot{x}_4 + c_{\rho 4}(t) \dot{x}_4 + p_{\rho 4}(t) x_4 + p_{\rho}(t) \cdot (1 - \mu_4 x_4^2)(x_1 + x_3) &= 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $x_1 \dots x_4$ – обобщенные координаты системы; $m_1 \dots m_4$ – колебательные массы инструмента и детали; $c_{\rho 1}(t) \dots c_{\rho 4}(t)$ и $p_{\rho 1}(t) \dots p_{\rho 4}(t)$ – соответственно диссипативные коэффициенты и жесткости системы шлифования по обобщенным координатам, которые в силу описанных выше причин являются функциями времени; $c_{\rho}(t)$, $p_{\rho}(t)$ – коэффициенты возмущающих сил от процесса резания.

Уравнения, описывающие переходные процессы в динамической системе, получены путем применения к системе (2) асимптотических методов разделения движений для нелинейных систем [2]. Они имеют следующий вид:

$$x_{ij}(t) = f_s(m_i, c_{zi}, p_{zi}, c_o, p_o), \quad \ddot{x}_{ij}(t) = f_v(m_i, c_{zi}, p_{zi}, c_o, p_o) \quad (3)$$

и легли в основу расчета текущих смещений и скоростей колебательных движений круга и детали.

Моделируемые колебания круга и детали в условиях устойчивого шлифования имеют характер непрерывного переходного процесса между изменяющимися состояниями динамической системы, что хорошо согласуется с реальным колебательным процессом, имеющим широкополосный частотный спектр. В условиях потери системой шлифования устойчивости возможно образование детерминированной вибрации на собственных частотах системы.

Модели силового взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемым материалом, стружкообразования и износа круга построены на основе известных зависимостей теории шлифования, разработанных в [3, 4].

Описанные алгоритмы реализованы в среде Delphi. В качестве примера на рис. 2 приведен фрагмент поверхности, полученный путем моделирования процесса шлифования. Целевой предпосылкой для разработки модели стала необходимость исследования причин разброса размерных характеристик и качества шлифованных поверхностей, которые могут возникать при обработке партии деталей по жесткой технологической схеме. На основе полученных результатов предполагается разработать схему обработки, в которой режим шлифования адаптирован под конкретные условия резания и может при необходимости изменяться в цикле обработки. В качестве информационного сигнала о состоянии процесса резания предполагается использовать динамическую картину, возникающую при врезании инструмента в деталь. По полученной информации вводится коррекция в режим врезания, либо в режимы цикла обработки.

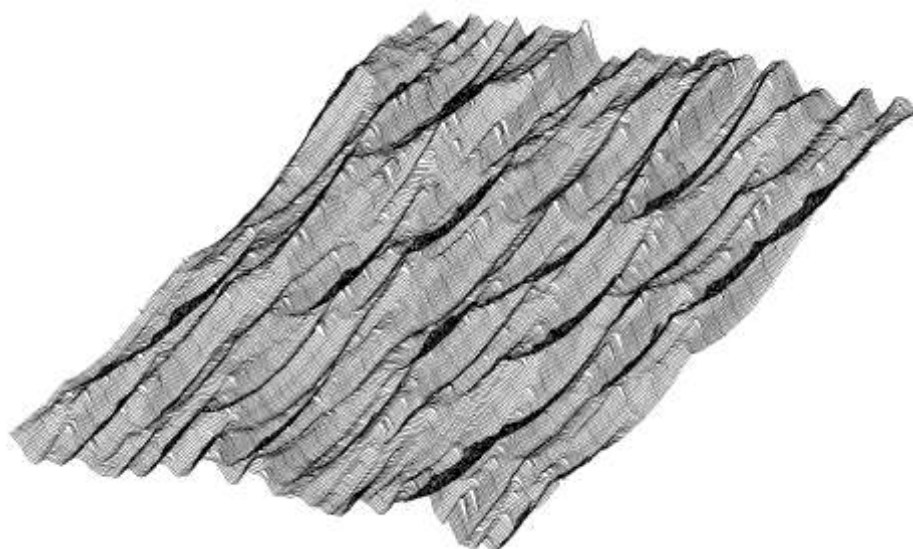


Рис. 2. Фрагмент модели прошлифованной поверхности

Приведенная компьютерная модель может быть использована также как инструмент для решения широкого круга задач, связанных с исследованием влияния технологических факторов обработки и состояния технологического оборудования на качество процесса шлифования и его выходные показатели, для разработки оптимальных циклов шлифования и решения оптимизационных задач процесса шлифования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янкин И.Н. Компьютерная инструментальная система для исследования качества процесса правки / И.Н. Янкин // Исследования станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 160-166.
2. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики / Н.Н. Моисеев. М.: Наука, 1981. 400 с.
3. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.В. Королев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 192 с.
4. Маслов Е.Н. Основные направления в развитии теории резания абразивным, алмазным и эльборовым инструментом / Е.Н. Маслов, Н.В. Постников. М.: Машиностроение, 1975. 48 с.

Янкин Игорь Николаевич –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Конструирование и компьютерное
моделирование технологического
оборудования машино- и приборостроения»
Саратовского государственного
технического университета

Yankin Igor Nikolaevich –
Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of «Designing and Computer
Modeling of Technological Equipment
of Machine and Instrument Making»
of Saratov State Technical University

Кисметов Юрий Викторович –
аспирант кафедры
«Конструирование и компьютерное
моделирование технологического
оборудования машино- и приборостроения»
Саратовского государственного
технического университета

Kismetov Yury Viktorovich –
Post-graduate student of the Department
of «Designing and Computer Modeling
of Technological Equipment of Machine
and Instrument Making»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 28.01.09, принята к опубликованию 25.02.09

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.793

С.А. Балашова, Е.А. Чащин, И.В. Шилов, А.А. Митрофанов**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Предложен новый способ повышения комплекса эксплуатационных свойств плазменно-напыляемых покрытий дополнительным введением модулированного лазерного излучения. По результатам математического моделирования определены требования к энергетическим и временным параметрам лазерного излучения. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Плазменно-напыляемые покрытия, энергия лазерного излучения.

S.A. Balashova, E.A. Chaschin, I.V. Shilov, A.A. Mitrofanov**PRODUCTION CHARACTERISTICS INCREASE OF CERAMIC COATINGS**

The new method of increase of a complex of service properties of plasma sprayed covers is offered by padding introduction of the modulated laser light. By results of mathematical simulation requests to power and temporary parameters of laser light are determined. Results of experimental researches are indicated.

Plasma sprayed covers, energy of laser radiation.

Известно, что газотермические методы нанесения покрытий, в том числе плазменное напыление как металлических, так и неметаллических компонентов, позволяют существенно улучшить эксплуатационные характеристики поверхностных слоев обрабатываемых изделий, повышая или восстанавливая при этом их работоспособность [1]. Несмотря на имеющиеся успехи в развитии технологии плазменного напыления покрытий существует ряд вопросов, требующих своего разрешения. Одним из них является повышение эксплуатационной стойкости покрытий, которая во многом определяется прочностью сцепления материала покрытия с подложкой при формировании первого монослоя, и зависит от концентрации частиц в плазменном потоке. Например, при формировании на стальной подложке керамического покрытия Al_2O_3 концентрация порошка, обеспечивающая достижение оптимальной температуры в контактной области, составляет $0,2 \cdot 10^3$ кг/(м²·с), что при дистанции напыления 100-120 мм соответствует производительности порядка 70 кг/ч [2]. В то же время предельная производительность современных электродуговых металлизационных аппаратов не

превышает 30 кг/ч, а для большинства серийных установок – ниже. Так, установки плазменного напыления типа «Киев 7» обеспечивают производительность по указанному покрытию не более 6 кг/ч. Таким образом, при выполнении операции плазменного напыления керамических покрытий возникает актуальная научно-техническая задача повышения прочности сцепления первого монослоя с подложкой. Один из путей ее решения заключается в интенсификации теплового воздействия на частицы порошка напыляемого материала путем введения в плазменный поток энергии от внешнего источника лазерного излучения [3, 4]. Однако эффективность использования лазерного излучения как источника дополнительного нагрева в этом случае ограничена высокими требованиями к энергетическим параметрам источника лазерной энергии, т.к. заметное повышение прочности сцепления напыленных покрытий возможно только в случае, если уровень удельного объемного энерговклада лазерного излучения сопоставим с параметрами плазменного потока, что обусловлено низким коэффициентом поглощения лазерного излучения. Работы, выполненные нами ранее [5], показали высокую эффективность воздействия на плазменный поток модулированным излучением. В этом случае модулированное лазерное излучение с малой длительностью импульсов и высокой плотностью мощности приводит к возникновению оптического пробоя, в области которого поглощается до 95 % энергии падающего лазерного излучения. Уменьшение, по сравнению с известными способами [3, 4], потерь на отражение, приводит к увеличению в 3 раза и более поглощенной плазменным потоком энергии лазерного излучения. В настоящей работе определены требования к энергетическим и временным параметрам лазерного излучения, дополнительно вводимого в плазменный поток для повышения комплекса эксплуатационных свойств плазменно-напыляемых покрытий.

Современные установки плазменного напыления формируют плазменный поток с температурой на срезе сопла плазматрона в диапазоне от 6 до 20 кК. Будем считать, что для обеспечения равномерного прогрева плазменного потока при дополнительном воздействии, поглощение лазерного излучения должно иметь объемный характер. Тогда, согласно формуле Унзольда – Крамерса, степень поглощения лазерной энергии [6]:

$$\alpha_{uc} = \frac{16\pi^2}{3\sqrt{3}} \frac{e^6 Z^2 k T n}{c \cdot h^4 v^3} \exp\left(-\frac{\varepsilon^* - h\nu}{kT}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)\right), \quad (1)$$

где c – скорость света; ν – частота излучения; Z – заряд иона; ε^* – потенциал ионизации атома, T – температура плазменного потока; n – концентрация в нем атомов; k – постоянная Больцмана; h – постоянная Планка.

Будем считать уровень поглощения плазменным потоком лазерного излучения достаточным, если происходит ослабление излучения в e раз. Определим геометрические размеры плазменного потока, обеспечивающие высокий уровень поглощения лазерного излучения. Результаты расчета приведены на рис. 1. Видно, что при температуре плазменного потока менее 10 кК плазменный поток практически прозрачен. Дальнейшее увеличение температуры плазменного потока приводит к нелинейному снижению толщина скин-слоя $\delta_{uc} = \alpha_{uc}^{-1}$. Однако, даже для верхней границы рассматриваемых температур плазменного потока, толщина скин-слоя превышает 4 см, что значительно больше геометрических размеров потока на срезе сопла

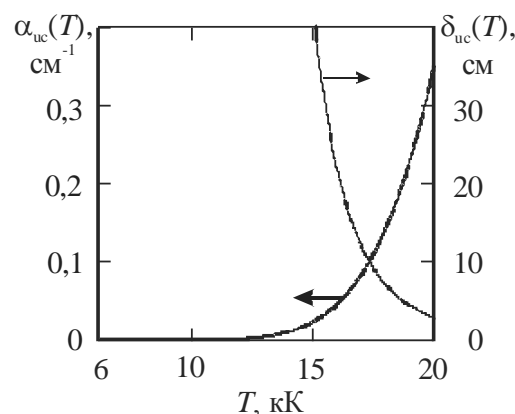


Рис. 1. Зависимость коэффициента объемного поглощения α_{uc} и толщины скин-слоя δ_{uc} от начальной температуры плазменного потока T .

Плазмообразующий газ – азот.
Длина волны излучения – 1 мкм

плазмотрона. Поэтому для обеспечения эффективного поглощения энергии лазерного излучения необходимо соосное введение лазерного пучка в поток. Однако в этом случае, в узком канале сопла плазмотрона происходит дополнительный нагрев напыляемого материала за счет поглощения плазменным потоком энергии лазерного излучения, что с высокой вероятностью вызывает забивание сопла перегретыми частицами порошка и, как следствие, снижает ресурс работы плазмотрона и эффективность плазменного напыления в целом. Таким образом, для повышения эффективности плазменного напыления, лазерное излучение необходимо вводить в плазменный поток несоосно. Следовательно, размеры скин-слоя должны соответствовать геометрическим параметрам потока на срезе сопла плазмотрона, и лежать в диапазоне 5-10 мм, что не обеспечивается воздействием немодулированного излучения.

Известно, что дополнительная ионизация плазмы возможна в результате формирования в ней оптического пробоя. Совмещение плазменного потока в зоне его выхода из плазмотрона с областью оптического пробоя обеспечит повышение температуры плазмы, а, следовательно, и напыляемого материала, за счет поглощения энергии лазерного излучения. Работы, выполненные нами ранее [7], показали возможность генерации лазерного излучения с длительностью импульса от 60 до 350 нс с плотностью мощности 2-5 ГВт/см², обеспечивающего формирование области оптического пробоя.

Принимаем, что условием возникновения пробоя является нарастание концентрации возбужденных электронов при превышении частоты ионизации над частотой диффузионных потерь

$$E = 2 \cdot \pi \cdot \nu / (a \cdot n \cdot \sigma \cdot e) [m_e \varepsilon^* / 3]^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Тогда интенсивность лазерного пучка, обеспечивающего возникновение пробоя, определяется как $I = c \varepsilon \varepsilon_0 E^2$, где ε – диэлектрическая проницаемость вещества; ε_0 – диэлектрическая постоянная; a – характерный размер области воздействия луча; σ – сечение взаимодействия электрон-атом; m_e – масса электрона.

По мере роста порога пробоя и требуемой для распространения ионизационного фронта интенсивности излучения можно выделить следующие режимы: режим светового горения при скорости фронта ионизации 0,001-0,1 км/с и интенсивности поддерживающего лазерного излучения 5-100 МВт/см²; дозвуковые радиационные волны (ДРВ), возможны колебания прозрачности при скорости фронта ионизации 1-4 км/с и интенсивности лазерного излучения 10-40 МВт/см²; светодетонационные волны (СДВ) при скорости фронта ионизации 5-20 км/с и интенсивности лазерного излучения от 20-31 до 1000 МВт/см²; сверхзвуковые радиационные волны (СРВ) при интенсивности лазерного излучения > 1000 МВт/см²; быстрые волны ионизации (БВИ) при скорости фронта ионизации > 100 км/с и интенсивности лазерного излучения > 10000 МВт/см².

Полагаем, что наиболее приемлемым режимом распространения фронта ионизации для поперечного прогрева плазменного потока является режим СДВ поглощения. Учитывая, что такая волна ионизации непрозрачна для лазерного излучения, формирование ионизационного фронта необходимо проводить на удаленной от лазера стороне плазменного потока путем острой фокусировки луча, со смещением фокуса за удаленную границу плазменного потока [8]. В режиме СДВ фронт ионизации распространяется со скоростью:

$$V_{СДВ} = (2(\gamma^2 - 1))^{\frac{1}{3}} (I / \rho_0)^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

где ρ_0 – плотность газовой среды; γ – показатель адиабаты газа.

Принимаем, что для обеспечения равномерного прогрева плазменного потока лазерным излучением необходимо, чтобы за время действия импульса лазерного излучения фронт ионизации распространялся на расстояние, не меньшее, чем геометрические размеры плазменного потока на срезе сопла плазмотрона. Определим интенсивность лазерного излучения,

достаточную для равномерного прогрева плазменного потока. Результаты расчета приведены на рис. 2. Видно, что временные и энергетические параметры лазерного пучка должны лежать в диапазоне: длительность импульса от 100-300 нс, энергия импульса в диапазоне 0,1-0,5 Дж. При уменьшении энергетических параметров лазерного излучения момент возникновения пробоя сдвигается к концу действия импульса модулированного излучения. Причем, при уменьшении начальной температуры плазменного потока, время возникновения пробоя увеличивается, что в совокупности приводит к снижению расстояния, пройденного фронтом ионизации. При уменьшении длительности импульса расстояние, пройденное фронтом ионизации, также уменьшается и не соответствует геометрическим размерам плазменного потока.

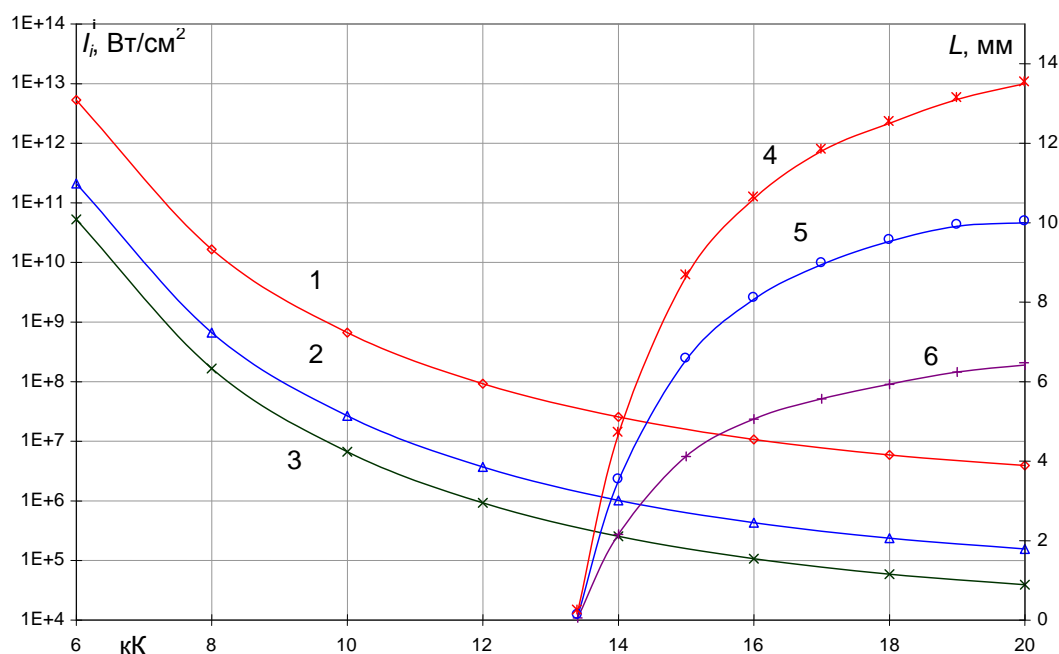


Рис. 2. Зависимость пороговой интенсивности пробоя I_i (1-3) в азоте от начальной температуры T , К. Диаметр лазерного луча: 1 мм (1), 5 мм (2) и 10 мм (3). Расстояния L , мм (4-6), пройденные фронтом ионизации в режиме СДВ при длительности импульса: 300 нс (4), 200 нс (5), 100 нс (6)

Приведенные выше расчеты позволили определить минимальные требования к энергетическим и временным параметрам лазерного излучения. Однако, при увеличении энергетических параметров лазерного излучения не только фронт ионизации будет быстрее распространяться по плазменному потоку, но и возрастает интенсивность дополнительного нагрева порошка напыляемого материала, содержащегося в плазменном потоке. Будем считать нецелесообразным нагрев частиц напыляемого материала выше температуры, при которой возможно полное испарение напыляемого материала. Рассмотрим взаимодействие частицы напыляемого материала с лазерным излучением и плазменным потоком. Принимаем, что для моделирования области нагрева с плавлением приемлемым является использование в решении единого нестационарного уравнения теплопроводности эффективной сглаженной функции удельной теплоемкости $c(T)$ [9], которая, кроме сглаживания перепада в значении при фазовом переходе «твердое тело – расплав», включает в себя удельную энергию плавления, определяемую по формуле

$$\partial T / \partial t + (\vec{V}, \text{grad} T) = a(T) \Delta T, \quad (4)$$

где $a(T)$ – температуропроводность; \vec{V} – вектор скорости фронта испарения.

Граничные условия на поверхности поглощения-испарения (r)

$$-\lambda_T \cdot (\partial T / \partial n) = q_T, \quad (5)$$

$$q_T = (1 - R) \cdot I_{\perp} - I_V + q_v, \quad (6)$$

где q_T – интенсивность тепловыделения на облучаемой поверхности; I_{\perp} – распределение интенсивности падающего излучения; I_V – потери плотности мощности на испарение [10]; q_v – лучистый обмен между поверхностью частицы и плазменным потоком; R – отражательная способность поверхности [11].

Результаты математического моделирования нагрева частицы под воздействием импульса лазерного излучения и плазменного потока представлены на рис. 3. Видно, что при воздействии лазерного излучения с длительностью импульса в пределах 100-300 нс и энергией импульса 0,1-0,22 Дж на частицу напыляемого порошка $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, происходит испарение поверхностного слоя на 20-50%, которое сопровождается уменьшением ее исходных размеров. Причем, процесс испарения по времени практически совпадает с длительностью импульса лазерного излучения. После окончания действия импульса температура поверхности снижается до 2-3 кК, что соответствует температуре плавления, и стабилизируется, поскольку охлаждение поверхности частицы через испарение вещества прекращается. Дальнейшее поддержание температуры частицы осуществляется за счет теплового воздействия плазменного потока при ее переносе на напыляемую поверхность.

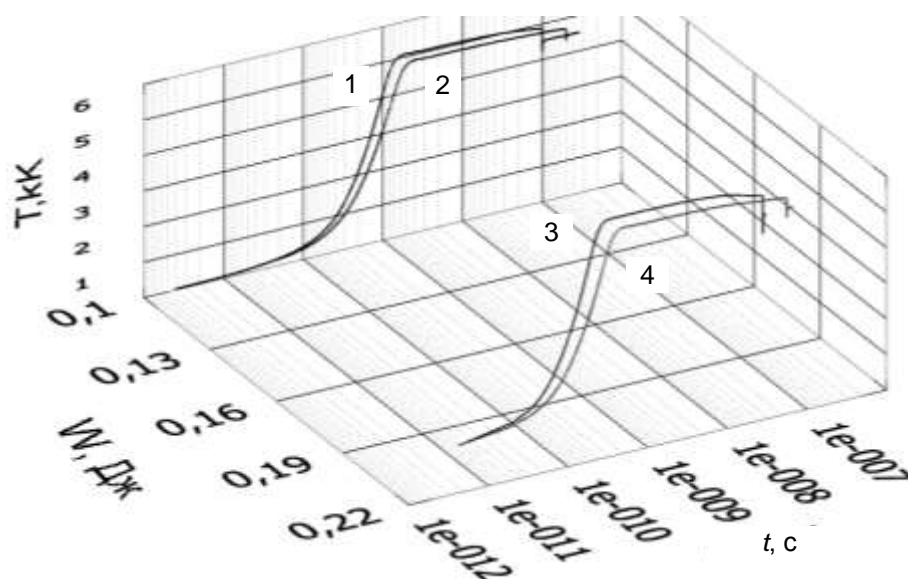


Рис. 3. Зависимость изменения температуры частицы T , К, от времени взаимодействия лазерного импульса и плазменного потока t , с. Кривая 1 – мощность импульса лазерного излучения 0,1 Дж, длительность импульса 100 нс; 2 – мощность импульса 0,1 Дж, длительность импульса 200 нс; 3 – мощность импульса 0,2 Дж, длительность импульса 100 нс; 4 – мощность импульса 0,2 Дж, длительность импульса 200 нс

При воздействии на частицу керамики лазерного излучения с длительностью импульса от 1-50 нс и энергией импульса от 0,01 до 0,25 Дж происходит нагрев частицы до 7-9 кК и при этом она испаряется на 60-80%. Увеличение длительности импульсов более 400 нс приводит к практически полному испарению напыляемых частиц. Таким образом, для лазерно-плазменного напыления окиси алюминия наиболее оптимальными являются лазеры с длительностью импульса от 100 до 250 нс и мощностью импульса от 0,1 до 0,25 Дж.

Одной из характеристик напыляемых покрытий, определяющей прочность сцепления напыляемого слоя с подложкой, является адгезия. Известно, что адгезия в значительной сте-

пени зависит от температуры подложки в локальной области контакта с напыляемым материалом. Рассмотрим, как введение модулированного лазерного излучения в плазменный поток влияет на адгезию напыляемого материала. Полагаем, что в связи со значительным перегревом напыляемых частиц происходит физико-химическое взаимодействие. Считаем, что влияние плазменного потока вызывает равномерный нагрев подложки до температуры T_0 , которая является усреднённой эффективной температурой поверхности. В соответствии со сделанными допущениями, согласно [12], при условии идеального теплового контакта подложки с расплавленной частицей, определим температуру в зоне взаимодействия

$$T_k = [K_\varepsilon \cdot (T_q - T_0) / (K_\varepsilon + \Phi(\alpha))] + T_0, \quad (7)$$

где T_q и T_0 – температура частицы и подложки в момент осаждения покрытия; $\Phi(\alpha)$ – функция интеграла вероятности; $K_\varepsilon = (\lambda_1 / \lambda_2) \cdot \sqrt{a_2 / a_1}$ – критерий тепловой активности частицы по отношению к подложке; λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности порошка и подложки; a_1 и a_2 – коэффициенты температуропроводности порошка и подложки.

Функция интеграла вероятности $\Phi(\alpha)$ определялась из уравнения

$$\Phi(\alpha) = K_L \cdot (\exp[-\alpha^2] / \alpha) - K_\varepsilon, \quad (8)$$

в котором $K_L = c_1 \cdot (T_{nl} - T_0) / (1,77 \cdot L)$, где c_1 – теплоемкость материала частицы; L – скрытая теплота плавления материала частицы.

В качестве подложки в расчете рассмотрены материалы сталь 12X18H9T и железо.

Согласно [13] относительная прочность сцепления частиц в результате протекания химической реакции в контакте можно получить из выражения

$$N(t) / N_0 = 1 - \exp[-(v_k \cdot t) / \exp(E_a / k \cdot T_k)], \quad (9)$$

где v_k – частота собственных колебаний атомов, находящихся в контакте; t – время затвердевания частицы порошка; E_a – энергия активации поверхности подложки.

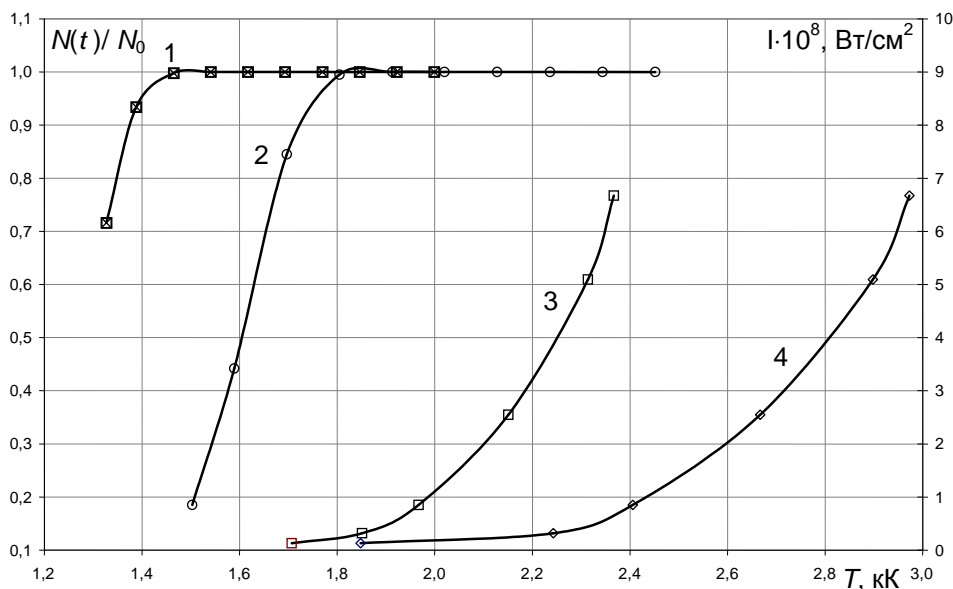


Рис. 4. Зависимости относительной прочности сцепления частиц с подложкой $N(t) / N_0$ и интенсивности лазерного излучения I , при которых достигается температура T_k в зоне контакта: кривые 1 и 3 – основа Fe, кривые 2 и 4 – основа сталь 12X18H9T

Результаты расчета приведены на рис. 4. Видно, что введение дополнительного источника энергии в виде лазерного излучения локально увеличивает температуру в зоне кон-

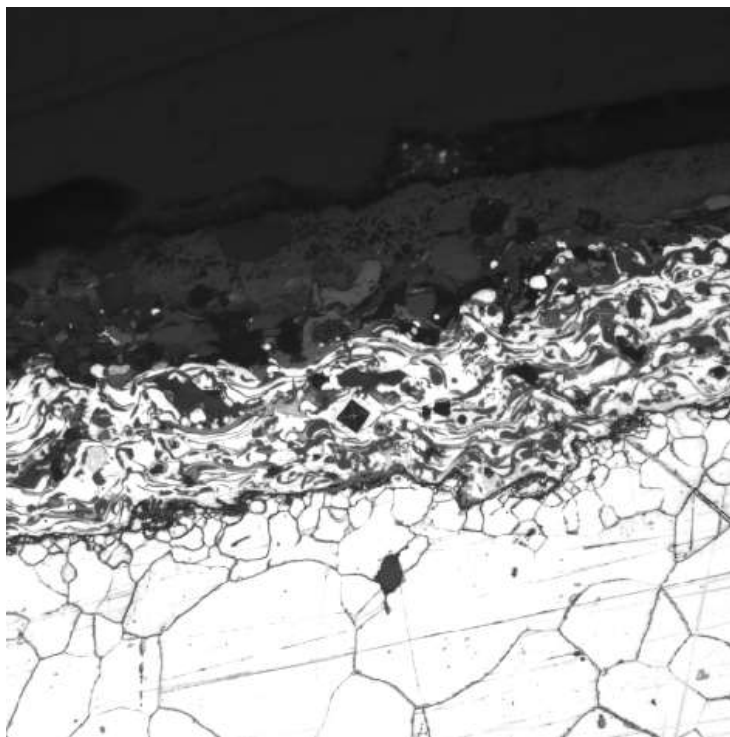


Рис. 5. Микроструктура керамического покрытия на основе Al_2O_3 , полученного в результате лазерно-плазменного напыления

такта, что приводит к увеличению относительной прочности сцепления напыляемого материала в 5 раз с 0,185 до 1. Следует отметить, что лазерное воздействие не сопровождается объемным прогревом подложки. Поэтому можно полагать, что повышение температуры в зоне контакта не вызовет последующего значительного коробления изделия и, как следствие, отслаивания покрытий, что подтверждается результатами металлографического исследования (рис. 5). Также видно, что превышение температуры выше 1,5 кК для железа и 1,8 кК для стали 12Х18Н9Т не приводит к дальнейшему росту относительной прочности сцепления. Таким образом, интенсивность лазерного излучения, обеспечивающая дополнительную ионизацию плазменного потока, содержащего мелкодисперсную фазу напыляемого материала, должна лежать в диапазоне $2\text{-}8 \cdot 10^8 \text{ Вт/см}^2$, дальнейшее увеличе-

ние интенсивности лазерного излучения нецелесообразно, ввиду снижения энергетической эффективности лазерного воздействия.

Результаты моделирования косвенно подтверждаются исследованием шлифов покрытий из окиси алюминия, нанесенных лазерно-плазменным способом, показавшим, что увеличение температуры частиц в зоне контакта улучшает адгезионную прочность сцепления покрытия с подложкой (см. рис. 5). Видно, что контактная часть «покрытие – подложка» имеет достаточно развитый рельеф. Покрытие вблизи подложки имеет характерное зернистое строение, более равномерное, чем в случае плазменного напыления. Анализ фотографий показывает возможность интенсификации физико-химической реакции в зоне контакта напыляемых частиц и подложки, что способствует равномерности наносимого покрытия при одновременном увеличении прочности сцепления покрытия и основы.

В работе предложен новый способ повышения комплекса эксплуатационных свойств плазменно-напыляемых покрытий дополнительным введением модулированного лазерного излучения. Показана возможность увеличения в 5 раз относительной прочности сцепления частиц с подложкой за счет интенсификации теплового воздействия плазменного потока введением модулированного лазерного излучения. По результатам математического моделирования определены требования к энергетическим и временным параметрам лазерного излучения. Показано, что существует ограничение по выбору энергетических и временных параметров лазерного пучка. Приведены результаты экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления / А.Ф. Пузряков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 360 с.

2. Нанесение покрытий плазмой / В.В. Кудинов, П.Ю. Пекшев, В.Е. Белашенко и др. М.: Наука, 1990. 408 с.
3. Патент РФ № 2196394 от 01.10.2003. Способ плазменной обработки материалов, способ генерации плазмы и устройство для плазменной обработки материалов.
4. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
5. Полезная модель № 75391 от 01.04.2008. Плазмотрон для лазерно-плазменного нанесения покрытий.
6. Булгаков А.В. Тепловая модель импульсной лазерной абляции в условиях образования и нагрева плазмы, поглощающей излучение / А.В. Булгаков, М.Н. Булгакова // Квантовая электроника. 1999. Т. 27. № 2. С. 154-158.
7. Лазерные системы с пассивной модуляцией добротности для прецизионных технологий / Т.Т. Басиев, А.В. Федин, И.В. Шилов, Е.А. Чащин // Известия Академии наук. Сер. физическая. 2001. Т. 65. № 6. С. 891-896.
8. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
9. Воздействие лазерного излучения на материалы / Р.В. Арутюнян, В.Ю. Баранов, Л.А. Большов и др. М.: Наука, 1989. 367 с.
10. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора; под ред. Н.Н. Рыкалина. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
11. Кудинов В.В. Нанесение плазменных тугоплавких покрытий / В.В. Кудинов, В.М. Иванов. М.: Машиностроение, 1981. 192 с.
12. Баврин И.И. Курс высшей математики: учеб. пособие / И.И. Баврин. М.: Просвещение, 1992. 400 с.
13. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. М.: Наука, 1977. 97 с.

Балашова Светлана Александровна – инженер I категории
ФГУП «ВНИИ "Сигнал"»

Balashova Svetlana Aleksandrovna – 1st category engineer
SRI «Signal»

Чащин Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника» Ковровской государственной технологической академии имени В.А. Дегтярёва

Chaschin Evgeny Anatolyevich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of the Department of «Electrotechnology» of Kovrov State Technological Academy in the name of V.A. Degtyaryov

Шилов Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерная физика и технология» Ковровской государственной технологической академии имени В.А. Дегтярёва

Shilov Igor Vyacheslavovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Laser Physics and Technology» of Kovrov State Technological Academy in the name of V.A. Degtyaryov

Митрофанов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерная физика и технология» Ковровской государственной технологической академии имени В.А. Дегтярёва

Mitrofanov Andrey Anatolyevich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Laser Physics and Technology» of Kovrov State Technological Academy in the name of V.A. Degtyaryov

Статья поступила в редакцию 30.10.08, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 615.46; 621.793

А.В. Лясникова**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ**

Предложен и теоретически обоснован метод формирования наноструктурированного гидроксиапатитового покрытия с повышенными антибактериальными свойствами путем предварительного насыщения частиц напыляемого порошка нитратом серебра и их последующего плазменного напыления на режимах, обеспечивающих термоударное дробление на наноразмерные фрагменты.

Имплантат, биосовместимые покрытия, гидроксиапатит, наноструктуры.

A.V. Lyasnikova**RESEARCH OF POSSIBILITY GETTING NANOSTRUCTURING
BIOCOMPATIBLE COATING WITH Ag AND HYDROXYAPATIT**

This is a study of the method of formation of nanostructure of hydroxyapatite coating with antimicrobial properties from powder with Ag, which plasma sprayed on different modes. The author introduces the model of antimicrobial activities of the formed coating.

Implant, biocompatible coating, hydroxyapatite, nanostructures.

Данное исследование, проведенное в рамках гранта Президента РФ № МК-449.2008.8, было направлено на разработку теории формирования наноструктур в плазмонапыленном антибактериальном покрытии на основе серебросодержащего гидроксиапатита, а также описание механизма антисептического действия у порошкового серебросодержащего гидроксиапатита и покрытия на его основе.

Для придания медицинским имплантатам антибактериальных свойств было решено наносить на их поверхности наноструктурированные биоактивные покрытия на основе серебра и гидроксиапатита (ГА). Наиболее целесообразным методом создания такого покрытия, по нашему мнению, является внедрение серебра в нанопористую структуру исходных частиц порошка гидроксиапатита перед их напылением. Для оценки возможности реализации данного метода проведены теоретические исследования процесса насыщения ГА серебром и плазменного напыления такого материала.

С помощью метода ртутной порометрии были выявлены параметры пористой структуры порошка ГА, получаемого на кафедре «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» СГТУ «мокрым» гидроаммиачным способом. Установлено, что его частицы характеризуются преимущественно нанопористой структурой: суммарный объем пор размерами 10-100 нм составляет около 26%, объем пор меньшего размера доходит до 74%, поры размером 1 мкм (1000 нм) и более практически отсутствуют. Суммарный объем пор (V_{Σ}) составляет 0,4 см³/г, удельная поверхность (S) – 52 м²/г. Это позволяет сделать вывод,

что порошок ГА является хорошим адсорбентом. Насыщение ГА проводилось путем погружения порошка в водный раствор нитрата серебра, который являлся адсорбатом [1].

Насыщение пор серебросодержащим компонентом происходило вследствие того, что после извлечения порошка из раствора (адсорбтива) часть раствора остается в объеме пор.

Из вышесказанного следует, что гидроксипатитовые порошки обладают достаточно большими величинами V_{Σ} и S , вследствие чего они являются хорошими адсорбентами.

Модальный радиус микропор составляет $r_{\max} = 9$ нм и к описанию адсорбции в них в грубом приближении можно применить уравнение Дубинина – Радускевича [2]:

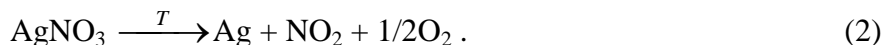
$$a = a_0 \cdot e^{-2\{[\sigma_0 - b(T-T_0)]V_m / E_r\}^n}, \quad (1)$$

где a – заполнение пор адсорбентом, $a_0 = a$ при $P = P_s$; P и P_s – давление насыщенного пара адсорбента вдали и вблизи поверхности пор; σ – поверхностное натяжение адсорбата на стенках микропоры с радиусом r ; V_m – молярный объем адсорбата; T_0 и T – абсолютные температуры окружающей среды и нагрева адсорбента; $\sigma_0 = \sigma$ при $T = T_0$; E – молярная энергия адсорбции; n – численная постоянная, в большинстве случаев равная 2; b – температурный коэффициент поверхностного натяжения.

Из уравнения (1) следует, что, пренебрегая слабой линейной зависимостью a_0 от температуры, можно считать величину заполнения пор адсорбентом a нарастающей с температурой нагрева адсорбтива $T - T_0$ по экспоненциальному закону.

В рассматриваемой нами проблеме адсорбтивом и адсорбентом является водный раствор нитрата серебра AgNO_3 .

После нагрева такого порошка до 600°C происходит вначале испарение воды из адсорбата, а затем термическое разложение нитрата серебра по реакции [3]:



Эта реакция протекает не только на поверхности стенок микропор ГА, но и в объеме частиц порошка, что обусловлено твердофазной диффузией катионов Ag^+ по кальциевым вакансиям и анионов NO_3^- по гидроксидным вакансиям кристаллической решетки ГА. Тем самым реакция (2) подчиняется закономерностям топокинетических реакций [4], выражаемых уравнением Ерофеева – Авраамии – Аррениуса [5]:

$$\alpha = 1 - e^{-\beta\tau^m}, \quad (3)$$

и

$$\beta = mB^m \cdot e^{-\frac{mA}{RT}}, \quad (4)$$

где $0 \leq \alpha \leq 1$ – степень топокинетического превращения; τ – время термического разложения; $m > 0$ – численный коэффициент (форм-фактор топокинетической кривой); B – аррениусовская предэкспонента и A – энергия активации реакции термического разложения AgNO_3 .

Анализ (3) показывает, что при $\beta\tau^m \ll 1$ ($\tau \ll \beta^{-1/m}$) имеем $\alpha = \beta\tau^m$, а при $\beta\tau^m \gg 1$ ($\tau \gg \beta^{-1/m}$) $\alpha = 1$. Время достижения максимальной скорости разложения τ^{\max} находится при решении трансцендентного уравнения:

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\tau} = \beta\tau^{m-1} \cdot e^{-\beta\tau^m} = 0. \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует также, что степень термического разложения AgNO_3 резко увеличивается с температурой нагрева порошка ГА по двойному экспоненциальному закону.

При наличии экспериментальных данных по зависимостям $\tau = \tau(\alpha, T)$ и знании значения энергии активации A можно рассчитать все параметры топокинетического процесса.

Величина m при этом определяется по угловому коэффициенту прямых в координатах $\ln[-\ln(1-\alpha)] - \ln\tau$:

$$m = \partial \ln [-\ln(1-\alpha)] / \partial \ln \tau, \quad (6)$$

после этого из уравнения:

$$\ln \beta = \ln [-\ln(1-\alpha)] - m \ln \tau \quad (7)$$

находятся величины β . При этом для каждой из кинетических кривых следует рассчитать значения β при нескольких временах термического разложения AgNO_3 и убедиться, что эти значения несущественно отличаются друг от друга.

При известных A величины B определяются из соотношения:

$$\ln B = 1/m(\ln \beta - \ln m + mA/RT). \quad (8)$$

Энергии активации A можно оценить из модельных термогравиметрических измерений.

Полученный в результате теоретически описанных выше технологических операций порошок серебросодержащего гидроксипатита в процессе электроплазменного напыления подвергается термоударному дроблению. Суть этого процесса заключается в развитии сильных механических напряжений термоупругого сжатия в верхней части плазменной струи, которые намного превышают предел прочности гидроксипатита на сжатие. Вследствие этого частицы ГА (Ag) дробятся на очень большое число осколков малой величины.

Теоретический анализ этого эффекта подробно рассмотрен в [6] и здесь мы приведем лишь конечные результаты, согласно которым среднее значение напряжения сжатия определяется из соотношения:

$$\bar{\sigma} = -\frac{0,853\beta_T r_q \eta I U B}{\lambda_{II} B_B N_0} \left[2 \frac{\lambda_q}{\lambda_{II}} + 0,66 \left(\frac{2GR}{\mu_{II}} \right)^{1/2} \left(\frac{C_{II}\mu_{II}}{\lambda_{II}} \right)^{1/3} \right]^{-1} \cdot \left(\frac{V_0}{L} \right)^{3/2}, \quad (9)$$

где β_T – коэффициент объемного термического расширения и B_B – вектор Бюргерса материала напыляемой частицы с радиусом r_q и коэффициентом теплопроводности λ_q ; N_0 – исходная объемная плотность линейных дислокаций в частице; B – модуль объемной упругости материала частицы; C_{II} , λ_{II} , μ_{II} – удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, вязкость плазменной струи; R – радиус струи; V_0 – осевая скорость движения частицы в струе; L – дистанция напыления; G – объемный расход плазмообразующего газа; η , I , U – тепловой КПД, сила тока и напряжение образования плазменной струи.

Из (9) получается, что величина сжимающего частицу плазменного термоудара зависит от большого количества различных факторов: свойств напыляемого материала (β_T , B , B_B , N_0 , λ_q), характеристик плазменного потока (λ_{II} , C_{II} , μ_{II}), технологических параметров (r_q , R , η , I , U , L , V_0 , G).

Группа свойств материала, как правило, определяется техническими требованиями к плазмонапыленным покрытиям, характеристики плазменного потока не являются независимыми величинами, поэтому удастся варьировать только технологические параметры, среди которых чаще всего изменяют дисперсность исходных порошков (r_q), силу тока плазменной дуги (I) и дистанцию напыления (L).

Для иллюстрации работы формулы (9) приведем численную оценку сжимающих термоударных напряжений для ГА, положив $\beta_T = 33 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $t_{II} = 2 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3 \text{ K}$, $B = 70 \text{ ГПа}$, $a_q = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $B_B = 10^{-8} \text{ м}$, $N_0 = 10^{12} \text{ м}^{-2}$, $L = 0,1 \text{ м}$, $V_0 = 100 \text{ м/с}$.

В результате получаем $\bar{\sigma} = -14,8 - 74 \text{ ГПа}$, что намного превышает предел прочности ГА на сжатие $\sigma_{сж} = -70 \text{ МПа}$. Поэтому эффект термоударного дробления должен привести к очень значительному измельчению исходных частиц ГА в плазменной струе.

Коэффициент термоударного дробления S можно оценить из соотношения:

$$S = (r_q / r_L)^3, \quad (10)$$

где r_q – модальный радиус исходных частиц ГА и r_L – модальный радиус раздробленных частиц ГА на подлете к поверхности подложки. При теоретически и экспериментально уста-

новленном коэффициенте дробления до 3500 и обычно используемой в практике напыления дисперсности ГА 70-100 мкм это обеспечивает размеры частиц нанодиапазона: 20-28 нм.

При контакте с физиологическими жидкостями мелкораздробленные плазменным термоударом Ag-содержащие частицы ГА начинают корродировать согласно схеме:



Плотность тока анодного растворения серебра по реакции (11) может быть определена из уравнения:

$$i_a = i_0 e^{\frac{\alpha F \eta}{RT}}, \quad (13)$$

где i_0 – плотность тока обмена; α – коэффициент переноса; F – 96500 Кл/моль; η – перенапряжение анодного процесса.

Катодное восстановление серебра, растворенного в физиологической жидкости (например, в плазме крови), идет на предельном токе диффузии и плотность катодного тока отвечает соотношению:

$$i_k = \frac{4FDC_{\text{O}_2}}{\delta_D}, \quad (14)$$

где D – коэффициент диффузии; C_{O_2} – концентрация кислорода; δ_D – толщина диффузионного слоя.

В условиях коррозии внешний электрический ток отсутствует, а плотность тока коррозии составляет $i_c = i_a = i_k$, откуда следует, что:

$$i_c = i_0 \cdot e^{\frac{\alpha F \eta_c}{RT}} = \frac{4FDC_{\text{O}_2}}{\delta_D}, \quad (15)$$

где $\eta_c = E_c - E_p$ – коррозионное перенапряжение; E_c – потенциал коррозии; E_p – равновесный потенциал системы Ag/Ag⁺.

Коррозионный потенциал определяется при этом из соотношения:

$$E_c = E_p + \frac{RT}{\alpha F} \ln \frac{4FDC_{\text{O}_2}}{i_0 \delta_D}. \quad (16)$$

Концентрация растворенного серебра может быть определена по закону Фарадея:

$$C_0 = \frac{A_{\text{Ag}} i_c \tau}{h S_u F} = \frac{4A_{\text{Ag}} DC_{\text{O}_2} \tau}{h S_D S_u}, \quad (17)$$

где $A_{\text{Ag}} = 107,9$ г/атом – атомная масса серебра; h – ширина зазора между имплантатом и костью; S_u – площадь поверхности имплантата; τ – время контакта серебросодержащего гидроксиапатитового покрытия с физиологической жидкостью.

Катионы серебра Ag⁺ являются достаточно сильным окислителем при значении стандартного равновесного потенциала системы Ag/Ag⁺, равном $E_p^0 = 0,799$ В по н.в.э. [7]. Видимо, именно с этим связано их исключительно высокое бактерицидное действие, нижний порог которого оценивается величиной 10⁻⁹ г/л. Поэтому уже со времен Древнего Египта известно, что даже очень малые концентрации катионов серебра, образующиеся при коррозии металлического серебра, способны стерилизовать питьевую воду («серебряная вода») [3].

Вероятно, что антисептические свойства катионов серебра Ag⁺ связаны с их проникновением через биологические мембраны вегетативных форм микроорганизмов в их цитоплазму или с переносом Ag⁺ сквозь клетчатку оболочек споровых форм патологических микробов.

В первом случае можно предположить, что толщина биологической мембраны равна λ_1 (порядка 5-10 нм) при коэффициенте трансмембранной диффузии катионов Ag^+ равном D_1 (порядка 10^{-8} см²/с), а во втором – толщина оболочки составляет λ_2 и коэффициент диффузии Ag^+ в ней равен D_2 , причем $\lambda_1 \ll \lambda_2$ и $D_1 \gg D_2$.

Применяя модель «рыхлого квазикристалла» [8] для выражения цитоплазменной концентрации Ag^+ в случае вегетативных форм микроорганизмов, можно записать:

$$C_{\lambda_1} = \xi C_0 \cdot e^{-\frac{\lambda_1^2}{2D_1\tau}} \cdot e^{\frac{F\varphi_a}{RT}}, \quad (18)$$

где C_0 – концентрация Ag^+ в плазме крови; $\xi < 1$ – доля катионов Ag^+ , затрачиваемая на антисептику вегетативных патологичных микробов; φ_a – потенциал электрической асимметрии биологической мембраны таких микроорганизмов.

Последняя величина составляет [9]:

$$\varphi_a = \frac{RT}{F} \ln \frac{C_k(0)}{C_k(\lambda_1)}, \quad (19)$$

где $C_k(0)$ и $C_k(\lambda_1)$ – концентрации катионов калия K^+ в плазме крови и в цитоплазме микроба, соответственно.

При этом из-за работы мембранно-связанного фермента Na^+ , K^+ – АТФ-азы (Na^+ , K^+ – «насоса») $C_k(\lambda_1) \gg C_k(0)$ [9,10].

Подставляя φ_a из (19) и C_0 из (17) в (18), получаем:

$$C_{\lambda_1} = \frac{A_{Ag} D C_{O_2} \xi \tau C_k(0)}{h \delta_D S_u C_k(\lambda_1)} \cdot e^{-\frac{\lambda_1^2}{2D_1\tau}}. \quad (20)$$

Если C_{λ}^* – летальная концентрация Ag^+ в цитоплазме микроба, то выражение для летального времени контакта имеет вид:

$$\tau_1^* = \frac{\lambda_1^2}{2D_1} \cdot \left[\ln \frac{4A_{Ag} D C_{O_2} \xi \tau C_k(0)}{h \delta_D S_u C_{\lambda}^* C_k(\lambda_1)} \right]^{-1}. \quad (21)$$

Это трансцендентное уравнение может быть решено численными методами.

Если C_{M_1} – концентрация патологичных вегетативных микробов в вышеупомянутом зазоре между костью и имплантатом, то скорость гибели этих микроорганизмов под действием катионов серебра отвечает дифференциальному уравнению:

$$-\frac{dC_{M_1}}{d\tau} = k_1 \xi C_0 \quad (22)$$

с начальным условием $C_{M_1}(\tau = 0) = C_{M_1}^0$; k_1 – константа скорости гибели, которую можно определить из соотношения:

$$k_1 = \frac{C_{M_1}^0}{C_{M_1}^{\min}} \cdot \frac{1}{\tau_1^*}, \quad (23)$$

где $C_{M_1}^{\min}$ – минимальная безопасная концентрация патологичных вегетативных микробов, не вызывающая воспалительных осложнений.

Подставляя величину C_0 и интегрируя (22), получаем квадратичный закон антисептического действия Ag^+ на вегетативные микроорганизмы:

$$C_{M_1} = C_{M_1}^0 - \frac{2A_{Ag} D C_{O_2} k_1 \xi \tau^2}{h \delta_D S_u}. \quad (24)$$

Для спорных форм патологических микроорганизмов имеем следующее выражение цитоплазменной концентрации катионов Ag^+ :

$$C_{\lambda_2} = (1 - \xi) C_0 \cdot e^{-\frac{\lambda_2^2}{2D_2\tau}}, \quad (25)$$

где $1 - \xi$ – доля катионов Ag^+ , затрачиваемая на антисептику спорных патологических микроорганизмов.

Для оценки летального времени контакта спорного микроба с Ag^+ – содержащей плазмой крови получается:

$$\tau_2^* = \frac{\lambda_2^2}{2D_2} \left(\ln \frac{4A_{Ag}DC_{O_2}(1-\xi)\tau_2^*}{h\delta_D S_u C_\lambda^*} \right)^{-1} \quad (26)$$

– трансцендентное уравнение, разрешимое численными методами.

Если C_{M_2} – концентрация патологических спорных микробов в зазоре между костью и имплантатом, то скорость гибели этих микроорганизмов отвечает дифференциальному уравнению:

$$-\frac{dC_{M_2}}{d\tau} = k_2(1 - \xi) C_0 \quad (27)$$

с начальным условием $C_{M_2}(\tau = 0) = C_{M_2}^0$; k_2 – константа скорости гибели, которую можно определить из соотношения:

$$k_2 = \frac{C_{M_2}^0}{C_{M_2}^{\min}} \cdot \frac{1}{\tau_2^*}, \quad (28)$$

в котором $C_{M_2}^{\min}$ – минимальная безопасная концентрация спорных микробов.

Подставляя величину C_0 и интегрируя (27), получаем квадратичный закон антисептического действия Ag^+ на спорные микроорганизмы:

$$C_{M_2} = C_{M_2}^0 - \frac{2A_{Ag}DC_{O_2}k_2(1-\xi)\tau_2}{hS_D S_u}. \quad (29)$$

Влияние катионов серебра на функционирование остеокластов и остеобластов требует дополнительных лабораторных и клинических исследований.

Таким образом, серебросодержащие гидроксипатитовые покрытия внутрикостных титановых имплантатов должны представлять собой биоактивные остеоинтегрируемые покровные слои с пролонгированным антисептическим действием, основанным на медленной биокоррозии серебряных нанотрубок в порах напыленных частиц гидроксипатита, раздробленных плазменным термоударом. Содержание вегетативных и спорных форм патологических микроорганизмов в зазоре между костью и имплантатом убывает со временем по квадратичным законам и уменьшается с концентрацией растворенного в плазме крови кислорода.

В настоящее время совместно с сотрудниками кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии Саратовского государственного медицинского университета проводятся медико-биологические исследования образцов с серебросодержащими биоактивными покрытиями с целью установления их бактерицидного потенциала и безопасности для живых организмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баринов С.М. Биокерамика на основе фосфатов кальция / С.М. Баринов, В.С. Комлев; Институт физико-химических проблем керамических материалов. М.: Наука, 2005. 204 с.

2. Химическая энциклопедия: в 4 т. / под ред. И.Л. Кнунянца. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 1. 623 с.
3. Некрасов Б.В. Основы общей химии: в 2 т. / Б.В. Некрасов. М.: Химия, 1974. Т. 2. 688 с.
4. Третьяков Ю.Д. Твердофазные реакции / Ю.Д. Третьяков. М.: Химия, 1978. 360 с.
5. Фоменко Л.А. Физико-химические основы стимулированного фазообразования и миграционного переноса для электрохимических технологий в электронике приборов СВЧ и медицинских аппаратов: дис. ... доктора техн. наук / Л.А. Фоменко. Саратов, 2004. 392 с.
6. Протасова Н.В. Управление формообразованием и свойствами при плазменном напылении биокомпозиционных покрытий дентальных имплантатов: дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Протасова. Саратов, 2000. 209 с.
7. Добош Д. Электрохимические константы / Д. Добош. М.: Мир, 1980. 365 с.
8. Райгородский Ю.М. Форетические свойства физических полей и приборы для оптимальной физиотерапии в урологии, стоматологии и офтальмологии / Ю.М. Райгородский, Ю.В. Серянов, А.В. Лепилин. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2000. 268 с.
9. Биофизика / Ю.В. Серянов, Л.А. Фоменко, А.Н. Суркова, А.И. Варакин. Саратов: СГТУ, 2007. 162 с.

Лясникова Александра Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки» Саратовского государственного технического университета

Lyasnikova Aleksandra Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Material Engineering and High-performance Manufacturing Processes» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.01.09, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 541.135: 621.355

О.Г. Неверная, В.Н. Целуйкин, Н.Д. Соловьева, Г.В. Целуйкина

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ВЯЗКОЕ ТЕЧЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ CuSO_4

Определена удельная электропроводность концентрированных водных растворов CuSO_4 . Проведен расчет динамической вязкости и энергии Гиббса активации вязкого течения для данных электролитов. С точки зрения структурных превращений проанализированы концентрационные зависимости указанных характеристик.

Водные растворы, структуры, вязкое течение, электропроводность.

O.G. Nevernaya, V.N. Tseluykin, N.D. Solovyova, G.V. Tseluykina

CONDUCTIVITY AND VISCOUS FLOW OF AQUEOUS SOLUTIONS OF CuSO_4

Conductivity of concentrated aqueous solutions of CuSO_4 has been defined. Dynamic viscosity and Gibbs activation energy of viscous flow were calculated

for these electrolytes. The concentration dependences of these characteristics were analyzed in terms of structural transformations.

Water solutions, structures, viscous flow, conductivity.

Введение

Структурные изменения, происходящие в водных растворах под действием растворенных электролитов, имеют большое значение для многих физических и химических процессов. Несмотря на многочисленные исследования, до сих пор отсутствует структурная модель растворов электролитов. Раствор представляет собой сложную равновесную химическую систему, которая образована растворителем, растворенным веществом и продуктами их взаимодействия. Изучение природы таких систем состоит в установлении характера взаимодействия растворенного вещества и растворителя. Одними из наиболее важных свойств растворов, характеризующих внутреннее трение жидкости, энергию взаимодействия частиц и структурные превращения, которые происходят при изменении концентрации и температуры, являются динамическая вязкость и удельная электропроводность. Определение вязкости жидкостей при атмосферном давлении, как правило, не вызывает затруднений. Более серьезные трудности возникают при обсуждении экспериментальных значений с целью выявления структурных изменений в растворах под действием концентрации компонентов и температуры. Однако сделать достаточно строгие выводы о структурных изменениях в жидкостях, на основании только данных о вязкости, затруднительно. Поэтому существует несколько подходов к интерпретации данных по вязкости электролитов [1, 2]. Один из них основан на использовании теории Эйринга [3], позволяющей рассчитать активационные характеристики вязкого течения. Изначально эта теория была создана для чистых жидкостей, однако впоследствии ее основные положения были распространены и на растворы. В настоящей работе данный подход использован при анализе вязкости водных растворов сульфата меди, являющегося основным компонентом сульфатных электролитов осаждения меди и сплавов на ее основе.

Методика эксперимента

Рабочие растворы готовили весовым методом на основе дистиллированной воды и перекристаллизованных реактивов марки «х.ч.». Измерения проводились в диапазоне температур от 20 до 50°C. Заданную температуру поддерживали с помощью термостата. Удельную электропроводность определяли при помощи кондуктометра «Эксперт 002» с датчиком УЭП-Н-С 223.

Для расчета динамической вязкости (η , сПз) использовали соотношение:

$$\eta = \nu \cdot \rho,$$

где ν – кинематическая вязкость, сСт; ρ – плотность, г/см³.

Кинематическая вязкость определялась с помощью вискозиметра ВПЖ-4 с диаметром капилляра 0,56 мм (ГОСТ 10028-81). Плотность – пикнометрическим методом. Погрешность измерений составляла 0,2-0,4%. Расчет критерия Кохрена [4] показал, что результаты эксперимента воспроизводимы.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Катионы меди, так же как и анионы SO_4^{2-} , обладают свойством положительной гидратации: они оказывают на структуру растворителя упорядочивающее действие, уменьшая подвижность ближайших к ним молекул воды. При одинаковом структурном влиянии катиона и аниона будет наблюдаться их взаимное всаливание (оводнение) [5]. Кроме того, анионы SO_4^{2-} могут располагаться в полостях без заметного искажения структуры воды, при этом две молекулы воды в решетке замещаются двумя атомами кислорода тетраэдра аниона, а два его других атома кислорода занимают две примыкающие полости. Будучи сильно гидрати-

рующимися, сульфат-ионы образуют с молекулами воды короткие водородные связи и в растворах, их содержащих, возможно появление ассоциатов $\text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ с переводом молекулы воды в полость [6]. В результате совокупного действия стабилизирующих факторов зависимости удельной электропроводности от концентрации имеют прямолинейный ход во всем изученном интервале температур (рис. 1).

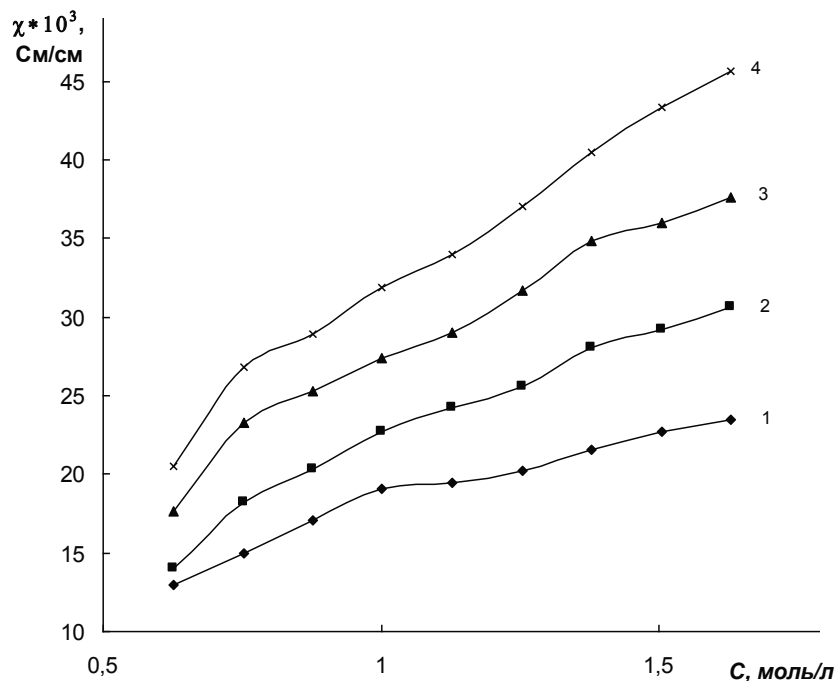


Рис. 1. Концентрационные зависимости удельной электропроводности для растворов CuSO_4 при температурах, °C: 20 (1); 30 (2); 40 (3); 50 (4)

Однако взаимодействие катионов меди с диполями воды приводит к ослаблению, а при увеличении концентрации и к разрушению водородных связей в структуре растворителя. При этом происходит образование гидратированного иона $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$. Конкурирующее действие разрушающих и стабилизирующих факторов отражается на концентрационной зависимости динамической вязкости изучаемых растворов (рис. 2). В интервале концентраций от 0,6 до 1,0 моль/л вязкость меняется неравномерно: на кривых наблюдается спад, независимо от температуры. Увеличение концентрации сульфата меди до 1,12 моль/л приводит к резкому возрастанию динамической вязкости. Очевидно, это связано с новым структурированием в растворе, когда все молекулы воды переходят в ближнее окружение ионов, т.е. достигается граница полной гидратации. Незначительное изменение вязкости при дальнейшем увеличении концентрации электролита до 1,25 моль/л свидетельствует об упорядочивании структуры раствора. Некоторый спад вязкости при последующем росте концентрации, проявляющийся с увеличением температуры, может быть обусловлен перераспределением молекул воды между катионами и анионами. Координационные числа ионов Cu^{2+} и SO_4^{2-} равны шести [7], однако гидратация катионов энергетически более выгодна [8]. Рост вязкости раствора при увеличении содержания сульфата меди более 1,40 моль/л, видимо, связан с формированием новой структуры, элементами которой выступают гидратированные ионы (полиионная структура).

Поскольку вода является ассоциированной жидкостью, вязкое течение сопровождается деформацией структуры, на которую требуются затраты энергии. Энергетические и структурные изменения при гидратации характеризуют суммарные изменения энергии Гиббса и определяются химической структурой раствора [8]. Концентрационная зависимость динамической вязкости должна соотноситься с изменением энергетических затрат процесса вязкого течения [2]. Поэто-

му представляло интерес сравнить влияние концентрации на динамическую вязкость и энергию Гиббса активации вязкого течения изучаемых растворов. Расчет свободной энергии активации вязкого течения проводился в рамках теории Эйринга [3] по соотношению:

$$\Delta G_{\eta}^* = RT \ln \frac{\nu \bar{M}}{h N_A},$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; \bar{M} – средний молекулярный вес ($\bar{M} = \sum M_i N_i$, M_i и N_i – молекулярные массы и весовые мольные доли компонентов раствора); h – постоянная Планка; N_A – число Авогадро.

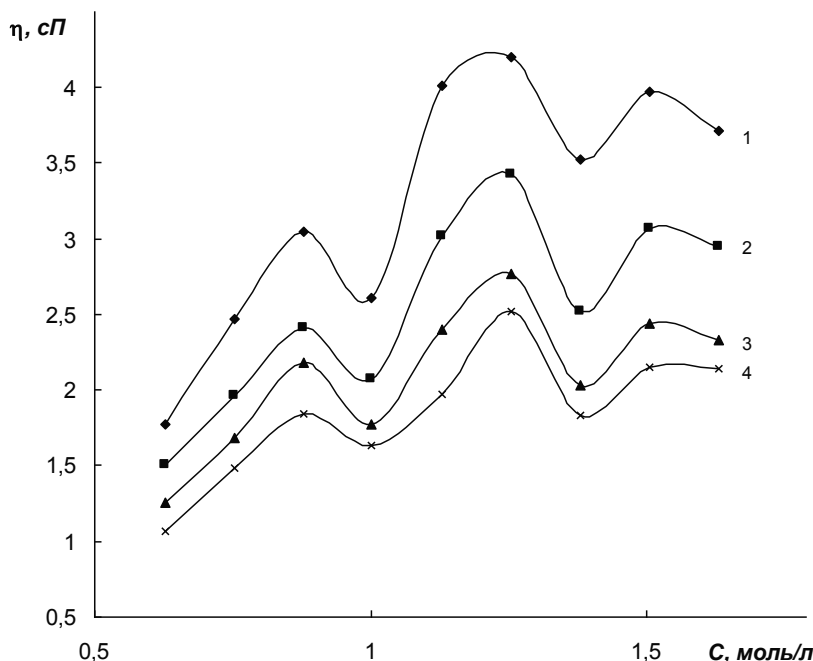


Рис. 2. Концентрационные зависимости динамической вязкости для растворов CuSO_4 при температурах, °C: 20 (1); 30 (2); 40 (3); 50 (4)

Энергия активации вязкого течения ΔG_{η}^* , (кДж/моль) водных растворов CuSO_4

$t, ^\circ\text{C}$	Концентрация, моль/л								
	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	1,38	1,50	1,63
20	39,89	40,98	41,60	41,69	42,49	42,68	42,36	42,66	42,64
30	40,85	41,79	42,43	42,27	43,24	43,63	42,97	43,47	43,52
40	41,72	42,79	43,58	43,23	44,07	44,52	43,83	44,33	44,35
50	42,62	43,82	44,54	44,33	44,97	45,70	44,96	45,41	45,55

Значения энергии Гиббса активации вязкого течения водных растворов сульфата меди приведены в таблице. Очевидно, изменение свободной энергии активации вязкого течения обусловлено превращениями, происходящими в растворе: дестабилизация структуры сопровождается снижением ΔG_{η}^* , структурирование – её возрастанием. Формирование полиионной структуры сопровождается возрастанием и стабилизацией ΔG_{η}^* .

Таким образом, характер изменения динамической вязкости и свободной энергии активации вязкого течения растворов сульфата меди с увеличением концентрации и температуры свидетельствует о сложных структурных превращениях в изучаемых растворах, сопровождающихся разрушением структуры растворителя, гидратацией ионов, формированием новой полиионной структуры в концентрированных растворах, близких к насыщению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эрдеи-Груз Т. Явления переноса в водных растворах / Т. Эрдеи-Груз. М.: Мир, 1976. 596 с.
2. Гринева О.В. Использование мольной вязкости и энергии Гиббса при анализе вязкости молекулярных жидкостей и их бинарных растворов / О.В. Гринева, Е.Ю. Кораблева // Журнал физической химии. 1998. Т. 72. № 4. С. 657-661.
3. Глесстон С. Теория абсолютных скоростей реакций / С. Глесстон, К. Лейдлер, Г. Эйринг. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1948. 583 с.
4. Тюрин Ю.Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров. М.: ИНФРА-М, 1998. 528 с.
5. Парфенюк В.И. Некоторые структурно-термодинамические аспекты сольватации индивидуальных ионов / В.И. Парфенюк // Журнал структурной химии. 2001. Т. 42. № 6. С. 1139-1143.
6. Лященко А.К. Структурные особенности концентрированных водных растворов электролитов и их электропроводность / А.К. Лященко, А.А. Иванов // Журнал структурной химии. 1981. Т. 22. № 5. С. 69-75.
7. Лященко А.К. Структурные эффекты сольватации и строение водных растворов электролитов / А.К. Лященко // Журнал физической химии. 1992. Т. 66. № 1. С. 167-183.
8. Крестов Г.А. Термодинамика ионных процессов в растворах / Г.А. Крестов. Л.: Химия, 1984. 272 с.

Неверная Ольга Геннадьевна – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

Целуйкин Виталий Николаевич – кандидат химических наук, доцент кафедры «Физическая и органическая химия» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

Соловьева Нина Дмитриевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

Целуйкина Галина Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета

Nevernaya Olga Gennadyevna – Post-graduate student of the Department of «Technology of Electrochemical Productions» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

Tseluykin Vitaly Nikolayevich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Physical and Organic Chemistry» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

Solovyova Nina Dmitriyevna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Technology of Electrochemical Productions» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

Tseluykina Galina Vasilyevna – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Technology of Electrochemical Productions» of Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.10.08, принята к опубликованию 25.02.09

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.715

Е.С. Барышникова, В.А. Иващенко

СИСТЕМА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Предложен подход к построению системы ситуационного управления, позволяющей повысить эффективность функционирования стекольного производства за счет своевременного принятия управленческих решений по ликвидации ситуаций, приводящих к нарушению нормального хода технологических процессов.

Ситуационное управление, технологический процесс, стекольное производство, листовое стекло.

E.S. Baryshnikova, V.A. Ivaschenko

THE SYSTEM OF SITUATION CONTROL OF FLAT GLASS PRODUCTION

The method of construction of situation control system is suggested, that provide the opportunity to increase the efficiency of flat glass production by means of elimination of mishap situations.

Situation control system, technological process, glass production, flat glass.

Производственные процессы протекают в условиях, характеризующихся определенным диапазоном изменения параметров процессов, выход за которые означает появление внештатной (аварийной) ситуации, связанной с нарушением производственного регламента (всевозможные нарушения в ходе технологических процессов, выход из строя технологического оборудования, сбой по электропитанию и др.).

Усовершенствование вычислительной техники и программных средств обусловило дальнейшее развитие АСУ производством. Однако большинство этих систем по-прежнему не содержат задач управления в аварийных ситуациях.

В условиях современного производства остро стоит вопрос по созданию таких систем. Особенно актуально это для непрерывных промышленных производств, к которым относится стекольное производство, осуществляющее выпуск листового стекла [1, 2].

Трудности при идентификации возникающих в ходе производства стекла аварийных ситуаций связаны со сложностью объекта управления (ОУ) и условий его функционирования. При этом решения диспетчером должны приниматься оперативно, в реальном режиме

времени, так как задержка в реализации управляющих воздействий приводит к ощутимым экономическим потерям.

Все это делает невозможным применение для описания аварийных ситуаций на объектах стекольного производства классической теории управления, основанной на аппарате математических уравнений (алгебраических, дифференциальных, функциональных и др.), и формальных систем (логико-лингвистических моделей, основанных на языках, порождаемых контекстно-свободными и трансформационными грамматиками).

Решение данной проблемы для стекольных производств может быть получено на основе ситуационного управления [3], которое в отличие от классической теории позволяет осуществлять построение логико-лингвистических моделей, обеспечивающих высокую степень адекватности описания аварийных ситуаций, возникающих на ОУ.

В основу ситуационного управления положен язык, для формирования лексики которого требуются описания: ситуаций, возникающих на ОУ; процедур преобразования ситуаций; управлений (действий), осуществляемых в этих ситуациях.

В качестве основных компонентов языка выступают: понятия, имена, отношения и действия.

Словари понятий, имен и действий отражают все стороны функционирования ОУ, необходимые для решения поставленной задачи – управления в условиях аварийных ситуаций на объектах стекольного производства, приводящих к нарушению нормального хода технологических процессов. Эти словари полностью определяются семантикой предметной области.

Для формирования языка ситуационного управления в словаре понятий выделяются подмножества: $V=\{v_i\}$ – характеризующие обслуживающий персонал, $S=\{s_i\}$ – относящиеся к обслуживающим системам, $W=\{w_i\}$ – характеризующие ванну расплава, $G=\{g_i\}$ – касающиеся производимого продукта – стекла, $X=\{x_i\}$ – относящиеся к общим понятиям.

Словарь понятий имеет вид, представленный в табл. 1.

Кроме определенных выше понятий вводится подмножество понятий $V=\{v_i\}$, отражающих их свойства (оценки). Словарь этих понятий имеет вид, представленный в табл. 2.

Словарь отношений $R=\{r_i\}$, $i=1, \dots, N$ более универсален. Он имеет емкий стандартный набор отношений (общие отношения) [3]. Однако для решения поставленной задачи необходимо дополнить этот набор отношениями, специфическими для рассматриваемой предметной области (особые отношения).

В результате данный словарь примет вид, приведенный в табл. 3.

Основу описания ситуаций, возникающих на ОУ, составляет простая ядерная конструкция вида $(q \text{ у } z)$, где q, z – понятия или имена, а $у$ – некоторое отношение между ними или действие, осуществляемое над ними.

Если $у$ – отношение p , то z – имя, а если – e , то – оценка.

Если $у$ – отношение «мера-значение» (r_{10}), то q – «понятие-мера», а z – числовое значение.

Если $у$ – отношение «признак-значение» (r_8), то q – понятие-признак, а z – свойство (оценка).

После определения лексических компонентов языка осуществляется описание ситуаций на языке ситуационного управления. Перевод описания ситуаций с естественного языка на язык ситуационного управления выполняется лингвистическим процессором (см. рисунок).

Перевод описания ситуаций на язык ситуационного управления включает следующие этапы:

- определение морфологических и синтаксических характеристик для слов естественного языка (блоки морфологического и синтаксического анализа);
- синтаксический анализ, выявляющий синтаксическую структуру предложения (блок синтаксического анализа);

– семантический анализ, обеспечивающий контроль синтаксической правильности языковых конструкций (блок семантического анализа);

– передача описания ситуации в анализатор, определяющий класс, к которому она относится, и выдача сообщения о необходимом управлении в этой ситуации (блок прагматического анализа).

Таблица 1

Словарь понятий

Подмножества понятий	Обозначения	Понятия
Обслуживающий персонал	b_1	диспетчер
	b_2	механик

	b_{12}	слесарь
	b_{13}	служба КИПа
Обеспечивающие системы	s_1	видимость
	s_2	вода

	s_{12}	охлаждение
	s_{13}	питание
Ванна расплава	w_1	аккумулятор
	w_2	бортовой брус

	w_{41}	примыкание
	w_{42}	холодильник
Стекло	g_1	борт
	g_2	включение

	g_{20}	залипание
	g_{21}	налипание
Общие	x_1	количество
	x_2	вывод

	x_7	центрирование
	x_8	штатное положение

Таблица 2

Словарь свойств (оценок) понятий

Обозначения	Понятия
v_1	непостоянный (ая)
v_2	60°c
v_3	черный
...	...
v_{10}	стандартная (согласно режиму производства)
v_{11}	нерабочая

Таблица 3

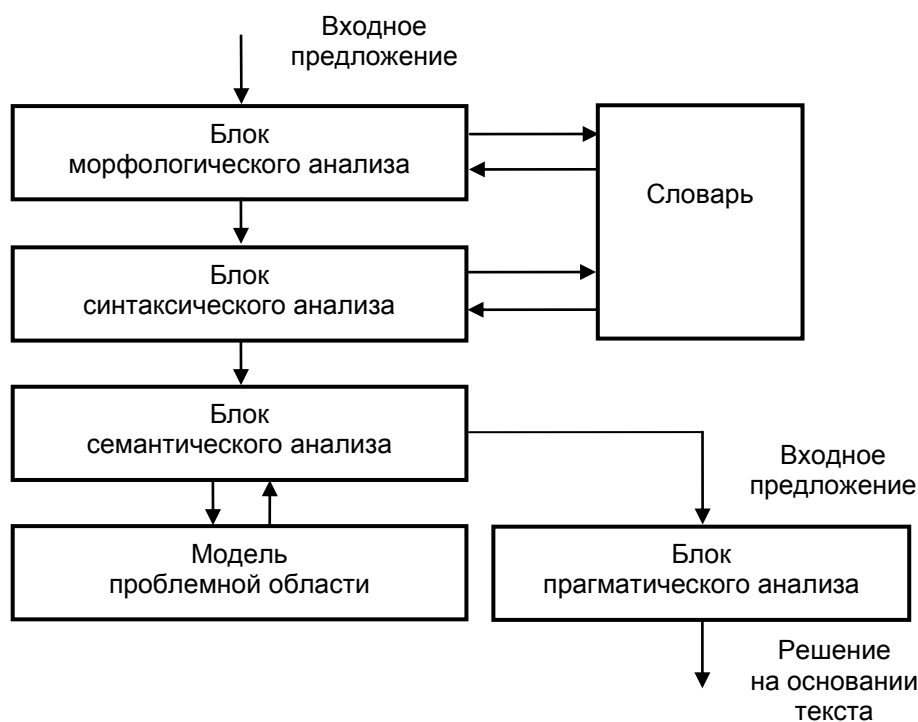
Словарь отношений

Вид отношений	Обозначения	Отношения
Общие	Γ_1	иметь

	Γ_8	признак-значение

	Γ_{10}	мера-значение

	Γ_{59}	находиться в состоянии
	ρ	иметь имя (обозначается через «р»)
	ϵ	иметь оценку (обозначается через «е»)
Особые	Γ_{60}	налипнуть на (к)
	Γ_{61}	намотаться на



Лингвистический процессор

Работа лингвистического процессора основана на системе продукционных правил, которые представляются в следующем виде:

- если g_3, g_4 , то $(g_3 \Gamma_7 g_4)$,
- если w_9, w_{28} , то $(w_9 \Gamma_6 w_{28})$,
- если s_2, s_9 , то $(s_2 \Gamma_7 s_9)$,
-
- если w_9, x_1 , то $(w_9 \Gamma_7 x_1)$,
- если x_1, v_5 , то $(x_1 \Gamma_8 v_5)$,
- если g_{13}, w_9 , то $(g_{13} \Gamma_{60} w_9)$

и так далее.

В качестве примера ниже приведено описание ситуации «Наматывание ленты стекла на растягивающее устройство».

В качестве признаков данной ситуации выступают:

- колебание высоты волны после звездочки растягивающего устройства,
- повышение температуры отходящей воды выше 60°C,
- изменение цвета звездочки растягивающего устройства с черного на темно-вишневый,
- налипание стекломассы к отдельным зубьям.

Описание ситуации имеет вид: $(g_3r_7g_4) \& (w_9r_6w_{28}) \& (g_3r_{55}w_9) \& (g_4r_8v_1), (s_2r_7s_9) \& (s_9r_{13}v_2), (w_9r_6w_{28}) \& (w_9r_7s_{10}) \& (s_{10}r_8v_3) \& (s_{10}r_8v_4) \& (v_4r_{23}v_3), (w_9r_6w_{28}) \& (w_9r_7x_1) \& (x_1r_8v_5) \& (g_{13}r_{60}w_9)$.

Аналогичным образом описываются и другие ситуации.

Для определения меры близости ситуаций необходимо ввести метрику. В данном случае эта метрика определяется на множестве признаков:

- совпадение простых ядерных конструкций в сложных ядерных конструкциях,
- совпадение понятий в простых ядерных конструкциях,
- совпадение отношений в простых ядерных конструкциях,
- количество простых ядерных конструкций в сложных ядерных конструкциях.

Совпадению перечисленных выше компонентов соответствует признак, равный 1, а несовпадению – 0.

Далее формируется множество ситуаций. Это осуществляется экспертом, хорошо знающим предметную область, или на основании анализа множества конкретных ситуаций, возникающих в процессе функционирования ОУ. Предпочтительнее первый случай, так как он в наибольшей степени гарантирует полноту описания.

Затем эти ситуации разбиваются на отдельные классы таким образом, чтобы каждому из них ставилось в соответствие необходимое типовое управленческое решение. Формирование классов производится на основе введенной метрики. При развитии ОУ множество ситуаций и управлений доопределяются.

После этого выполняется тестирование классов на предмет попадания в них ситуаций других классов. При наличии этого осуществляется корректировка классов и метрики.

При функционировании в реальных условиях производства лингвистический процессор подает описание ситуации, возникшей на ОУ, на вход анализатора, который определяет один или несколько наиболее близких этой ситуации классов. На основе полученной информации диспетчером принимается соответствующее решение, обеспечивающее перевод ОУ в штатный режим функционирования.

Данное управление играет роль трансформационного правила, переводящего текущую ситуацию в новую ситуацию. Правило формулируется в терминах языка ситуационного управления. Для этого к уже рассмотренным выше словарям понятий, отношений и свойств добавляется словарь действий (табл. 4).

В сформированном пространстве ситуаций с помощью управлений осуществляется переход от одной ситуации к другой таким образом, чтобы каждая новая ситуация в большей степени соответствовала штатному режиму.

Таблица 4

Словарь действий

Обозначения	Действия
d_1	ввести
d_2	вести
d_3	вывести
...	...
d_{34}	установить
d_{35}	устранить

Заключение

Одним из перспективных направлений в управлении, основанном на использовании содержательных сведений о ситуациях, возникающих на объектах управления, отражающих динамику их функционирования и учитывающих человеческий фактор при принятии окончательных управленческих решений, является ситуационное управление.

Системы ситуационного управления эффективны в условиях всевозможных нарушений в ходе технологических процессов, когда эти процессы не могут быть описаны количественно, что характерно для стекольных производств.

Система ситуационного управления, в основу построения которой положен предложенный подход, апробирована на тестовых данных, полученных с ОАО «Саратовстройстекло». Результаты апробации показали целесообразность ее включения в состав интегрированной АСУ объединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.И. Автоматизация производства листового стекла: учеб. пособие / Р.И. Макаров, Е.Р. Хорошева, С.А. Лукашин. М.: АСВ, 2002. 192 с.
2. Резчиков А.Ф. Математические модели для описания аварийных ситуаций на производственных объектах / А.Ф. Резчиков, Е.С. Курышова, В.А. Иващенко // Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении: материалы Международ. конф. Саратов: ИПТМУ РАН, 2002. С. 7-8.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. М.: Наука, 1986. 286 с.

Барышникова Елена Сергеевна – научный сотрудник Института проблем точной механики и управления, г. Саратов

Baryshnikova Elena Sergeyevna – Research Officer of the Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov

Иващенко Владимир Андреевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем точной механики и управления, г. Саратов

Ivaschenko Vladimir Andreyevich – Doctor of Technical Sciences, Senior Staff Scientist of the Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov

Статья поступила в редакцию 13.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 681.587.344.7

А.А. Калужный, В.П. Бирюков

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНОГО КВАДРАТИЧНОГО ГАУССОВА РЕГУЛЯТОРА КОМПОЗИТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ БИТУМНОГО ВИБРОДЕМПФИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Проводится синтез оптимального стохастического регулятора композитного коэффициента потерь битумного вибродемпфирующего материала и решается задача повышения его эффективности.

Математическая модель, формирующий фильтр, стохастический регулятор, амплитудная частотная характеристика замкнутой системы, спектральная плотность возмущения.

SYNTHESIS OF THE REGULATOR OF COMPOSITE FACTOR OF LOSSES OF THE BITUMEN MATERIAL FOR VIBRATION CLEARING

In article presents synthesis of an optimum stochastic regulator of composite factor of losses and the decision of a problem of increase of its efficiency.

Mathematical model, forming filter, stochastic regulator, peak frequency characteristic of the closed system, spectral density of indignation.

В работах [1-6] проведён анализ технологического процесса (ТП) получения битумных вибродемпфирующих материалов как объекта управления композитным коэффициентом потерь и предложен метод динамического механического анализа для определения композитного коэффициента потерь. В данной работе проводится синтез оптимального стохастического регулятора композитного коэффициента потерь (КПП) и решается задача повышения его эффективности.

1. Структурная схема исходного объекта управления. Структурная схема объекта управления композитным коэффициентом потерь технологической линии производства битумных вибродемпфирующих материалов, представленная на рис. 1, включает [1-4]:

– передаточную функцию по управляющему воздействию u_1 – расходу битума на приготовление партии битумной смеси в дискретном смесителе на КПП на выходе дискретного

смесителя [3,4]: $W_1(z) = \frac{x_1(z)}{u_1(z)} = k_1$; $k_1 = -0,0005$ ед. ККП/%;

– передаточную функцию по ККП непрерывного смесителя [1]

$$W_2(z) = \frac{x_2(z)}{x_1(z)} = \frac{0,094z + 0,067}{z^2 - 1,197z + 0,358};$$

– передаточную функцию звена технологических переходов после непрерывного смесителя до получения результатов лабораторного анализа [3]:

$$W_3(z) = \frac{x_3(z)}{x_2(z)} = \frac{1}{z^8}, \text{ транспортное запаздывание при определении КПП на системе}$$

Оберста составляет восемь партий;

– передаточную функцию формирующего фильтра возмущающего воздействия f , приведённого к выходу ОУ $W_f(z)$.

За период дискретизации принято время приготовления одной партии в дискретном смесителе.

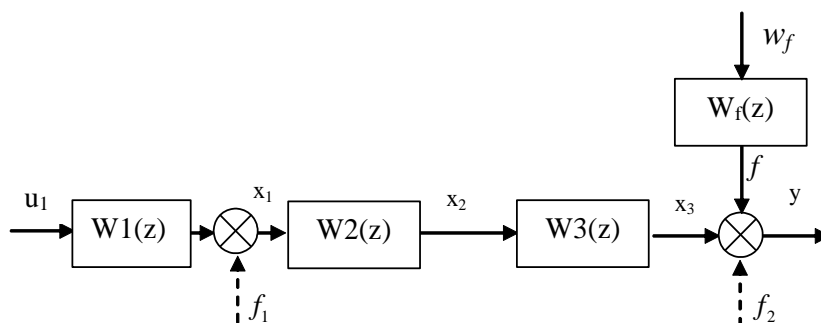


Рис. 1. Структурная схема объекта управления композитным коэффициентом потерь вибродемпфирующего материала

Математическая модель формирующего фильтра, полученная путём аппроксимации спектральной плотности возмущающего воздействия (рис. 2) дробно-рациональной функцией частоты, расщепления, факторизации и дискретизации, имеет вид:

$$W_f = \frac{0,0063 z^6 + 0,055 z^5 - 0,088 z^4 + 0,0078 z^3 + 0,036 z^2 + 0,012 z + 0,0008}{z^7 - 3,75 z^6 + 5,776 z^5 - 4,663 z^4 + 2,07 z^3 - 0,478 z^2 + 0,044 z - 2 \cdot 10^{-6}}$$

Дискретная расширенная модель объекта управления с учётом математической модели формирующего фильтра в А, В, С, D представлении имеет вид

$$\begin{cases} x[n+1] = Ax[x] + Bu[n], \\ y[n] = Cx[n] + Du[n]. \end{cases} \quad (1)$$

где x – вектор-столбец параметров состояния размерностью $n = 18$ (при разложении модели звена транспортного запаздывания в ряд Паде); u – вектор входных воздействий, включающий управляющее воздействие u_1 размерностью $r = 1$ и случайный процесс типа белый шум w_f размерностью $f = 1$ для формирования возмущающего воздействия; y – вектор управляемых переменных размерностью $m = 1$.

Матрицы математической модели объекта управления имеют вид:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,263 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,291 & -0,039 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,395 & 0,906 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,361 & -0,162 & -0,014 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,649 & 0,908 & -0,008 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,378 & 0,967 & 0,997 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,291 & -0,039 & 0 & 0,082 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,395 & 0,906 & 0 & 0,196 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,041 & -0,026 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,524 & 0,327 \end{vmatrix}$$

$$B^T = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -7,48E-05 & -0,00018 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,162 & 0,094 & 0,034 & 0 & 0 & 0,033 & 0,861 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,185 & 0 & 0,263 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 0 & 0 \end{vmatrix}$$

2. Синтез линейного квадратичного гауссова регулятора для исходного объекта управления. Для представленной математической модели объекта управления произведён синтез линейного квадратичного гауссова регулятора (ЛКГ – регулятора) [7-12]. При синтезе ЛКГ – регулятора ищется закон управления, минимизирующий функционал

$$J = E \sum_{n=0}^{N-1} (y_n^T \mathbf{R}_1 y_n + u_n^T \mathbf{R}_2 u_n), \quad (2)$$

где $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2$ – симметрические положительно определённые матрицы штрафа на текущее выходное состояние и текущее управление.

Оптимальное управление имеет вид

$$u_n = -\mathbf{K} x_n. \quad (3)$$

Здесь: \mathbf{K} – матрица линейного регулятора, определяемая выражением:

$$\mathbf{K} = (\mathbf{R}_2 + \mathbf{B}^T (\mathbf{C}^T \mathbf{R}_1 \mathbf{C} + \mathbf{P}) \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{C}^T \mathbf{R}_1 \mathbf{C} + \mathbf{P}) \mathbf{A}; \quad (4)$$

\hat{x} – оцениваемое состояние объекта, определяемое уравнением состояния наблюдающего устройства:

$$\hat{x}(k+1) = \mathbf{A}\hat{x}(k) + \mathbf{B}u(k) + \mathbf{F}(y(k) - \mathbf{C}\hat{x}(k) - \mathbf{D}\hat{x}(k)) \quad (5)$$

Здесь: \mathbf{F} – матрица внутренней обратной связи фильтра Калмана, определяемая выражением [7-12]:

$$\mathbf{F} = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{C}^T(\mathbf{V}_2 + \mathbf{C}\mathbf{S}\mathbf{C}^T)^{-1}, \quad (6)$$

\mathbf{P} , \mathbf{S} – симметричные положительно определенные ($n \times n$) матрицы, определяемые уравнениями Риккати:

$$\mathbf{P} = \mathbf{R}_1 + \mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{A} - \mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{B}(\mathbf{R}_2 + \mathbf{B}^T\mathbf{P}\mathbf{B})^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P}\mathbf{A}, \quad (7)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}^{-1} - \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{C}^T(\mathbf{V}_2 + \mathbf{C}\mathbf{S}\mathbf{C}^T)^{-1}\mathbf{C}\mathbf{S}\mathbf{A}^T + \mathbf{V}_1, \quad (8)$$

\mathbf{V}_1 , \mathbf{V}_2 – ковариационные матрицы белых шумов возмущающего воздействия и ошибки наблюдений.

При синтезе регулятора значения элементов матриц $\mathbf{R}_1 = |160000000|$, $\mathbf{R}_2 = |9|$ подбирались таким образом, чтобы диапазон изменения управляющего воздействия соответствовал допустимому коридору его изменения на технологическом процессе. Полученная матрица регулятора имеет вид:

$$\mathbf{K} = \begin{vmatrix} 0 & 6.9\text{E-}10 & 4.0\text{E-}10 & 1.6\text{E-}10 & 2.3\text{E-}11 & -4.4\text{E-}11 & -3.4\text{E-}10 & -2.3\text{E-}10 & -2115.4 & \dots \\ \dots & -536 & 0 & -1731.6 & -1304.9 & -262.2 & -174.9 & -26.8 & -39.5 & -54.2 \end{vmatrix}$$

Компьютерное моделирование работы системы управления показало, что для исходного объекта управления с транспортным запаздыванием 8 партий использование оптимального ЛКГ – регулятора позволяет снизить дисперсию выходной переменной только в 1,05 раза, т.е. эффективно управлять исходным объектом практически невозможно.

3. Повышение эффективности управления путем использования дополнительно управляющего воздействия. На первом этапе повышения эффективности управления исследовалась возможность увеличения мощности управляющих воздействий. При этом дополнительно к управлению по каналу расхода битума u_1 использовали управление по каналу расхода мела при приготовлении партий в дискретных смесителях u_2 . Синтез ЛКГ-регулятора для двух управляющих воздействий при допустимых на технологическом процессе ограничениях по дозировкам компонент позволил снизить дисперсию композитного коэффициента потерь в 1,14 раза.

4. Повышение эффективности управления путем смещения амплитудной частотной характеристики замкнутой системы в сторону больших частот. Дисперсия ошибки управления с обратной связью определяется выражением [13, 14]

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_e(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |K_f(j\omega)|^2 S_f(\omega) d\omega, \quad (9)$$

где $S_f(\omega)$ – спектральная плотность неконтролируемого возмущения; $S_e(\omega)$ – спектральная плотность ошибки управления; $K_f(j\omega)$ – характеристика замкнутой системы по возмущающему воздействию.

На основании теоремы об интеграле логарифма АЧХ [13], если модуль АЧХ замкнутой системы по возмущению на низких частотах меньше единицы, то на более высоких частотах модуль АЧХ обязательно станет больше единицы. Данное положение характерно и для анализируемой системы.

На рис. 2 представлены графики амплитудной частотной характеристики замкнутой системы по возмущающему воздействию и спектральных плотностей выходной переменной для разомкнутой и замкнутой системы. Здесь и далее для удобства анализа частота измеряет-

ся в количестве колебаний на период дискретизации. Синтезированная система в области частот $f_{нч} = 0 \div 0,03$ (кол/пер. дискр.) имеет коэффициент передачи по возмущающему воздействию меньше единицы $K_f(f) < 1$ и уменьшает влияние составляющих возмущающего воздействия с периодами $T_{нч} \geq 33$ партий. Для среднечастотных составляющих возмущений $f_{нч} = 0,03 \div 0,084$ (кол/ пер. дискр.) коэффициент передачи по возмущающему воздействию больше единицы $K_f(f) > 1$ и система влияние данных составляющих возмущающего воздействия увеличивает. При этом площадь под спектральной плотностью регулируемой переменной S_y в сравнении со спектральной плотностью возмущения S_f в области низких частот снижается, а в области средних частот увеличивается.

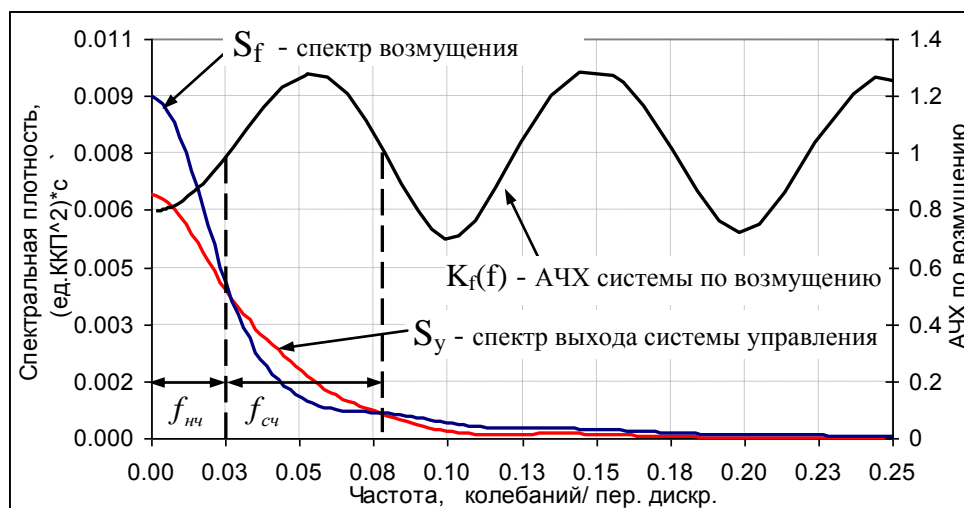


Рис. 2. Взаимное расположение спектральных плотностей и АЧХ замкнутой системы по возмущающему воздействию

На данном этапе разработки системы управления повышение эффективности управления производилось за счет расширения зоны эффективной работы системы управления путем смещения амплитудной частотной характеристики замкнутой системы по возмущающему воздействию $K_f(f)$ вправо по оси частот [14]. Для этого исследовалась зависимость эффективности системы от величины транспортного запаздывания по управляющему воздействию. Результаты синтеза и моделирования ЛКГ регуляторов для различных транспортных запаздываний, приведенные в табл. 1, показывают, что при выполнении ограничений по управляющим воздействиям снижение запаздывания до значений $\tau = 6, 3, 1$ партий позволяет снизить дисперсию ККП в 1,25, 1,6 и 2,1 раза, соответственно.

Таблица 1

Результаты моделирования работы системы управления при различных τ

Наименование параметра	Запаздывание τ (партии)			
	1	3	6	8
Диапазон изменения дозировок битума, u_1 , %	39,7	39,9	39,7	39,7
Диапазон изменения дозировок мела, u_2 , %	39,0	38,2	39,0	39,0
Частотный диапазон эффективной работы системы, кол/период дискретизации	$0 \div 0,064$	$0 \div 0,045$	$0 \div 0,032$	$0 \div 0,03$
Статический коэффициент передачи	0,575	0,614	0,686	0,8
Коэффициент эффективности $k_{эф} = s_f^2 / s_y^2$	2,1	1,6	1,25	1,14
Дисперсия возмущения s_f^2	3.57e-004	3.57e-004	3.57e-004	3.57e-004
Дисперсия выхода s_y^2	1.73e-004	2.24e-004	2.86e-004	3.1e-004

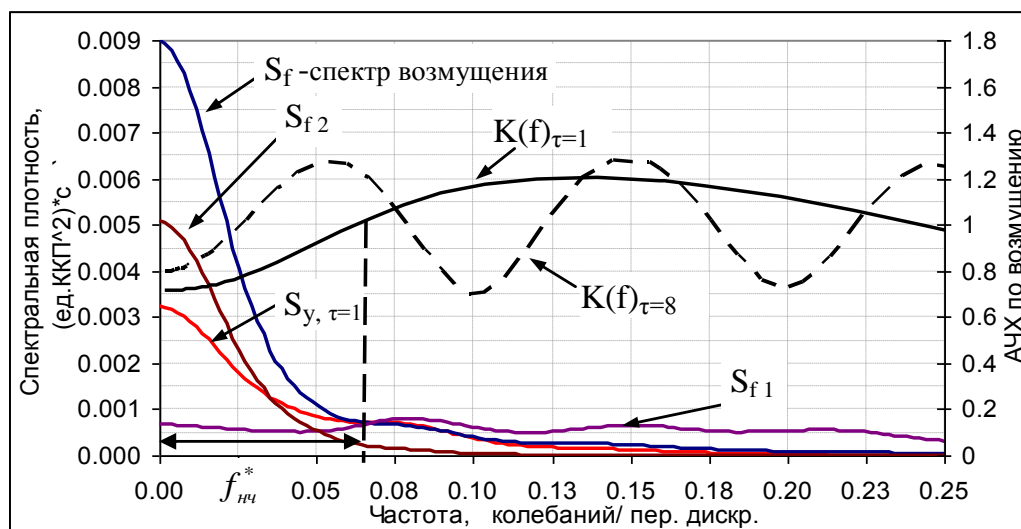


Рис. 3. Взаимное расположение спектральных плотностей и АЧХ замкнутой системы по возмущающему воздействию при различных значениях транспортного запаздывания

Для системы управления с транспортным запаздыванием $\tau = 1$ (что достигается использованием метода динамического механического анализа для определения КПП материала [5, 6]) частотная зона эффективной работы достигла ширины $f_{нч}^* = 0 \div 0,064$ (кол/ пер. дискр.) (рис. 3). При этом в зоне неэффективной работы системы $f_{сч} > 0,064$ (кол/ пер. дискр.) осталась меньшая часть мощности возмущающего воздействия. Кроме того, снижено значение коэффициента передачи системы по возмущающему воздействию в зоне эффективной работы системы управления.

5. Повышение эффективности системы управления путем устранения среднечастотных возмущающих воздействий. При снижении транспортного запаздывания от $\tau = 8$ до $\tau = 1$ уровень амплитудной частотной характеристики в области эффективной работы снизился от значений $0,8 \leq K_f \leq 1$ до значений $0,7 \leq K_f \leq 1$ (см. рис. 3). Дальнейшее снижение $K_f(f)$ в зоне эффективной работы системы ограничено наличием возмущений в среднечастотной зоне. Это связано с тем, что снижение коэффициента передачи системы по возмущению в области низких частот приводит к неизбежному его повышению в области средних частот [13, 14]. Поэтому для дальнейшего повышения эффективности системы управления необходимо, по возможности, устранить среднечастотные возмущения, действующие на систему управления по обратной связи. Устранение среднечастотных возмущений из контура обратной связи производится путем создания технологических фильтров, дополнительных систем стабилизации на предыдущих технологических переходах, а также путем перевода этих возмущений в контролируемые и обработки их по прямым каналам управления [14].

Для рассмотрения возможности уменьшения мощности среднечастотного возмущения из суммарного возмущающего воздействия, приложенного к выходу объекта управления (f на рис. 1), выделено возмущающее воздействие, генерируемое на стадии дискретного приготовления партий битумного материала (f_1 на рис. 1), и получена оценка его спектральной плотности (S_{f1} на рис. 3). Возмущающее воздействие f_2 , имеющее спектральную плотность $S_{f2} = S_f - |W_2 \cdot W_3|^2 S_{f1}$ (S_{f2} на рис. 3), приложено на стадии непрерывного смесителя.

Непосредственное измерение КПП на выходе дискретного смесителя трудоемко. Поэтому для оценки возмущения f_1 построено в отклонениях уравнение связи активной мощности электрического двигателя мешалки дискретного смесителя ΔP (кВт) со значением композитного коэффициента потерь битумной массы $\Delta K_{КП}$ (ед. ККП), находящейся в смесителе [4]

$$\Delta P = 400 \cdot \Delta KKP. \quad (10)$$

Введение косвенной оценки f_1 на выходе дискретного смесителя позволило построить канал компенсации данного возмущения. Структурная схема комбинированной системы управления приведена на рис. 4.

Устранение части среднечастотных возмущений из контура обратной связи позволило расширить зону эффективной работы ЛКГ-регулятора до $f_{нч} = 0 \div 0,08$ и снизить уровень амплитудной частотной характеристики замкнутой системы по возмущающему воздействию в области эффективной работы до значений $0,38 \leq K_f \leq 1$ (см. рис. 5).

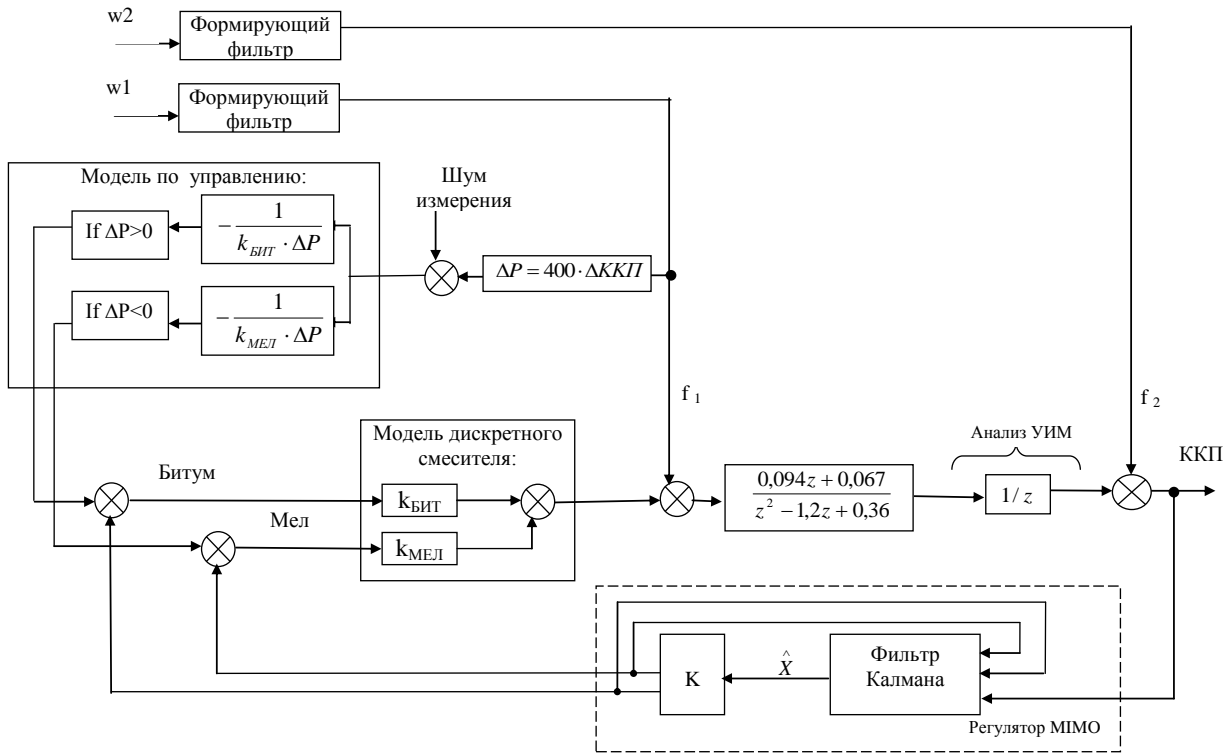


Рис. 4. Структурная схема комбинированной системы управления

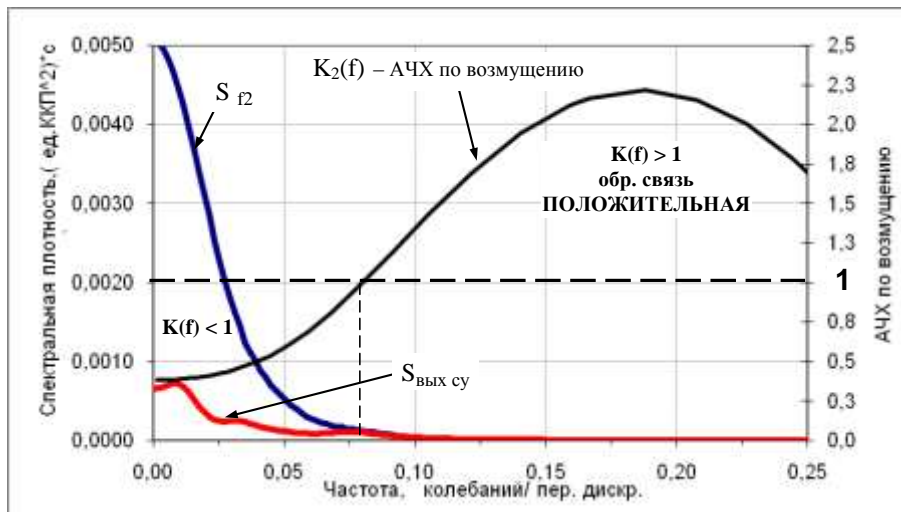


Рис. 5. АЧХ замкнутой системы, спектральные плотности возмущающего воздействия и ошибки управления

В табл. 2 приведены данные, показывающие повышение эффективности ЛКГ регулятора, настроенного на спектр S_{f_2} , по сравнению с ЛКГ регулятором, настроенным на полный спектр возмущающего воздействия S_f .

Таблица 2

Результаты моделирования работы ЛКГ регулятора

Наименование параметра	Настроенный на спектр S_f	Настроенный на спектр S_{f_2}
Диапазон изменения дозировок битума, % (u_1)	39,7	39,6
Диапазон изменения дозировок мела, % (u_2)	39,0	38,9
Частотный диапазон эффективной работы системы, (кол/пер.дискр.)	$0 \div 0,064$	$0 \div 0,08$
Статический коэффициент передачи	0,7	0,38
Коэффициент эффективности $k_{эф} = S_f^2 / S_y^2$	2,1	4,8
Дисперсия возмущения s_f^2	3,57e-004	1,74e-4
Дисперсия выхода s_y^2	1,73e-004	3,57e-5

Применение рассмотренных этапов повышения эффективности работы системы управления позволило снизить влияние возмущающих воздействий на композитный коэффициент потерь в 11,5 раза.

Выводы: Проведенный анализ систем управления для исходного и доработанного технологических процессов показал:

1. Невозможность построения эффективной системы управления для исходного объекта: построенный оптимальный ЛКГ регулятор для исходного объекта управления позволяет снизить дисперсию композитного коэффициента потерь всего в 1,05 раза, что явно недостаточно для обеспечения получения материала со стабильными характеристиками.

2. Возможность построения эффективной системы управления при целенаправленной доработке технологического процесса, как объекта управления с целью повышения его управляемости. При этом изменилась структурная схема объекта управления: уменьшилась величина транспортного запаздывания, введено возмущающее воздействие на выходе дискретного смесителя, которое путем введения косвенной оценки перешло в контролируемое возмущение.

3. Использование дополнительного управляющего воздействия по расходу мела, автоматизированной системы динамического механического анализа для оценки композитного коэффициента потерь с отбором материала на выходе буферной ёмкости [4, 5], оценки неустойчивости КПП на выходе дискретного смесителя и ее отработки по прямому каналу управления позволило расширить зону эффективной работы обратной связи системы с $f_0 = 0 \div 0,03$ колебаний на период дискретизации до $f^* = 0 \div 0,08$ колебаний на период дискретизации и добиться снижения дисперсии композитного коэффициента потерь в 11,5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калюжный А.А. Построение математической модели непрерывного смесителя битумных вибродемпфирующих материалов / А.А. Калюжный, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 92-95.

2. Калюжный А.А. Построение математической модели зависимости коэффициента потерь битумного вибродемпфирующего материала от его состава / А.А. Калюжный, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 8-12.

3. Калюжный А.А. Рассмотрение технологического процесса производства битумного вибродемпфирующего материала как объекта управления / А.А. Калюжный, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 13-18.
4. Калюжный А.А. Выбор параметров для управления качественными показателями вибродемпфирующих материалов / А.А. Калюжный, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 86-91.
5. Калюжный А.А. Автоматизированная система исследования упругодиссипативных характеристик методом динамического механического анализа / А.А. Калюжный // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 89-94.
6. Калюжный А.А. Сравнение методов исследования характеристик вибродемпфирующих материалов методом динамического механического анализа / А.А. Калюжный, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 95-101.
7. Квакернак К. Линейные оптимальные системы управления / К. Квакернак, Р. Сиван; пер. с англ. М.: Мир, 1977. 654 с.
8. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А.Г. Александров. М.: Высшая школа, 1989. 263 с.
9. Гудвин Г.К. Построение систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Греббе, М.Э. Сальго. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 911 с.
10. Остром К. Введение в стохастическую теорию управления / К. Остром; пер. с англ. М.: Мир, 1986. 324 с.
11. Рей У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей; пер. с англ. М.: Мир, 1983. 368 с.
12. Медведев В.С. Control System Toolbox / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. М.: Диалог МИФИ, 1999. 287 с.
13. Волгин В.В. Учёт реальных возмущающих воздействий и выбор критерия качества при сравнительной оценке качества регулирования тепловых процессов / Р.Н. Каримов, А.С. Корецкий // Теплоэнергетика. 1970. № 3. С. 25-30.
14. Бирюков В.П. Некоторые принципы построения систем управления технологическими процессами с высоким уровнем неконтролируемых возмущений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Бирюков. Л., 1991. 20 с.

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

Kalyuzhny Aleksey Aleksandrovich – Post-graduate student of the Department of «Technology and Automation of Machine-building» of Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (branch) of Saratov State Technical University

Бирюков Владимир Петрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления (филиала) Саратовского государственного технического университета

Biryukov Vladimir Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Technology and Automation of Machine-building» of Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (branch) of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 17.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 681.3

М.Ф. Степанов, К.А. Кулаков, П.Н. Глазков, А.А. Григорьев

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОМ АВТОМАТИЧЕСКИ СКОНСТРУИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Предлагается композиция методов нейроуправления и методов современной теории автоматического управления, заключающаяся в реализации закона управления системы автоматического управления с помощью конструируемой нейронной сети. Для получения необходимой информации об объекте управления используется блок идентификации. Проведенные исследования системы автоматического управления стабилизации движения самолета показали эффективность предлагаемого подхода.

Идентификация, автоматизация проектирования, нейроуправление.

M.F. Stepanov, K.A. Kulakov, P.N. Glazkov, A.A. Grigoryev

NEUROCONTROL WITH AN AUTOMATICALLY DESIGNED NEURAL NETWORK BASED ON IDENTIFICATION

The composition of neurocontrol methods and methods of the modern automatic control theory, consisting in realization of the control law of automated control system with a designed neural network is offered. For getting of the necessary information on the control object the identification block is used. The carried out researches of control system of stabilization of plane movement, have shown efficiency of the suggested approach.

Identification, computer-aided design, neurocontrol.

Возрастающее усложнение объектов управления в сочетании с ужесточением требований к точности и качеству управления привели к противоречию с традиционными подходами построения систем автоматического управления (САУ). Активно развиваемые методы нейроуправления направлены на использование для решения задач управления сложными объектами средств параллельной обработки информации, в качестве которых выступают искусственные нейронные сети (ИНС). При этом, как правило, используются такие особенности ИНС, как способность к обучению, высокое быстродействие и возможность выступать в роли универсального аппроксиматора, способного аппроксимировать любой закон управления с любой наперед заданной точностью. Однако применение методов нейроуправления не всегда приводит к успеху в связи с необходимостью достаточно длительного обучения нейронной сети.

Одним из путей решения всё более обостряющейся проблемы является предлагаемое в данной работе сочетание методов нейроуправления с традиционными методами современной теории автоматического управления (ТАУ):

- 1) синтез закона управления с использованием средств автоматизации проектирования (САПР) САУ;
- 2) реализация синтезированного закона управления с использованием ИНС.

Предлагаемый подход можно проиллюстрировать схемой, приведённой на рис. 1.

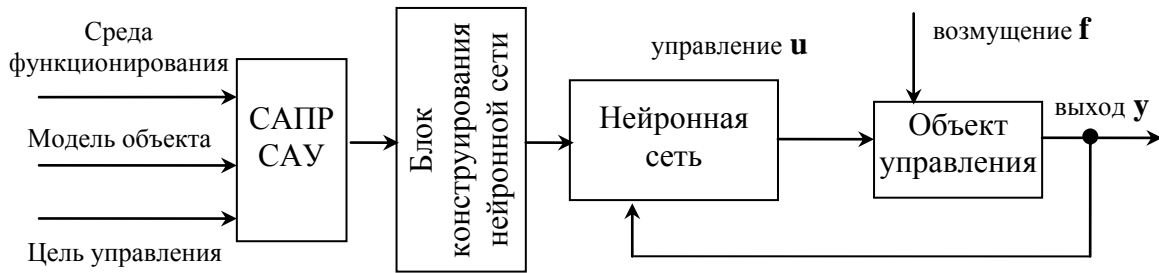


Рис. 1. Нейроуправление с помощью конструируемой нейронной сети

Наиболее достоверную математическую модель объекта можно найти аналитическим путем. Для этого необходимо располагать всесторонними сведениями об объекте (о конструкции, о законах, описывающих протекающие в нем процессы, об условиях функционирования и взаимодействия со средой). Однако часто из-за отсутствия достаточных данных получить решение задачи таким путем не удастся. Трудности применения аналитических методов возникают и при описании реальных объектов, процессы в которых имеют сложный характер. Поэтому актуальна проблема управления, когда параметры математической модели объекта управления заданы не полностью, либо не заданы вовсе. Методы нейроуправления, в принципе, могут обеспечивать достижение целей управления и при отсутствии априорной информации об объекте. Однако необходимое для этого обучение нейронной сети, включая и определение её конфигурации (количество скрытых слоёв, количество нейронов в каждом слое, связность, вид активационной функции и т.д.), может потребовать весьма значительного времени, не гарантируя нахождение оптимальных параметров. Подход, описанный выше, позволяющий снять проблему обучения нейронной сети, реализующей закон управления, предполагает использование априорной информации об объекте (математическая модель, например, в виде обыкновенных дифференциальных уравнений в форме Коши). Однако часто такая информация отсутствует. Поэтому предлагается в дополнение к данному подходу использовать блок идентификации, позволяющий получить недостающую информацию.

Структуру САУ, имеющей блок идентификации параметров объекта управления, можно представить на следующей обобщенной блок-схеме (рис. 2).

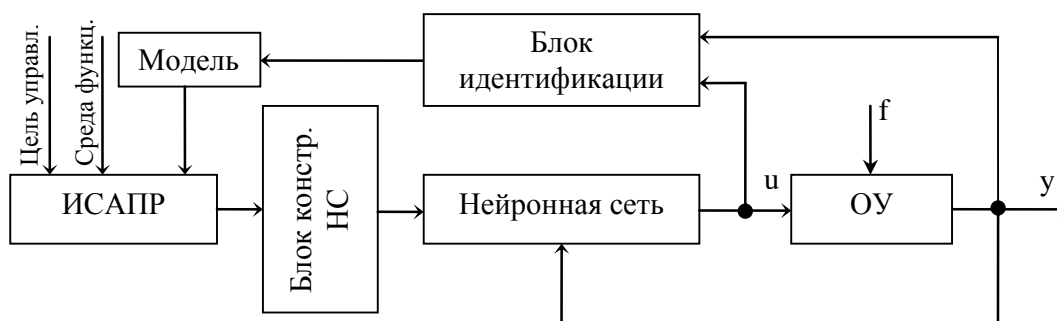


Рис. 2. Структура САУ с блоком идентификации

К выбору метода идентификации нельзя подойти однозначно, поскольку в самой постановке задачи заранее предполагается неопределенность (неполнота знаний об объекте, ограничения в наблюдениях объекта во времени, неточность измерения сигналов на входе и на выходе объекта и т. п.). Для решения задач параметрической идентификации разработано большое число методов, учитывающих особенности объектов, условия их функционирования, способ тестирования и математическую основу анализа экспериментальных данных, вид получаемых моделей и т. п.

Обычно при идентификации объектов управления возмущения и помехи измерений подразумеваются либо отсутствующими, либо случайными процессами типа «белый шум». Но на практике эти предположения часто не выполняются, и стандартные методы идентификации оказываются неточными. В таких случаях оправданным является применение методов, в которых возмущениями являются неизвестные, ограниченные функции, например, метод «конечно-частотной идентификации» [1], для многомерных объектов, статистические свойства внешних возмущений и помех измерений которых неизвестны, а сами возмущения и помехи являются произвольными ограниченными функциями.

Рассмотрим полностью наблюдаемый линейный стационарный объект, который в пространстве состояний может быть описан уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \mathbf{A}x + \mathbf{B}u + \mathbf{M}f, \\ y &= \mathbf{C}x + \mathbf{D}u + \mathbf{N}\eta, \end{aligned} \quad (1)$$

где $x(t) \in R^n$ обозначает вектор состояния; $u(t) \in R^m$ – вектор управлений; $y(t) \in R^r$ – вектор измеряемых выходов; $f(t) \in R^\mu$ – вектор возмущений; $\eta(t) \in R^\xi$ – помехи измерений, причем: $|f_i(t)| \leq f_i^*$ и $|\eta_i(t)| \leq \eta_i^*$, где f_i^* ($i = \overline{1, \mu}$) и η_i^* ($i = \overline{1, \xi}$) – заданные положительные числа. Матрицы параметров объекта \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} неизвестны и подлежат идентификации.

Чтобы определить оценки матриц \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} , в методе конечно-частотной идентификации, на вход объекта последовательно прикладываются m векторов испытательных сигналов

$$u_j(t) = \sum_{k=1}^{\mathfrak{G}} \rho_{jk} \sin \omega_k t \cdot e_j, \quad t_0 + (j-1)\tau \leq t < t_0 + j\tau, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где ρ_{jk} ($j = \overline{1, m}, k = \overline{1, \mathfrak{G}}$) – амплитуда k -й гармоники испытательного сигнала j -го эксперимента; ω_k ($k = \overline{1, \mathfrak{G}}$) – частота испытательного сигнала ($\omega_k \neq 0$ ($k = \overline{1, \mathfrak{G}}$) и $\omega_i \neq \omega_j$ ($i \neq j$)); e_j – j -й столбец единичной матрицы \mathbf{E}_m ; $\mathfrak{G} = \nu + 1$, ν – индекс наблюдаемости объекта; τ – длительность j -го эксперимента, причем $t_0 + m\tau = t_1$, определяемая из необходимых условий сходимости процесса идентификации.

Выходы $y_j(t)$ ($j = \overline{1, m}$) объекта подаются на входы фильтра Фурье, выходы которого дают оценки

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_{ijk} &= \alpha_{ijk}(\tau) = \frac{2}{\rho_{jk} \tau} \int_{t_0 + (j-1)\tau}^{t_0 + j\tau} y_{ji}(t) \sin \omega_k (t - t_0) dt, \\ \hat{\beta}_{ijk} &= \beta_{ijk}(\tau) = \frac{2}{\rho_{jk} \tau} \int_{t_0 + (j-1)\tau}^{t_0 + j\tau} y_{ji}(t) \cos \omega_k (t - t_0) dt, \end{aligned} \quad i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, \mathfrak{G}} \quad (3)$$

элементов α_{ijk} и β_{ijk} матриц $A_k = \text{Re}W(j\omega_k)$ и $B_k = \text{Im}W(j\omega_k)$ частотных параметров объекта, где $W(s)$ – его передаточная матрица.

Идентифицируемые матрицы \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} ищутся в канонической форме Люенбергера (с матрицами \mathbf{A}_K , \mathbf{B}_K , \mathbf{C}_K , \mathbf{D}_K соответственно), а блоки A_{ij}^K и c_{ij}^k ($i = \overline{1, r}, j = \overline{1, r}$) матриц \mathbf{A}_K и \mathbf{C}_K имеют специальную структуру:

$$A_{ii}^K = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & -a_{ii}^{(0)K} \\ 1 & 0 & \dots & 0 & -a_{ii}^{(1)K} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & -a_{ii}^{(2)K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -a_{ii}^{(\nu_i-1)K} \end{pmatrix}, \quad A_{i \neq j}^K = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & -a_{ij}^{(0)K} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -a_{ij}^{(1)K} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -a_{ij}^{(2)K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -a_{ij}^{(\nu_{ij}-1)K} \end{pmatrix}; \quad (4)$$

$$c_{ii}^k = (0 \ 0 \ \dots \ 1), \quad c_{i>j}^k = (0 \ 0 \ \dots \ -c_{ij}^k), \quad c_{i<j}^k = (0 \ 0 \ \dots \ 0);$$

в которой $v_{ij} = \min(v_i, v_j)$, v_j , $j = \overline{1, r}$ – индексы Кронекера.

Оценки коэффициентов матриц канонической формы Люенбергера определяются однозначно из решения системы частотных уравнений идентификации

$$\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=0}^{v_k-1} i_i^{(j)} b_{ki}^{(j)K} + i_i^{(v_k)} d_{ki}^K \right) + \sum_{i=1}^r \sum_{j=0}^{\tilde{v}_{ki}-1} h_i^{(j)} a_{ki}^{(j)*} = -h_k^{(v_k)}, \quad k = \overline{1, r}, \quad (5)$$

в которой $\tilde{v}_{ki} = \min(v_k, v_i)$ при $k < i$ и $\tilde{v}_{ki} = \min(v_k + 1, v_i)$ при $k > i$, а столбцы

$$i_i^{(j)} = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}(j\omega_1)^j \operatorname{col}_i E_m \\ \operatorname{Im}(j\omega_1)^j \operatorname{col}_i E_m \\ \operatorname{Re}(j\omega_2)^j \operatorname{col}_i E_m \\ \operatorname{Im}(j\omega_2)^j \operatorname{col}_i E_m \\ \vdots \\ \operatorname{Re}(j\omega_\xi)^j \operatorname{col}_i E_m \\ \operatorname{Im}(j\omega_\xi)^j \operatorname{col}_i E_m \end{bmatrix} \quad \text{и} \quad h_i^{(j)} = \begin{bmatrix} -\operatorname{Re}[(j\omega_1)^j \operatorname{col}_i (A_1^T + jB_1^T)] \\ -\operatorname{Im}[(j\omega_1)^j \operatorname{col}_i (A_1^T + jB_1^T)] \\ -\operatorname{Re}[(j\omega_2)^j \operatorname{col}_i (A_2^T + jB_2^T)] \\ -\operatorname{Im}[(j\omega_2)^j \operatorname{col}_i (A_2^T + jB_2^T)] \\ \vdots \\ -\operatorname{Re}[(j\omega_\xi)^j \operatorname{col}_i (A_\xi^T + jB_\xi^T)] \\ -\operatorname{Im}[(j\omega_\xi)^j \operatorname{col}_i (A_\xi^T + jB_\xi^T)] \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Условия окончания процесса идентификации могут быть выражены следующими неравенствами:

$$\begin{aligned} a_{ij}^{(k)K}(\tau+T) \div a_{ij}^{(k)K}(\tau) &\leq \varepsilon_a, & k = \overline{0, v_{ij}-1}, \quad i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, r}, \\ b_{ij}^{(k)K}(\tau+T) \div b_{ij}^{(k)K}(\tau) &\leq \varepsilon_b, & k = \overline{0, v_i-1}, \quad i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, m}, \\ c_{ij}^K(\tau+T) \div c_{ij}^K(\tau) &\leq \varepsilon_c, & i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, r}, \\ d_{ij}^K(\tau+T) \div d_{ij}^K(\tau) &\leq \varepsilon_d, & i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c, \varepsilon_d$ – заданные числа, а « \div » – символ отношения: $a \div b = |a - b| / b$, если $b \neq 0$, либо $a \div b = |a|$, если $b = 0$.

Далее идентифицированная модель объекта управления может быть использована для построения закона управления и его реализации с помощью конструируемой нейронной сети. Современные САПР САУ способны решать задачи синтеза закона управления, как автоматизированно, так и автоматически. В первом случае пользователь САПР САУ – инженер-проектировщик обязан указать в той или иной форме последовательность действий по решению поставленной задачи. Во втором случае задача ставится непроцедурно, т.е. без указания последовательности действий по ее решению. При этом необходимая последовательность действий автоматически формируется самой САПР САУ на основе имеющихся у неё знаний о методах решения задач ТАУ [2].

В связи с бурным развитием ТАУ, расширением классов управляемых объектов, огромным разнообразием методов ТАУ, для инженера-проектировщика наиболее предпочтительным оказывается применение САПР САУ, способных решать задачи в непроцедурной постановке. Непроцедурно поставленные задачи решаются методами искусственного интеллекта, применение которых требует адекватного решения четырех проблем:

- 1) формализация знаний о методах решения задач проблемной области (в нашем случае – о методах решения задач анализа и синтеза САУ);
- 2) адекватное представление знаний;
- 3) эффективный механизм представления действий;
- 4) удобные средства выполнения действий, позволяющих получить результат решения задачи.

Системы, основанные на знаниях, традиционно относят к интеллектуальным, а поэтому и САПР САУ, способные решать непроцедурно поставленные задачи, называют интеллектуальными САПР САУ.

К таковым относится система ИНСТРУМЕНТ-3м-И [3]. Функционирование системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И базируется на концепции автоматического решения задач ТАУ:

- 1) формализация знаний о методах решения задач синтеза и анализа САУ в виде модели множества формализованных задач (ММФЗ) ТАУ;
- 2) построение планирующей подсистемы в виде системы автоматического доказательства теорем, представляющей собой прикладную систему исчисления секвенций;
- 3) использование планирующих искусственных нейронных сетей (ПИНС) в качестве механизма поиска вывода в формальных аксиоматических системах, порождающего план решения задачи на проблемно-ориентированном языке ИНСТРУМЕНТ-ОП, поддерживающем парадигму «правила ЕСЛИ-ТО»;
- 4) построение исполнительной подсистемы в виде пакета прикладных программ, управляемого интерпретатором планов на языке ИНСТРУМЕНТ-ОП.

Модель множества формализованных задач ТАУ представляет собой триаду $M_0 = \langle \Pi, D, O \rangle$, где $\Pi = \{p_1, \dots, p_\pi\}$ – множество формализованных обобщений моделей компонентов САУ, называемых предметами, обладающих свойствами $p_j \in P_i \subseteq \wp = \{\rho | \rho \in \{\text{истина|ложь}\}\}$, характеристиками $h_j \in H_i \subseteq \mathcal{N} = \{\chi_k | \chi_k \in C^{N_k}\}$, где C – множество комплексных чисел; формами математических моделей $m_j \in \Psi_i \subseteq \mathcal{T} = \{\mu_1, \dots, \mu_\tau\}$; $D = \{d | d: \wp \cup \mathcal{N} \cup \mathcal{T} \rightarrow \wp \cup \mathcal{N} \cup \mathcal{T} \cup O\}$ – множество действий (операций), выполняемых над предметами, их свойствами и характеристиками; $O = \{o | o: \wp \cup \mathcal{N} \cup \mathcal{T} \rightarrow \{\text{истина|ложь}\}\}$ – множество отношений (предикатов), определенных на множествах предметов, их свойствах и характеристиках. Действия $d_i = \langle y_i, d_i, r_i, q_i \rangle \in D$ и отношения $o_i = \langle y_i, d_i, p_i \rangle \in O$ однозначно идентифицируются своими атрибутами: $y_i \in \wp \cup O$ – условия применимости, $d_i \in \wp \cup \mathcal{N} \cup \mathcal{T}$ – исходные данные, $r_i \in \wp \cup \mathcal{N} \cup \mathcal{T} \cup O$ – результаты действия, $q_i \in O$ – требования к результатам действия, $p_i \in \{\text{истина|ложь}\}$ – значение отношения.

В целях повышения эффективности используется многоуровневое представление знаний в виде трехранговой системы подмоделей, каждая из которых имеет трехуровневое представление знаний: $M = \langle M_1^1, \dots, M_m^1, M_1^2, \dots, M_n^2, M_1^3 \rangle$, $M_i^r = \langle M_{0,i}^r, M_{1,i}^r, M_{2,i}^r \rangle$, $M_{k,i}^r = \langle P_{k,i}^r, D_{k,i}^r, O_{k,i}^r \rangle$, где $P_{k,i}^r$ – множество предметов; $D_{k,i}^r$ – множество действий; $O_{k,i}^r$ – множество отношений подмодели $M_{k,i}^r$; т.е. i -й подмодели k -го уровня r -го ранга модели M . Многоуровневая модель M создается ученым-исследователем на основе модели M_0 посредством многоступенчатого обобщения знаний.

Планирующая подсистема является формальной логической системой, представляющей собой прикладную систему исчисления секвенций, называемую многоуровневой аксиоматической теорией автоматических решений, автоматически порождаемой на основе **модели множества формализованных задач** ТАУ.

Важнейшим недостатком формальных логических систем является «проклятие размерности», не позволяющее решать задачи практической сложности. Обойти его позволяют используемые в системе ИНСТРУМЕНТ-3м-И **планирующие искусственные нейронные сети** (ПИНС), состоящие из решающей искусственной нейронной сети (РИНС) и архивной искусственной нейронной сети (АИНС). Их функционирование координируется устройством синхронизации. Структура ПИНС приведена на рис. 3.

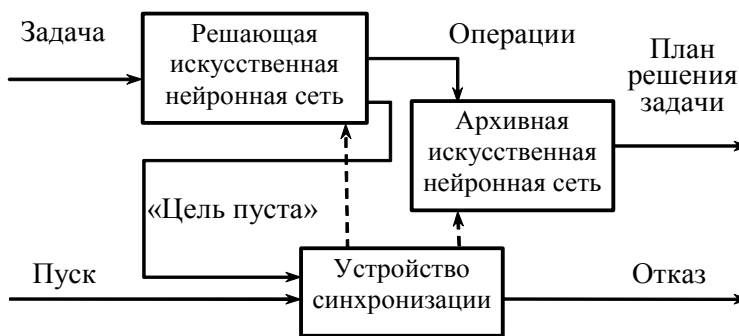


Рис. 3. Структура ПИНС

РИНС, представляющая собой трехслойную сеть, осуществляет обратный поиск решения поставленной перед ней задачи в формализме $T_{k,i}^r$ с сохранением построенного плана решения задачи в АИНС. РИНС является динамической искусственной нейронной сетью, выход которой изменяется во времени при постоянных входных сигналах. Начальное состояние всех нейронов РИНС является невозбужденным. Для задач, имеющих решение, отдельные нейроны выходного слоя кратковременно переходят в возбужденное состояние, что запоминается в АИНС для последующего включения в план решения задачи. Состояние нейронов одного из внутренних слоев нейронов РИНС сопоставляется с текущими целями поиска решения. Переход их в невозбужденное состояние приводит к формированию сигнала «Цель пуста», свидетельствующего, что решение поставленной задачи получено. В противном случае, по истечении отведенного на поиск решения времени, вырабатывается отказ от решения.

Важнейшим достоинством ПИНС является наличие свойства массового параллелизма, позволяющее одновременно решать все подзадачи исходной задачи, формируя единый план решения, многократно повышая эффективность процесса поиска плана решения задачи, а, следовательно, и решения задачи в целом. На пути использования нейронных сетей всегда необходимо решать две проблемы: предварительного обучения сети и интерпретации полученных результатов. В ПИНС обе проблемы решены в силу конструктивных особенностей.

Различие в принципах функционирования нейронных сетей и ЭВМ с традиционной архитектурой, на которых функционируют пакеты прикладных программ, поднимает вопрос о допустимости их объединения в единой системе. Для решения задач анализа и синтеза САУ применяются действия, связанные с выполнением большого количества вычислений по сложным алгоритмам. Их реализация с помощью нейронных сетей либо пока не выполнима, либо не целесообразна, поскольку лишит исследователя возможности самостоятельно расширять набор допустимых действий в соответствии с потребностями создаваемой им модели знаний ТАУ. В связи с этим в системе ИНСТРУМЕНТ-3м-И планирующие нейронные сети применяются лишь для отбора действий, релевантных решаемой задаче и представления их списка в виде плана на специально разработанном языке ИНСТРУМЕНТ-ОП. Окончательный же порядок выполнения действий определяется непосредственно *исполнительной подсистемой* - интерпретатором языка ИНСТРУМЕНТ-ОП. Это обусловило и синтаксис языка ИНСТРУМЕНТ-ОП, предложения в котором являются формой записи аксиом теории решений.

В конечном счете, после выполнения действий, предусмотренных построенным планом решения задачи, формируется результат решения задачи. В задачах синтеза это математическая модель управляющего устройства, например, в виде разностных уравнений:

$$\begin{aligned} u[(k+1)T] &= G_p x_p[(k+1)T] + H_p y[kT]; \\ x_p[(k+1)T] &= A_p x_p[kT] + B_p y[kT], \end{aligned} \quad (8)$$

где $x_p \in R^n$, $y \in R^r$, $u \in R^m$.

Реализация синтезированного закона управления в виде искусственной нейронной сети может осуществляться:

- 1) посредством обучения ИНС;
- 2) посредством автоматического конструирования ИНС [4].

Поскольку первый подход связан с большими затратами времени на обучение нейронной сети, здесь он рассматриваться не будет. В подходе на основе конструирования ИНС указанный дискретный закон управления может быть легко реализован с помощью нейронной сети типа Мадалин, что иллюстрирует рис. 4.

Таким образом, проблема обучения нейронной сети для достижения целей управления заданным объектом успешно решается на основе применения средств автоматического решения задач ТАУ.

Для иллюстрации использования блока идентификации в дополнение к управлению с помощью конструируемой нейронной сети приведем пример синтеза конкретной системы управления.

В качестве примера рассмотрим стабилизацию движения самолета по углу тангажа.

На рис. 5 обозначено: X – сила лобового сопротивления; Y – подъемная сила; G – сила тяжести; M_z – суммарный момент, приложенный к самолету относительно оси z ; P – сила тяги; θ_c – угол наклона траектории; α_c , ψ_c – углы атаки и тангажа; V – вектор скорости.

Бортовая система управления по каналу тангажа включает датчики информации, автопилот, выполняющий функцию регулятора, и привод рулей высоты. В качестве датчиков информации используются датчик углового положения (ДУП) и датчик угловой скорости (ДУС). Сигнал с ДУП в виде напряжения $U_{\psi c}$, пропорционального действительному значению угла тангажа самолета ψ_c , сравнивается с напряжением задатчика U_{ψ}^0 , так что на автопилот поступает напряжение U_{ψ} , пропорциональное отклонению ψ угла тангажа от требуемого значения. Сигнал с ДУС представляется напряжением U_{ω} , пропорциональным угловой скорости самолета $\omega_z = \dot{\psi}$, относительно поперечной оси z .

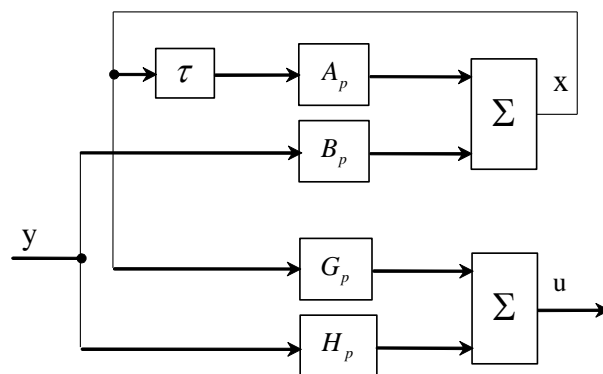


Рис. 4. Структура нейронной сети

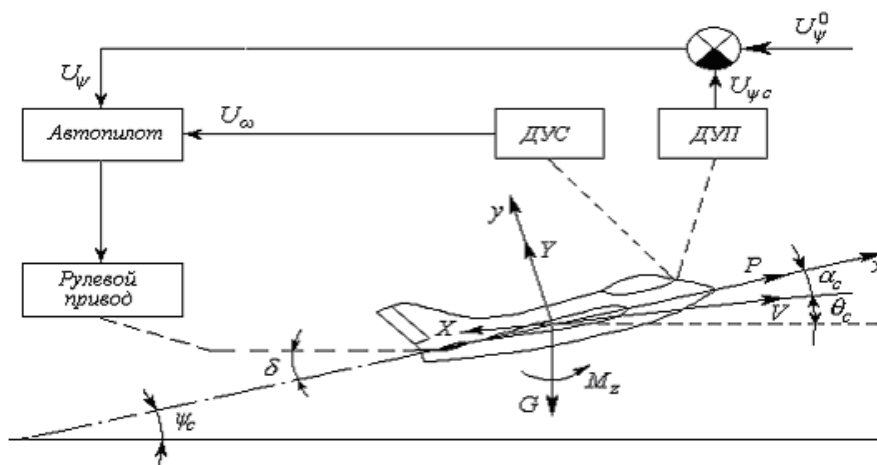


Рис. 5. Функциональная схема системы управления

Уравнения возмущенного движения самолета, линеаризованные относительно некоторого режима полета, имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\psi} = \omega_z, \\ \dot{\omega}_z = (-d_0 - d_{22})\omega_z + (d_0 d_{11} - d_{21})\alpha + b_2 K_{\text{ПР}} u, \\ \dot{\alpha} = -d_{11}\alpha + \omega_z, \\ y_1 = K_{\psi}\psi, \\ y_2 = K_{\omega}\omega_z, \end{cases} \quad (9)$$

где α – отклонение угла атаки от номинального значения; δ – отклонение угла поворота руля высоты; $d_0, d_{11}, d_{21}, d_{22}, b_2, g_1, g_2$ – параметры самолета, $\omega_z = \dot{\psi}$ – угловая скорость самолета относительно поперечной оси z .

Требования к системе управления:

$$\delta_{\psi}^* \leq 0,5 \text{ [град]}, \quad t_p^* \leq 3,0, \quad M^* \leq 1,1,$$

где δ_{ψ}^* – изменение угла тангажа, град; t_p^* – время регулирования, с.

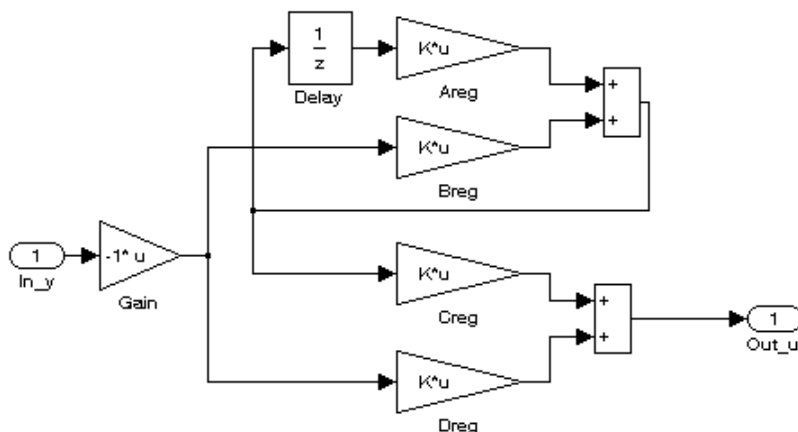


Рис. 6. Структурная схема регулятора

Исходные параметры системы нам неизвестны, поэтому для построения модели объекта необходимо идентифицировать данную систему. Блок идентификации получен с помощью автоматически конструируемой нейронной сети. Для этого воспользуемся пакетом Simulink системы MATLAB. Структурная схема системы приведена на рис. 6.

Результаты моделирования приведены на рис. 7.

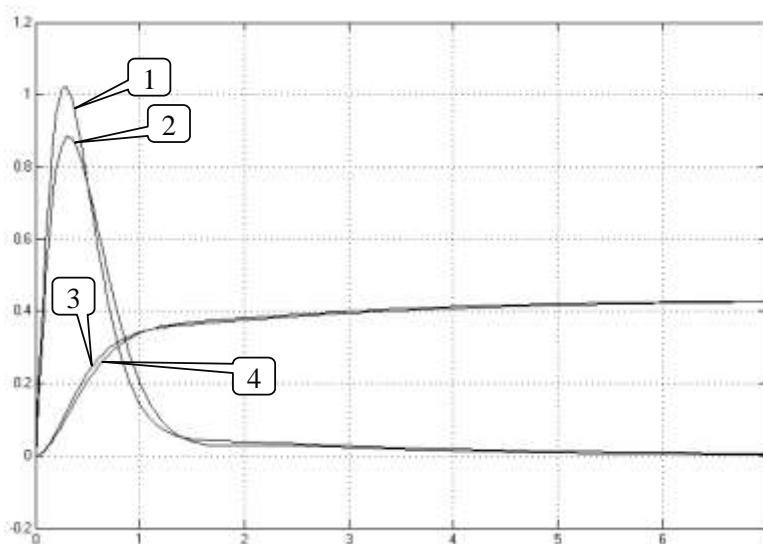


Рис. 7. Переходные процессы по углу тангажа: с нейрорегулятором (3), с традиционным регулятором (4) и угловой скорости: с нейрорегулятором (1), с традиционным регулятором (2) относительно поперечной оси

Очевидный выигрыш от реализации закона управления при помощи конструируемой нейронной сети заключается в отсутствии необходимости длительного обучения нейронной сети.

Предлагаемый в данной работе подход реализуется в рамках САС САУ «ИНСТРУМЕНТ-3М-И» [3]. При этом в базовую модель М множества формализуемых задач ТАУ введены элементарные проектные операции: 1) конструирование нейронной сети, реализующей заданный закон управления; 2) моделирование САУ, закон управления которой реализован в виде искусственной нейронной сети. Это позволило автоматически решать задачи синтеза закона управления и моделирования поведения замкнутой САУ с учётом реализации в виде нейронной сети [5]. Результаты моделирования совпадают с приведёнными.

Выводы

Предложен подход к автоматизации решения задач проектирования САУ, сочетающий автоматическое решение задач разработки и исследования закона управления САУ с автоматическим построением реализации синтезированного закона управления в виде искусственной нейронной сети.

Подход реализован в рамках известной системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И, а также в составе разрабатываемой распределённой системы автоматического решения задач ТАУ, что позволяет снабдить проектировщика САУ удобным и эффективным инструментарием для решения сложных, в том числе и с вычислительной точки зрения, задач проектирования современных систем управления сложными объектами произвольной физической природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.Г. Программное обеспечение конечно-частотной идентификации и адаптивного управления многомерными объектами / А.Г. Александров, Ю.Ф. Орлов, Л.С. Михайлова // Идентификация систем и задачи управления. SICPRO'2002. М.: Институт проблем управления РАН, 2002. С. 2531-2556.

2. Степанов М.Ф. Автоматическое решение формализованных задач теории автоматического управления / М.Ф. Степанов. Саратов: СГТУ, 2000. 376 с.

3. Степанов М.Ф. Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-3м-И (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-3м-И) / М.Ф. Степанов. Свидетельство Роспатента об офиц. регистр. программы для ЭВМ. № 2003612369. 2003.

4. Комарцова Л.Г. Нейрокомпьютеры / Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 400 с.

5. Об одном подходе к нейроуправлению с помощью конструируемой нейронной сети / П.Н. Глазков, М.Ф. Степанов, А.А. Григорьев, К.А. Кулаков // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ 21: сб. трудов XXI Междунар. науч. конф.: в 10 т. Саратов: СГТУ, 2008. Т. 2. С. 251-254.

Степанов Михаил Федорович –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Техническая кибернетика и информатика»
Саратовского государственного
технического университета

Кулаков Кирилл Андреевич –
аспирант кафедры
«Техническая кибернетика и информатика»
Саратовского государственного
технического университета

Глазков Павел Николаевич –
аспирант кафедры
«Техническая кибернетика и информатика»
Саратовского государственного
технического университета

Григорьев Андрей Александрович –
аспирант кафедры
«Техническая кибернетика и информатика»
Саратовского государственного
технического университета

Stepanov Mikhail Fyodorovich –
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department
of «Engineering Cybernetics and Informatics»
of Saratov State Technical University

Kulakov Kiril Andreyevich –
Post-graduate student of the Department
of «Engineering Cybernetics and Informatics»
of Saratov State Technical University

Glazkov Pavel Nikolayevich –
Post-graduate student of the Department
of «Engineering Cybernetics and Informatics»
of Saratov State Technical University

Grigoryev Andrey Aleksandrovich –
Post-graduate student of the Department
of «Engineering Cybernetics and Informatics»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 24.11.08, принята к опубликованию 25.02.09

П.Ю. Шумский

**ОЦЕНКА ОБЩЕГО КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА
НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ
СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Изложена актуальность и подчеркнута необходимость решения проблемы в области оценки общего коррозионного износа. Применение автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования позволяет производить оценку общего коррозионного износа и мониторинг состояния технологического оборудования на любом этапе его эксплуатации. Приведены результаты применения системы оценивания.

Технологическое оборудование, коррозионный износ, оценка состояния.

P.Yu. Shumsky

**GENERAL CORROSION DETERIORATION ESTIMATION
ON THE BASIS OF THE AUTOMATED SYSTEM ESTIMATION
OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT CONDITION**

The urgency and necessity of the decision of a problem in the field of an estimation of the general corrosion deterioration is stated. Application of the automated system of estimation of a condition of the process equipment allows making an estimation of the general corrosion deterioration and monitoring of a condition of the process equipment at any stage of its operation. Necessity, urgency and results of application of system of estimation are stated.

Manufacturing equipment, corrosion deterioration, condition estimation.

Технологическое оборудование является составным элементом объектов нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, нефтяной и газовой промышленности. Все эти объекты являются частью нашей повседневной жизни. В связи с этим в случае возникновения неполадок в работе технологического оборудования оно несет в себе потенциальную угрозу и может привести к гибели людей.

Технологическое оборудование создается на базе заданных критериев и установленных норм и правил. При введении его в эксплуатацию оно проходит ряд контролирующих и проверяющих мероприятий. В процессе эксплуатации происходит его разрушение, возникающее в результате воздействия циклических нагрузок, а также влияния окружающей среды (особенно в случае взаимодействия с химически активными средами). Ключевым последствием разрушения является износ технологического оборудования. На большинстве российских объектов нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, нефтяной и газовой промышленности присутствует оборудование, которое находится в длительной эксплуатации и уже подверглось разрушению. В связи с этим возникла острая необходимость диагностики и периодического контроля его состояния [1].

Одним из наиболее распространенных дефектов является общий коррозионный износ, его оценка затруднена по ряду причин. Данный вид деятельности в России является относи-

тельно новым, ему около 20 лет. Периодический контроль и диагностика состояния эксплуатируемого технологического оборудования с общим коррозионным износом в необходимом объеме затруднены, причинами этого являются:

- отсутствие необходимого количества профильных специалистов;
- сложность и трудоемкость проводимых процедур;
- отсутствие опыта и вспомогательных прикладных средств в данной области.

В результате возникают проблемы, связанные с неточностью выдаваемых экспертных заключений – происходит либо перебраковка (запрет на эксплуатацию оборудования с допустимыми дефектами), либо недобраковка (допуск в эксплуатацию оборудования с недопустимыми дефектами) технологического оборудования, что может привести к значительным экономическим или экологическим потерям.

На сегодняшний день уже существует достаточная теоретическая база для оценки и контроля состояния технологического оборудования, находящегося в эксплуатации и подвергшегося разрушению. В связи с этим результатом сотрудничества с лицензированными органами, специализирующимися на оценке пригодности к эксплуатации технологического оборудования на опасных производственных объектах, стали разработана и создана автоматизированная система оценивания состояния технологического оборудования (далее АСОСТО). Она является специализированным прикладным программным обеспечением, ориентированным на российские нормы и правила [2]. АСОСТО служит вспомогательным средством для осуществления диагностики и мониторинга состояния технологического оборудования с целью определения его пригодности к дальнейшей эксплуатации. В автоматизированную систему оценивания состояния технологического оборудования заложены основные геометрические формы технологического оборудования и наиболее распространенные типы разрушений, в том числе общий коррозионный износ.

Необходимость и актуальность использования АСОСТО при оценке общего коррозионного износа

Общий коррозионный износ является одним из наиболее часто встречающихся типов дефектов. Оценка состояния технологического оборудования с общим коррозионным износом является длительным и трудоемким процессом. Алгоритм проведения такого рода оценки является неизменным и включает в себя определенную последовательность действий:

- сбор данных об исследуемом объекте (условия эксплуатации, характеристики материала);
- измерение характеристик выявленного общего коррозионного износа;
- приведение исходных данных к формализованному виду;
- проведение трудоёмких и длительных математических расчетов;
- комплексный анализ результатов расчетов;
- формирование экспертного заключения.

Этап, на котором происходят математические расчеты, является наиболее проблемным. Это связано с тем, что при проведении расчетов «вручную» велика вероятность возникновения ошибки. Действия, связанные с выявлением ошибки, могут превратиться в длительный и трудоемкий процесс, влекущий за собой новый перерасчет ключевых показателей состояния технологического оборудования. Автоматизация этого этапа проведения оценки позволит избавиться от влияния отрицательного человеческого фактора.

Для оптимизации и автоматизации процедур оценивания необходимо применение АСОСТО. На начальном этапе она обеспечивает автоматизацию процессов сбора, ввода и систематизации данных об исследуемом объекте. Система определяет конкретный перечень необходимых данных и параметров в соответствии с выбранным уровнем оценки и геометрической формой исследуемого объекта. АСОСТО осуществляет проверку собранных данных об исследуемом объекте на приемлемость, а также проверку условий его эксплуатации и в случае неприемлемости информирует об этом пользователя. В методиках оценки общего

коррозионного износа заложен мощный математический аппарат. АСОСТО выполняет основную массу вычислений и предназначена для повышения качества и мобильности проводимых оценок, чем доказывает актуальность своего использования.

Основной целью применения АСОСТО является проведение технического диагностирования оборудования с определением возможности и сроков его дальнейшей эксплуатации. Ключевыми моментами такого диагностирования являются неразрушающий контроль и оценка остаточного ресурса на основании прочностных расчетов.

Методика, заложенная в АСОСТО, позволяет проводить оценку всех видов общего коррозионно-эрозионного износа металла (равномерного или неравномерного), при котором утонение стенки исследуемого объекта превышает или может превысить прибавку на коррозию, заложенную проектировщиком оборудования. Общий износ металла может быть как на внутренней, так и на внешней поверхности объекта / элемента. В АСОСТО заложены процедуры оценок, основанных на значениях точечных замеров толщины, либо с построением критического профиля толщины стенки.

На рис. 1 представлена блок-схема процедуры оценки общего коррозионного износа при помощи АСОСТО, где НТД – это нормативно-техническая документация.

В процессе проведения оценки общего коррозионного износа АСОСТО обрабатывает исходные данные и просчитывает все возможные и приемлемые варианты, заложенные в методику оценивания. Благодаря этому у эксперта появляется возможность получить максимально подробную общую картину о состоянии исследуемого объекта. Результатом вычислений АСОСТО является набор ключевых параметров состояния технологического оборудования, которое проходит контроль и проверку. Требования к значениям этих параметров формируются исходя из обязательных условий эксплуатации технологического оборудования и его предельных состояний. Исходя из результатов проверки ключевых параметров, формируется предварительное экспертное заключение о состоянии исследуемого объекта и степени общего коррозионного износа.

Результаты и преимущества применения АСОСТО при оценке общего коррозионного износа

В результате применения АСОСТО при оценке общего коррозионного износа эксперт получает возможность сохранения полученных результатов, распечатки предварительного экспертного заключения, либо корректировки исходных данных и оценочных критериев с целью оперативного повтора процедуры оценивания. Использование АСОСТО позволяет автоматически строить графики соотношений фактических толщин стенок исследуемого оборудования и их расчетной толщины (рис. 2).

Предварительное экспертное заключение (рис. 3), формируемое АСОСТО, является результатом комплексного анализа ключевых параметров исследуемого оборудования, требований условий эксплуатации и лимитирующих параметров. В нем представлены все возможные альтернативы и рекомендации по дальнейшим действиям.

Если результаты оценки показывают, что оборудование пригодно к эксплуатации в данных условиях, то допускается его дальнейшее использование при тех же значениях эксплуатационных параметров. В этом случае эксперту необходимо дополнительно разработать программы, определяющие объем, методы и периодичность работ по определению технического состояния оборудования в течение срока до следующего технического диагностирования. Если же по результатам оценки оборудование признано непригодным к эксплуатации, то в предварительном экспертном заключении будет содержаться информация о допустимых рабочих параметрах. Например, для оборудования, работающего под давлением, могут быть определены сниженные значения максимально допустимого рабочего давления и/или рабочей температуры. Приемлемость сниженных эксплуатационных параметров исследуемого оборудования определяется по согласованию эксперта и технических служб, ответственных за оборудование.

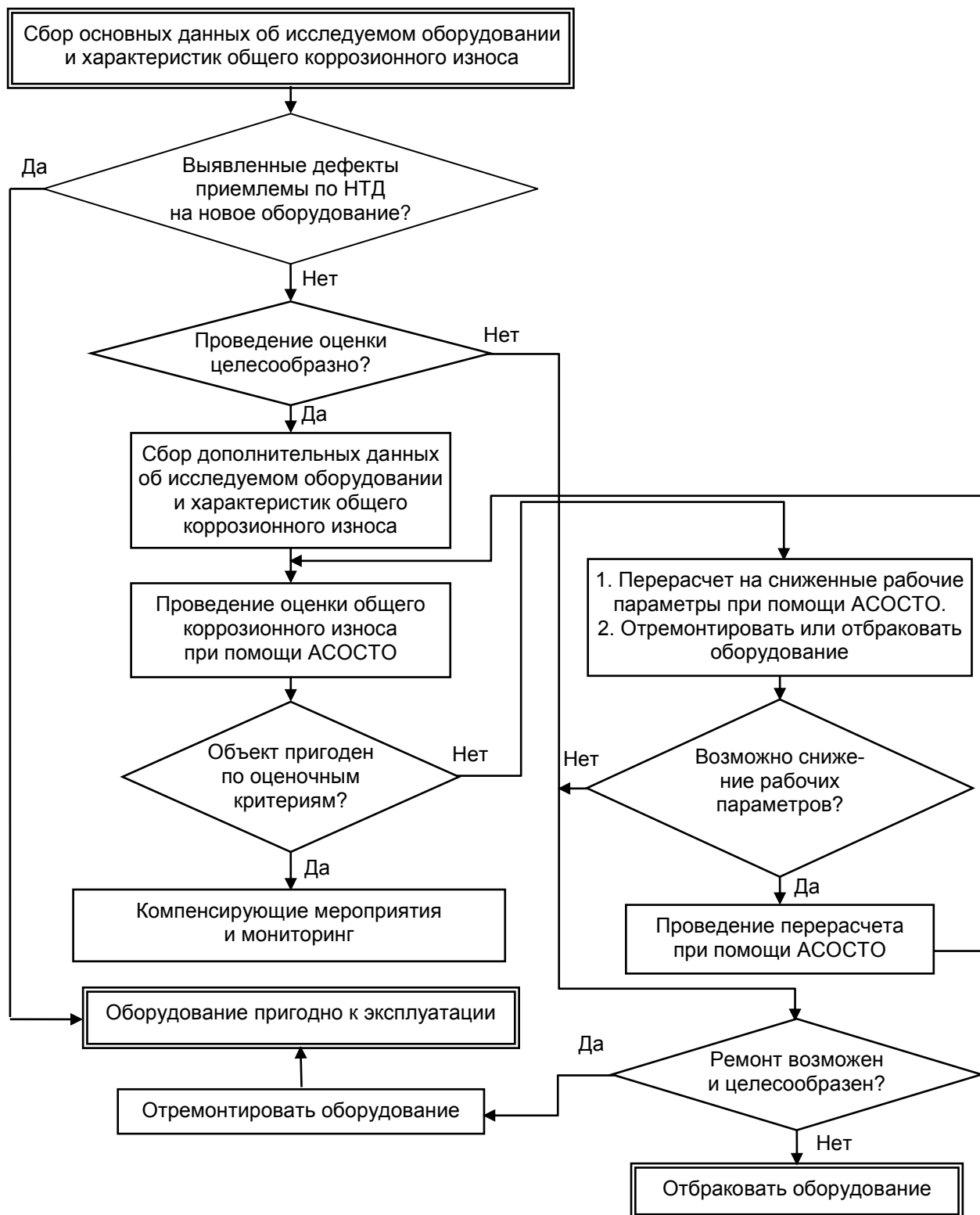


Рис. 1. Блок-схема процедуры оценки общего коррозионного износа при помощи автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования

Наличие в АСОСТО подсистемы контроля и оповещения о некорректных данных и/или некорректных действиях позволяет снизить до минимума вероятность их возникновения. Также система обладает возможностью частичной и полной загрузки данных.

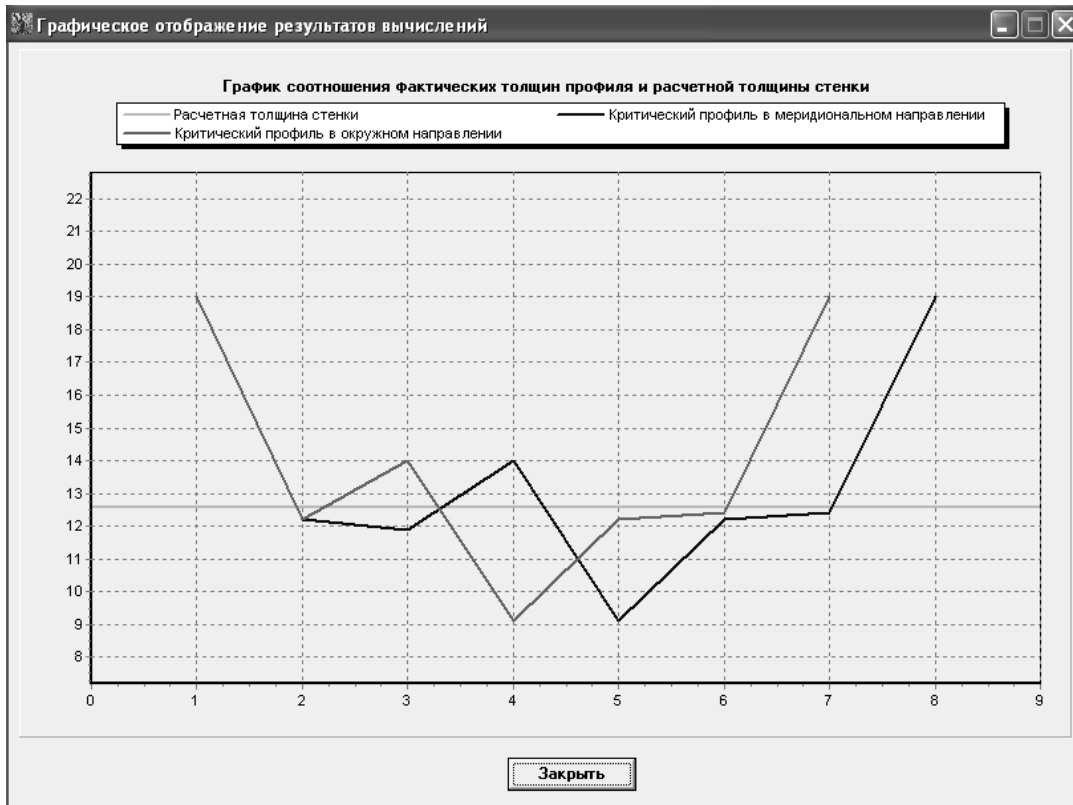


Рис. 2. Графическое отображение результатов вычислений

Для оценки повреждений использовать следующий метод оценки:

Рекомендации по итогам вычислений:

Условия, необходимые для дальнейшей эксплуатации конструкции:

- $(\langle S \rangle - ДБК) \geq S_p$
 $9,266 \geq 12,56$ - критерий **не выполнен!!!**
- $(S_{min_ф} - ДБК) \geq \max\{0,5 \cdot S_p, 2,5\}$
 $6,6 \geq 6,28$ - критерий выполнен

Результаты альтернативной проверки:

- Максимально допустимое рабочее давление > Разрешенное давление
 $1,531 > 2,9$ - критерий **не выполнен!!!**
- $(S_{min_ф} - ДБК) \geq \max\{0,5 \cdot S_p, 2,5\}$
 $6,6 \geq 6,28$ - критерий выполнен

Критерии 1-го уровня оценки не удовлетворены! Последующими действиями **могут быть**:

- Вывести объект из эксплуатации, отремонтировать или выполнить перерасчет на сниженные рабочие параметры.
- Скорректировать величину ДБК путем внедрения соответствующих компенсирующих мероприятий (защита от коррозии).
- Скорректировать коэффициент прочности сварного шва за счет проведения дополнительного контроля сварных соединений неразрушающими методами (ультразвуковым, радиографическим, акустико-эмиссионным).
- Выполнить 2-й или 3-й уровень оценки.

Максимально допустимое рабочее давление равно 1,531 МПа

График КПТ:

Рис. 3. Формирование предварительного заключения

Основным преимуществом АСОСТО является автоматизация процедур оценивания, что позволяет значительно сокращать время, затрачиваемое на сбор необходимых для оценки параметров и расчеты ключевых показателей обследуемого оборудования.

Выводы

В процессе эксплуатации у технологического оборудования появляется общий коррозионный износ. Степень износа необходимо контролировать и регулярно проводить техническое диагностирование. Вспомогательным средством для этого является автоматизированная система оценивания состояния технологического оборудования, которая дает возможность рассчитывать и оценивать состояние исследуемого объекта на любом этапе его эксплуатации.

Благодаря автоматизации процедур оценивания АСОСТО позволяет повысить уровень и качество проводимых оценок, за счет снижения вероятности возникновения ошибки. Исходя из предварительного экспертного заключения, выдаваемого АСОСТО и содержащего все возможные альтернативы дальнейших действий, эксперт имеет возможность определить наиболее эффективные и приемлемые на данный момент мероприятия в отношении обследуемого технологического оборудования. За счет автоматизации большинства расчетов при использовании АСОСТО происходит снижение трудозатрат на проведение экспертной оценки. Применение автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования позволяет свести к минимуму вероятность перебраковки или недобраковки, что приводит к сокращению материальных затрат на содержание оборудования или предотвращению нежелательных последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гетман А.Ф. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления / А.Ф. Гетман, Ю.Н. Козин. М.: Энергоатомиздат, 1997. 288 с.
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор СССР. М.: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.

Шумский Павел Юрьевич –
аспирант кафедры «Прикладная математика»
Волгоградского государственного
технического университета

Shumsky Pavel Yuryevich –
Post-graduate student
of the Department of «Applied Mathematics»
of Volgograd State Technical University

Статья поступила в редакцию 03.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.021, 519.876.2, 625.721.2, 65.01

А.А. Безродный

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА СЕТЕЙ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ

Существующие алгоритмы построения сетей автозаправочных станций нуждаются в уточнении применительно к современным условиям. Представленный алгоритм позволяет найти число АЗС, обеспечивающее перехват заданного транспортного потока в пределах улично-дорожной сети различного вида.

Автозаправочная станция, нефтепродуктообеспечение, сеть обслуживания, транспортный поток, алгоритм, моделирование, оптимизация, теория систем, принятие решений, проектирование и управление.

A.A. Bezrodny

OPTIMAL SIZE GAS STATION NETWORKS DETERMINATION ALGORITHM FOR DIFFERENT SIZE CITIES

Existed algorithms for gas station location should be developed for modern conditions. The algorithm permits to find a gas station network size providing catching of the needed transportation flow in different road network types.

Gas station, petroleum supply, service network, transportation flow, algorithm, simulation, optimization, system theory, decision-making, engineering and management.

Введение

Для обеспечения эффективного функционирования сетей АЗС необходима оптимизация как составляющих их элементов (отдельных АЗС, нефтебаз, каналов связи, систем управления и обеспечения), так и их в целом.

Известные математические модели решают задачи, связанные с размещением АЗС в местах максимальной плотности потока автотранспортных средств (АТС), транспортные и некоторые другие задачи [1]. Однако проблема взаимного влияния между АЗС сетей с точки зрения перераспределения потоков заявок в них остается не решенной.

В работе рассматривается алгоритм определения числа АЗС сети, перехватывающей заданный объем потока АТС, и обсуждаются полученные результаты.

1. Системный анализ сетей АЗС

Сеть АЗС представляет собой подсистему нефтепродуктообеспечения (НПО), выполняющую функции приема, хранения и отпуска нефтепродуктов и сопутствующих товаров (услуг) конечным потребителям. Основные свойства подсистемы представлены в таблице.

На рис. 1 приведена обобщенная структура существующих сетей АЗС. Приняты следующие обозначения: М, И и Ф – соответственно каналы передачи материальных, информационных и финансовых потоков; АЗС ⇒ Распределительные нефтебазы ⇒ Перевалочные нефтебазы ⇒ Терминалы и склады поставщиков ⇒ Система управления – уровни иерархии исследуемой подсистемы.

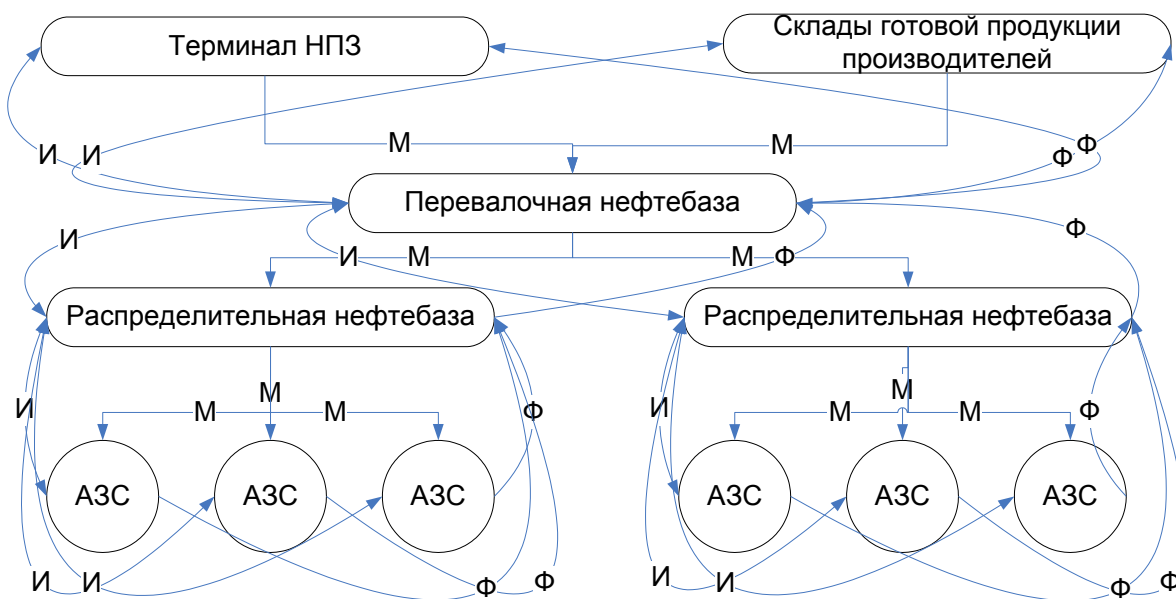


Рис. 1. Структура сети АЗС

Полагается, что процессы отпуска нефтепродуктов, сопутствующих товаров и оказания услуг аналогичны, что позволяет рассматривать один из указанных процессов.

Основные свойства сетей автозаправочных станций

Наименование	Содержательное описание	Компонент модели, функция
Автозаправочные станции	Реализация нефтепродуктов, сопутствующих товаров и услуг конечному потребителю	Точки стока элементов материальных и информационных потоков во внешнюю среду (потребителям); точки истока элементов информационных и финансовых потоков из внешней среды
Продукто-проводящая и информационная сети	Каналы транспорта ГСМ, сопутствующих товаров, информации и денежных средств	Средства переноса элементов материальных, информационных и финансовых потоков без изменения состояния
Терминалы НПЗ, склады товаров и услуг	Поставка ГСМ, товаров и компонент услуг для сети АЗС	Точки истока элементов материальных и информационных потоков из внешней среды

Наименование	Содержательное описание	Компонент модели, функция
Распределительные и перевалочные нефтебазы и склады сопутствующих товаров	Прием, хранение и выдача ГСМ и сопутствующих товаров на АЗС в объемах, соответствующих их производительности и спросу	Согласование графиков работы объектов различных уровней иерархии, формирование резервного запаса, демпфирование слабо прогнозируемых изменений объемов поставок и потребления внешней среды
Системы управления	Технические и организационные средства управления различных уровней иерархии	Реализация функций управления сбора и обработки информации, подготовки к принятию решения, принятия решения и обеспечения его исполнения

Примечание: ГСМ – горючесмазочные материалы; НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

2. Алгоритм реализации модели определения оптимального числа АЗС

При построении алгоритма принято, что АЗС (или площадки под их строительство) размещены в местах максимальной плотности потока АТС [1, 2].

На **этапе 1** осуществляется сбор информации о сетях АЗС.

1.1. Сбор информации об улично-дорожной сети (УДС) и сетях АЗС.

1.2. Задание допустимых отклонений, полученных при реализации модели.

1.3. Проверка наличия данных о характеристиках потока АТС, потребителях и элементарных актах отпуска нефтепродуктов для периодов времени, соответствующих их наибольшим изменениям, исходя из отношений следования «точные данные» \Rightarrow «данные АСУ АЗС и базы данных (БД) системы обслуживания по микропроцессорным картам» \Rightarrow «результаты имитационного моделирования и натурных наблюдений».

На **этапе 2** применяются известные математические модели [3, 4].

2.1. Среднее необходимое число АЗС сети для элемента УДС данного вида (малый или средний город) находится по методике определения потребности и размещения АЗС в отдельном экономическом районе [5] с использованием экспертных оценок и принятых рекомендаций (например, 1 АЗС на 1000 зарегистрированных АТС в США [6]).

2.2. Верхняя граница числа АЗС сети (и площадок под их строительство) определяется по модели размещения объектов в места максимальной плотности потока АТС.

2.3. Нижняя граница числа АЗС сети определяется числом объектов (площадок под их строительство), удовлетворяющих факторам размещения для соответствующих уровней (малый, средний и крупный город), принципам декомпозиции (город, микрорайон, загородные пути сообщения).

На **этапе 3** определяется взаимное влияние АЗС на величину перехвата потока АТС объектами одноименной сети.

3.1. Строятся зависимости (функции) показателей эффективности (доход, издержки, нереализованные варианты развития) подсистемы или ее компонент (число клиентов, карт, договоров, элементарных актов отпуска нефтепродуктов и т.п.) от числа АЗС для временных периодов, соответствующих их наибольшим изменениям, и находятся точки перегиба соответствующих функций.

3.2. При отсутствии указанной точки на следующем уровне декомпозиции осуществляется сбор информации, отражающей изменения показателей эффективности при создании и/или реконструкции АЗС или их сетей с точностью до элементарного акта отпуска нефтепродуктов. Если данная точка не найдена, осуществляются уточнение модели и переход к этапу 1.

3.3. Для мест максимальной плотности потока АТС, для которых выполняется п. 1.2, принимается решение о строительстве АЗС. В противном случае осуществляются уточнение модели, занесение данных в БД по АЗС и переход к п. 1.1.

На **этапе 4** выполняется проверка адекватности модели.

4.1. Осуществляется создание (реконструкция) АЗС сети для тестирования и проверки адекватности модели.

4.2. В случае отклонения результатов моделирования и реальных данных менее, чем на заданное значение (см. п. 1.2), модель считается адекватной и рекомендуется для дальнейшего применения (занесение информации в БД АЗС и переход к этапу 1).

4.3. В случае неадекватности модели осуществляются ее уточнение, занесение данных в БД АЗС и переход к п.1.1.

3. Результаты практического применения алгоритма

Выполнен анализ развития сетей АЗС эффективно функционирующего межрегионального предприятия НПО «Вертикально-интегрированная нефтяная компания» (ВИНК) в ряде малых и средних городов типичных регионов средней полосы РФ за период 2002-2006 гг. В качестве источника информации выбрана БД системы обслуживания по микропроцессорным картам, отражающая структуру распределения потребителей, динамику реализации нефтепродуктов и их распределение по видам. Анализ проведен для существующей сети из 10 АЗС, действующей системы безналичных расчетов (3 года) и системы обслуживания по микропроцессорным картам (1 год) (рис. 2-4).

Из рисунков видно, что развитие сети АЗС при монопольном положении на рынке среднего города на этапе насыщения (роста существующей сети АЗС) предполагает сохранение среднего числа АЗС, посещаемых клиентами, на уровне 8 ± 6 АЗС. При этом распределение потребителей по числу АЗС близко к экспоненциальному закону.

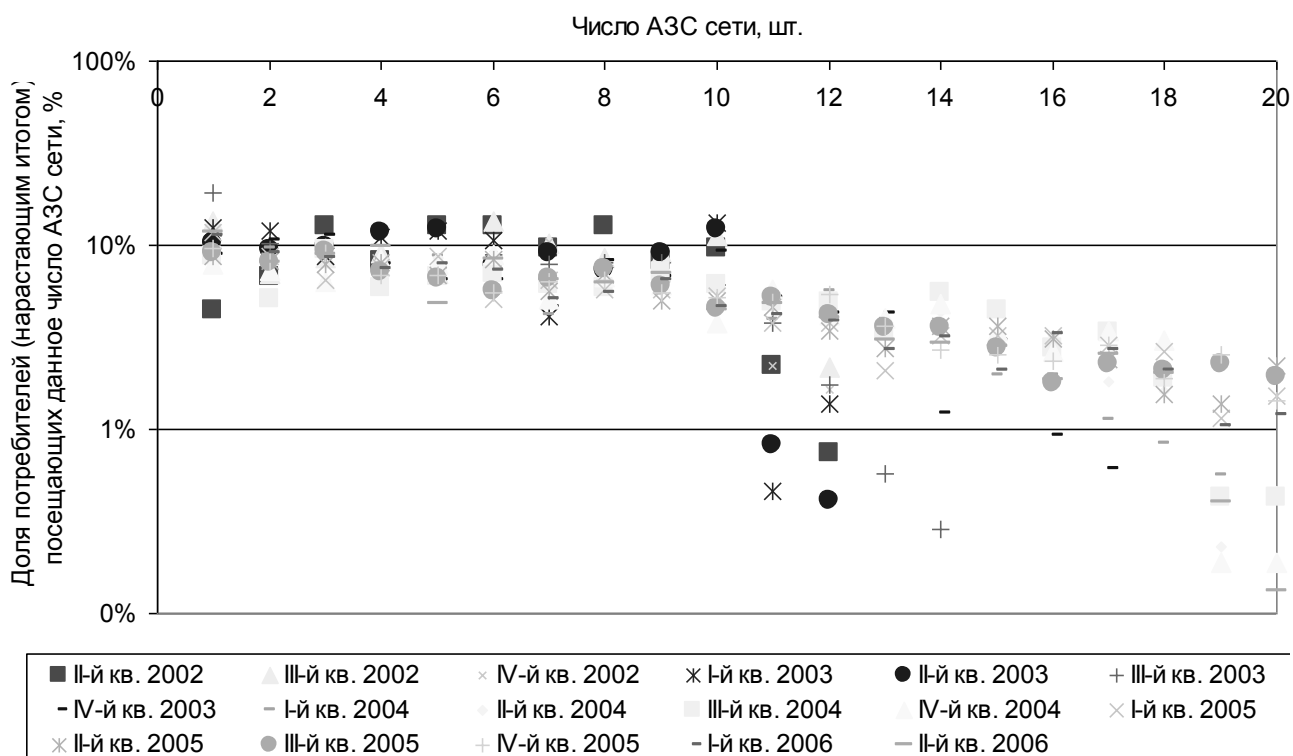


Рис. 2. Распределение потребителей сети по числу АЗС (сеть АЗС среднего города)

Рост числа АЗС сети вызывает необходимость проведения следующего уровня декомпозиции исследуемой подсистемы, для которого целесообразно выделять объекты по видам элементов УДС – малые (до 150-300 тыс. жителей) и средние (500-1500 тыс. жителей) города (рис. 5 и 6).

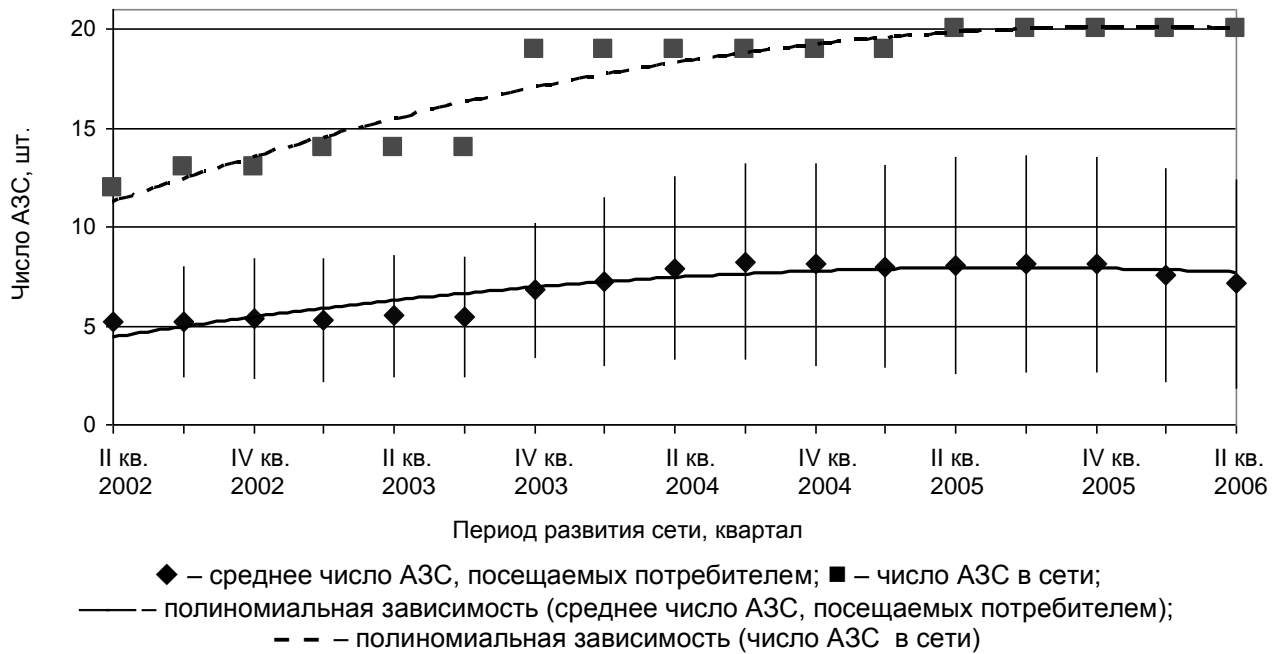


Рис. 3. Влияние роста числа АЗС на среднее число объектов, посещаемых потребителями (сеть АЗС среднего города)

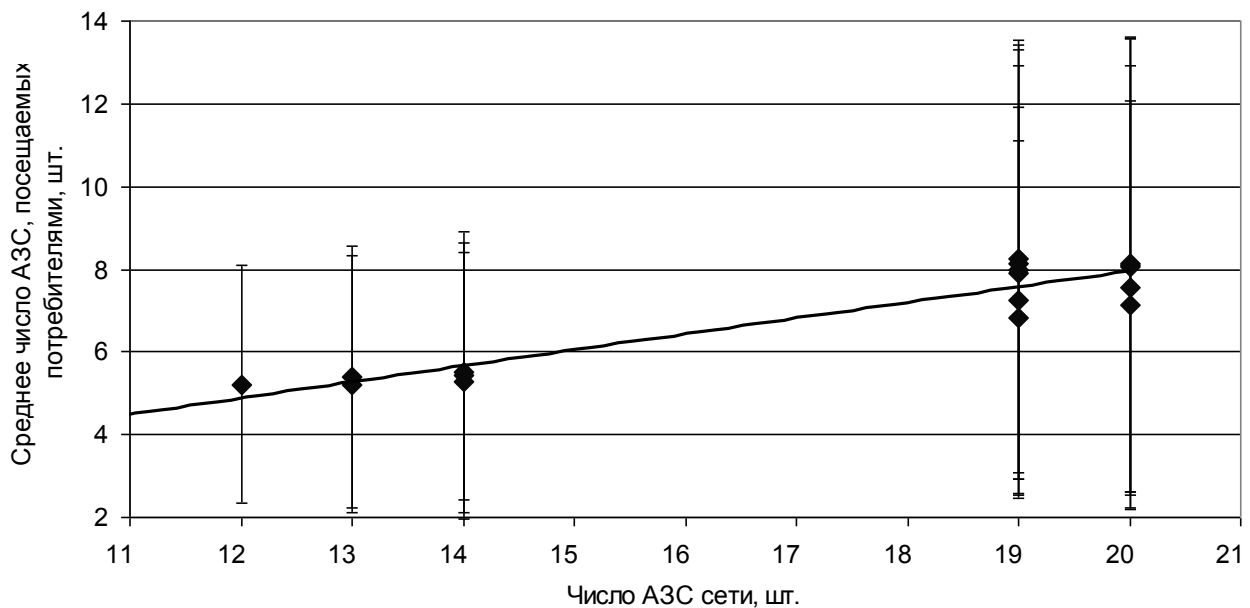


Рис. 4. Рост среднего числа АЗС, посещаемых потребителями, при увеличении числа объектов (сеть АЗС среднего города)

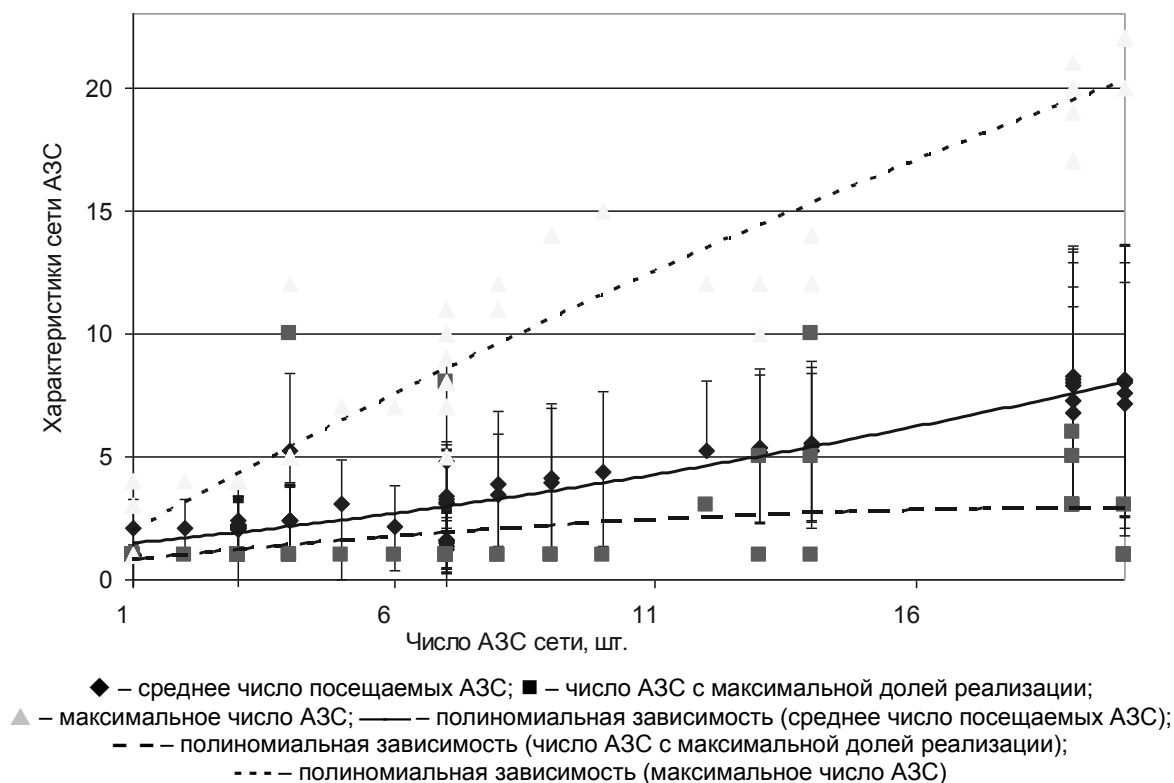


Рис. 5. Характеристики современных сетей АЗС для малых и средних городов

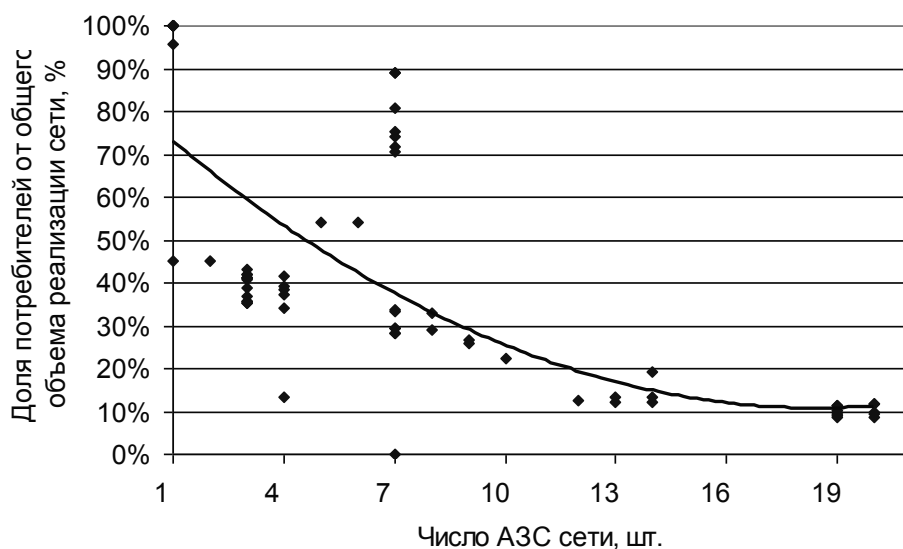


Рис. 6. Снижение доли максимального посещения клиентами при росте сети АЗС

Из анализа полученной информации можно сделать следующие выводы:

– по мере роста сетей АЗС увеличивается число объектов, посещаемых потребителями (включая и межрегиональную компоненту мегасетей ВИНК); при этом их среднее число растет медленнее или остается на некоторых участках неизменным;

– степень взаимного влияния АЗС сети целесообразно оценивать по степени близости значения среднего числа объектов, посещаемых потребителями, относительно точки перегиба рассматриваемой зависимости с учетом сохранения ряда объектов в соответствии со значениями ранее выделенных факторов их размещения.

Заключение

1. Сети АЗС представляют собой основу предприятий НПО, что обуславливает актуальность их исследования.
2. Использование современных средств сбора и обработки информации (микропроцессорные карты и др.) позволяет существенно повысить точность моделирования и оптимизации, достоверность результатов и обоснованность выводов по перспективной топологии сетей АЗС.
3. Результаты применения предложенного алгоритма для межрегиональных предприятий НПО малых и средних городов средней полосы РФ показали, что основная доля потребителей может быть с минимальным перераспределением клиентов обслужена меньшим числом АЗС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безродный А.А. Модели структур и алгоритмы управления автозаправочными станциями / А.А. Безродный, А.Ф. Резчиков. Саратов: СГТУ, 2004. 249 с.
2. Безродный А.А. Размещение автозаправочных станций в малом городе / А.А. Безродный, Ю.Ф. Белов, Р.В. Новиков // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. ст. IV российско-украинского науч.-техн. и метод. симпозиума. Пенза: РИО ПГСХА, 2006. С. 10-18.
3. Безродный А.А. Методика оценки функционирования структур обслуживания по микропроцессорным картам / А.А. Безродный, Ю.Ф. Белов, Р.В. Новиков // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: сб. ст. XVII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза: РИО ПГСХА, 2006. С. 26-32.
4. Безродный А.А. Повышение эффективности структуры топливораздаточного оборудования на автозаправочных станциях с использованием автоматических автозаправочных терминалов / А.А. Безродный, Р.В. Новиков // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: сб. науч. ст. Саратов: Научная книга, 2006. С. 93-100.
5. Методика определения потребности и размещения АЗС в отдельном экономическом районе. М.: НПО АЗТ, 1980. 96 с.
6. Helms T.P. A collection of vintage gas stations / T.P. Helms, C. Flone. Atgen PA: Schiffer Publishing Ltd., 1997. 159 с.

Безродный Алексей Анатольевич –
кандидат технических наук,
начальник службы эксплуатации
Саратовского филиала
ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефтепродукт»

Bezrodny Aleksey Anatolyevich –
Candidate of Technical Sciences,
the Head of Traffic Department Saratov branch
of «LUKOIL-Nizhne-Volzhsknfteproduct» LLC

Статья поступила в редакцию 13.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 004.9:[681.5.03:61]

И.М. Космачева

МЕТОДИКА ОТБОРА МЕДИЦИНСКИХ АМБУЛАТОРНЫХ КАРТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

Проведен анализ процедуры оценки качества оказания медицинской помощи. Выявлены недостатки в современной технологии ее проведения.

Описаны принципы приложения математических методов к задаче выявления случаев, нуждающихся в проверке, при проведении экспертизы качества оказания медицинской помощи с использованием специальных программных средств.

Экспертиза качества, врачебная ошибка, механизм отбора, статистический подход.

I.M. Kosmacheva

MEDICAL OUT-PATIENT CARDS SELECTION PROCEDURE AT CARRYING OUT OF EXAMINATION OF MEDICAL AID'S QUALITY

The analysis of procedure of an estimation of quality of medical aid is lead. Lacks of modern technology of its carrying out are revealed. Principles of the appendix of mathematical methods to a problem of revealing of the cases requiring check are described, at carrying out of examination of quality of rendering of medical aid with use of special software.

Examination of quality, medical mistake, mechanism of selection, statistical approach.

Во главе целей управления здравоохранением стоит удовлетворение потребностей населения в получении качественной и своевременной медицинской помощи. Актуальной является задача разработки механизмов выявления в медицинской практике пациентов, совокупность значений медицинских параметров которых выделяет их из общей массы. Такие пациенты могут требовать специального подхода в лечении из-за своих индивидуальных особенностей. Лечение и диагностика таких пациентов могут быть сопряжены с риском совершения врачебных ошибок (рис. 1).

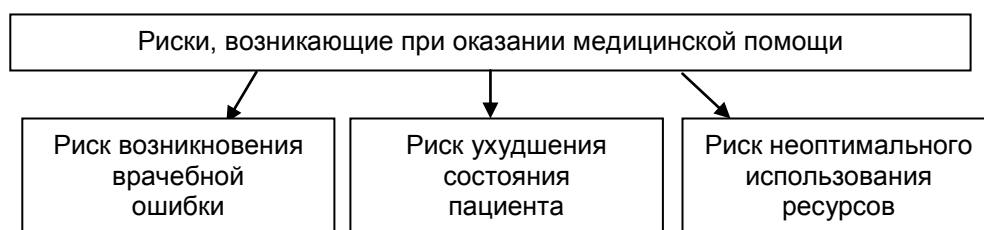


Рис. 1. Виды рисков, возникающих при оказании медицинской помощи

Причины возникновения рисков связаны с дефектами в оказании медицинской помощи. Рассмотрим подходы к построению и совершенствованию методов обнаружения таких дефектов.

С целью обеспечения качества оказания медицинской помощи регулярно проводятся экспертизы качества. Под устройством управления в схеме, приведенной на рис. 2, понимается человек, государственный орган, техническое устройство.

Оценка показателей качества и эффективности медицинской помощи на основе результатов экспертизы используется в системе страховой медицины для дифференцированной оплаты труда медицинских работников.

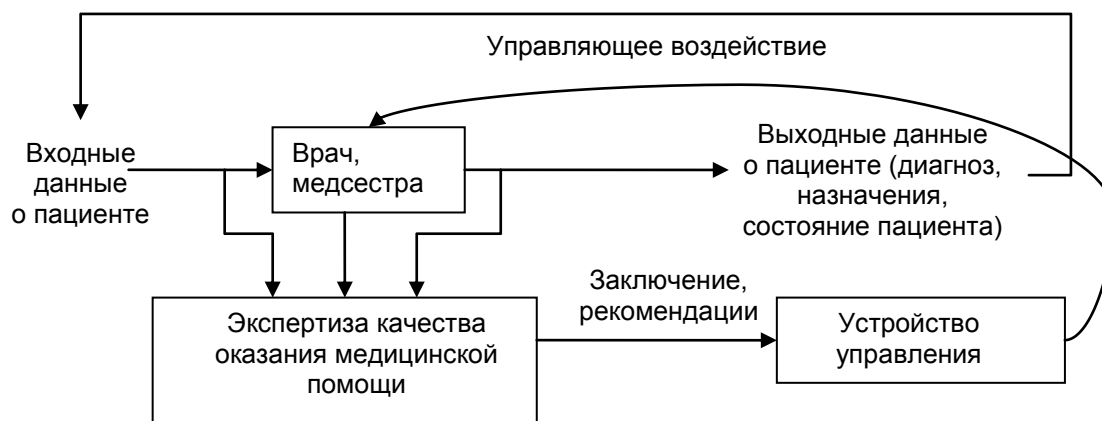


Рис. 2. Система управления качеством медицинского обслуживания

Качество медицинской помощи характеризуется такими составляющими (индикаторами) как:

- результативность (медицинская и социальная эффективность) – степень достижения желаемого результата;
- экономическая эффективность, экономичность – наиболее рациональное использование ресурсов; соотношение затрат и результатов, рассчитанных по одной из методик клинико-экономического анализа;
- приемлемость – соответствие оказанной помощи ожиданиям, пожеланиям и надеждам пациентов или их родственников;
- законность – соответствие социальным предпочтениям, выраженным в этических принципах или законах, нормах и правилах;
- справедливость – соответствие принципу, который определяет, что является обоснованным или законным при распределении медицинской помощи и льгот среди населения.

Несоответствие в качестве оказания медицинской помощи устанавливается, в том числе, на основе требований клинических протоколов. Клинический протокол медицинской организации – нормативный документ, определяющий требования к выполнению медицинской помощи больному при определённом заболевании, с определённым синдромом или при определённой клинической ситуации в медицинской организации. Он разрабатывается для решения следующих задач:

- выбор оптимальных технологий профилактики, диагностики, лечения и реабилитации для конкретного больного;
- защита прав пациента и врача при разрешении спорных и конфликтных вопросов;
- проведение экспертизы и оценки качества медицинской помощи больным с определённым заболеванием, синдромом или в определённой клинической ситуации, и планирования мероприятий по его совершенствованию;
- планирование объёмов медицинской помощи;
- расчёт необходимых затрат на оказание медицинской помощи;
- обоснование программы государственных гарантий оказания медицинской помощи населению.

Правила проведения экспертизы предусматривают, что контролю подлежат некоторые обязательные события. Например, первичный выход на инвалидность лиц трудоспособного возраста. Все остальные случаи оказания медицинской помощи анализируются во время экспертизы, используя данные амбулаторных карт пациентов, отобранных случайным образом.

Анализ позволил выделить имеющиеся в настоящее время недостатки в организации контроля и управления качеством оказания медицинской помощи:

– методы проведения экспертизы качества достаточно трудоемки, используют массу медицинской документации. Переход на электронный документооборот (электронные амбулаторные карты, истории болезни) и использование специальных программных средств позволят сэкономить время и труд специалистов;

– экспертиза проводится лишь спустя определенное время, когда обнаруженные негативные события уже произошли. В связи с этим устранение (уменьшение) последствий врачебных ошибок происходит не очень своевременно и оперативно, а ущерб может оказаться слишком большим, прямо пропорциональным периоду, прошедшему с момента совершения врачебной ошибки до момента ее установления;

– произвольность в выборке медицинских записей для проверки позволяет пропустить факты нарушений в медицинской деятельности.

В настоящее время в здравоохранении наблюдается централизованный подход к автоматизации. Эффективность проведения экспертизы может быть повышена за счет:

- реализации ее в режиме on-line на базе специально разработанных информационно-аналитических систем;
- разработки таких систем на основе математических методов и моделей;
- развития современных средств телекоммуникаций для организации дистанционной работы специалистов-экспертов, консультантов.

В компьютеризированной информационной системе целесообразно предусмотреть автоматическое определение индикаторов качества и отражение отклонений от согласованных нормативных уровней. Задача определения степени соблюдения требований протокола может быть более успешно решена при встраивании клинических протоколов в автоматизированные информационные системы.

Многие события – врачебные ошибки, расхождения со стандартами оказания медицинской помощи, принятыми шаблонами могут быть установлены системой автоматически на основе определенных логических правил вида «если α_i , то β_i », которые могут быть сформулированы специалистами, а затем формализованы в виде алгоритмов. Система может выдавать оценки, рекомендации.

Актуальной задачей является разработка механизмов отбора из медицинской базы данных амбулаторных карт пациентов для включения их в контрольную группу. Как выше было отмечено, контроль качества оказания медицинской помощи опирается не на сплошную, а на выборочную проверку. На самом деле, разумно систематизировать этот процесс и отбирать карты, в которых данные отмечены как «нуждающиеся в проверке».

К таким данным можно отнести записи:

- с ошибками, возникающими при измерении, регистрации данных пациента. При анализе общей структуры врачебных ошибок в [1] установлено значительное преобладание ошибок сбора информации. На этапе сбора информации 50% врачебных ошибок пришлось на дефекты использования инструментальной диагностики, 45% – на лабораторные исследования, 3% – на непосредственные исследования, 2% – на консультации специалистов;
- с описанием редких случаев в медицинской практике. Факт редкого сочетания симптомов, значений диагностических показателей, связанного с индивидуальными особенностями пациента, требует назначения дополнительных консультаций опытных специалистов, особенно в случае, когда лечащий врач – молодой специалист.

Правила выявления таких фактов могут опираться на статистический подход, методы, основанные на оценках плотностей распределения значений признаков. Эти методы заимствованы из классической теории статистических решений, в которой объекты исследования рассматриваются как реализации многомерной случайной величины, распределенной в пространстве признаков по какому-либо закону (например, нормальному). Практика обработки экспериментальных данных показывает, что они наряду с основной однородной массой типичных измерений, представляющих собой выборку из некоторой генеральной совокупно-

сти, содержат аномальные наблюдения. Причиной их появления могут быть ошибки при регистрации измерений. В нашем случае – это врачебные ошибки или нетипичные случаи в медицинской практике.

Пусть имеется база данных пациентов, в которой фиксируются значения диагностических признаков: результаты осмотра, инструментальных и лабораторных исследований. Пусть дана матрица \mathbf{X} типа «объект – признак – значение» размерности $n \times p$ с многомерным нормальным распределением случайных признаков с вектором средних $\eta_{(p \times 1)}$ и ковариационной матрицей $\mathbf{K}_{(p \times p)}$.

Принято допущение о нормальном распределении многомерных данных (значений диагностических признаков). На практике необходимо обосновать возможность такого допущения. Не существует общепотребительного критерия соответствия эмпирических данных совместному нормальному закону [2]. Но, учитывая возможность симметрии в распределении значений признаков в популяции, был проведен анализ частных двумерных законов распределения диагностических признаков на экспериментальной базе данных пациентов ($n = 245$, $p = 14$). Цель такого анализа – проверка статистической гипотезы о соответствии распределения значений пар признаков нормальному закону.

В качестве примера на рис. 3 приведены выборочные результаты расчетов, выполненные в пакете Statistica 7.0. Построены графики плотности распределения двумерных векторов (ФИ, ПЖ), (ПЖ, ЛП). Данные параметры традиционно используются при обследовании пациентов и характеризуют работу и размеры сердца. Так как вероятность ошибки достаточно велика $p > 0,05$, то на основе критерия согласия была принята гипотеза о соответствии исследуемых двумерных законов распределения нормальному закону. Совместный закон распределения значений p признаков может быть аппроксимирован нормальным при увеличении размера выборки и повышении ее репрезентативности.

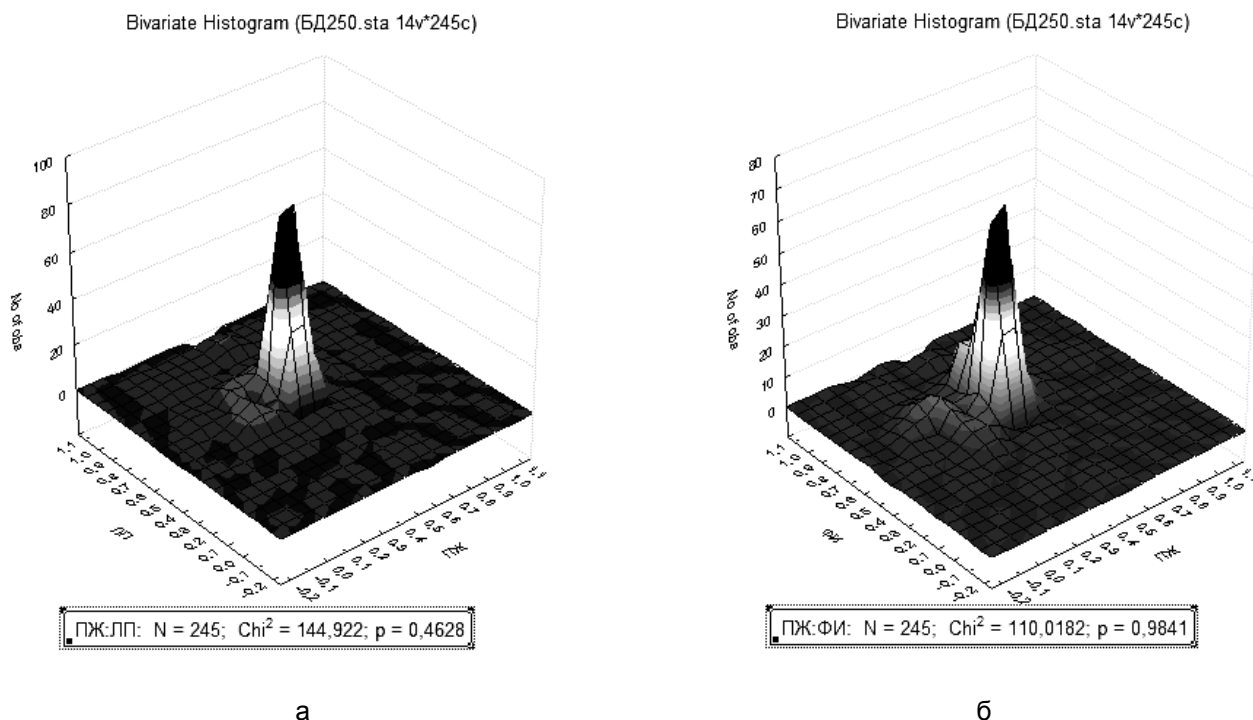


Рис. 3. Статистический анализ эмпирических данных

Величина

$$\chi^2 = (x - \mu)' \mathbf{K}^{-1} (x - \eta) \quad (1)$$

имеет распределение χ^2 с числом степеней свободы p . Если \mathbf{K} и η известны, то статистика (1) может быть использована для обнаружения аномальности наблюдаемого вектора-строки $x_i = [x_{i1}, \dots, x_{ip}]$ [3]. Критическим значением статистики является верхняя α % область распределения χ^2 . Наблюдаемое P – значение статистики равно площади под кривой плотности распределения справа от вычисленного значения χ^2 . Если $P < \alpha$, то наблюдаемый вектор можно считать аномальным, и он подлежит анализу.

Если вектор средних η и ковариационная матрица \mathbf{K} неизвестны, то вместо (1) можно воспользоваться расстоянием Махаланобиса, которое является выборочным аналогом величины χ^2 .

Определить качество проведения обследования пациента, у которого снимались значения ряда диагностических показателей, можно и если воспользоваться значением коэффициента уникальности данных пациента [4]. Коэффициент уникальности определяется как вероятность того, что пациент с таким набором значений диагностических показателей встречается в базе данных пациентов.

Редкий пациент или «недостовверный» (невозможное сочетание значений диагностических признаков) отмечается системой, если значение коэффициента уникальности меньше заданного предельного порога, определенного предварительно экспериментально или с использованием информации от экспертов.

Перечисленные методы определяют методику отбора медицинских амбулаторных карт при проведении экспертизы качества медицинской помощи.

Таким образом, в статье были выделены и сформулированы недостатки в современной технологии управления качеством оказания медицинской помощи и предложены варианты решения этой проблемы. В частности, определены математические методы, которые могут лечь в основу разработки механизмов выявления случаев, нуждающихся в проверке, при проведении экспертизы качества оказания медицинской помощи с использованием специальных программных средств. Было проведено экспериментальное исследование с целью определения правомерности использования предложенного математического аппарата для решения поставленной задачи. Анализ результатов эксперимента допускает возможность применения описанной методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труш О.В. Качество медицинской помощи больным с хроническим гастродуоденитом и язвенной болезнью / О.В. Труш. gastroscan.ru/disser/trush.pdf.
2. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / Н.Ш. Кремер. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.
3. Большаков А.А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов / А.А. Большаков, Р.Н. Каримов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 357 с.
4. Попов Г.А. Модель идентификации личности на основе медицинской информации / Г.А. Попов, И.М. Космачева // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007. № 1(36). С. 92-97.

Космачева Ирина Михайловна – старший преподаватель кафедры «Информационная безопасность» Астраханского государственного технического университета

Kosmacheva Irina Mikhaylovna – Senior teacher of the Department of «Information Safety» of Astrakhan State Technical University

Статья поступила в редакцию 04.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

А.В. Хоботов, А.А. Игнатъев

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЯХ
ЛЕНТОЧНОГО ТИПА ПРИ ЛАМИНАРНОМ ГОРЕНИИ ГОРЮЧИХ СМЕСЕЙ
НАД ИХ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Рассматривается математическая модель огнепреградителя для резервуаров при ламинарном горении. Приводится алгоритм моделирования в среде Matlab.

Огнепреградитель, математическая модель, численное моделирование.

A.V. Khobotov, A.A. Ignatyev

**HEAT DISTRIBUTION MODELING WITHIN BELT-TYPE
FIRE-RESISTANT BARRIERS AT LAMINAR BURNING
OF COMBUSTIBLE MIXTURES OVER THEIR SURFACE**

The authors present a mathematical model of fire barrier for reservoir at laminar burning. They introduce the model algorithm within the Matlab environment.

Fire barrier, mathematical model, numerical modeling.

Успех разработки и конструирования огнепреградителей (ОП), способных выдержать длительное воздействие пламени с сохранением своей работоспособности, зависит от корректности их расчета. Сложность процессов, происходящих в огнепреградителе при посадке пламени на его поверхность, не позволяет решить задачу расчета времени огнестойкости огнепреградителя прямым аналитическим методом. Экспериментальные исследования являются достаточно сложными и приводят к разрушению испытуемого ОП. Подробное описание схемы испытательного стенда и серии экспериментов по определению времени огнестойкости огнепреградителя ленточного типа приведены в [1, 2]. Поэтому для целей исследования процессов, происходящих в огнепреградителе, была выполнена работа по созданию комплекса математических моделей и на их основе прикладной расчетной программы, позволяющей производить расчет теплораспределения по структуре огнепреградителя в режиме горения.

Основной математической моделью является трехточечная сеточная модель процессов теплопередачи в ОП, согласно которой все пространство моделируемого огнепреградителя разбито на ряд элементарных объемов, для каждого из которых решается уравнение теплового баланса. Подробнее указанная модель описана в [3]. Для определения температурного воздействия на поверхность ОП была создана двухмерная модель пламени, основывающаяся на теории горения, разработанной Д.А. Франк-Каменецким [4] и Я.Б. Зельдовичем [5]. Отдельно сформирована модель взаимодействия материала кассеты огнепреградителя с проходящим через ОП газовым потоком [6].

Граничными условиями модели теплопередачи будут процессы теплообмена огнепреградителя с окружающей средой, а именно процессы рассеяния тепла нижней поверхностью и боковыми стенками огнепреградителя, а также тепловое излучение пламени в сторону верхней поверхности кассеты.

На основе приведенных математических моделей разработан алгоритм расчета и создан комплекс расчетных программ, позволяющий моделировать поведение огнепреградителя при посадке пламени на его поверхность. Программирование выполнено в среде Matlab. Разработанный программный комплекс состоит из отдельных модулей: основного и дополнительных. Каждый из дополнительных модулей отвечает за описание работы конкретного физического процесса, а именно – теплообмена на границах кассеты, зависимости теплопроводностей и теплоемкостей материалов от температуры, процесса горения пламени и представляет собой самостоятельную Matlab-функцию.

Блок-схема алгоритма расчета приведена на рис. 1. Основу расчета составляют матрицы, которые описывают тепловые характеристики отдельных частей ОП. К таким характеристикам отнесены теплоемкость кассеты, ее радиальная и вертикальная теплопроводность и температура. Каждая указанная матрица, по сути, описывает вертикальную структуру процессов в огнепреградителе в разрезе кассеты по радиусу. Например, в ОП ленточного типа матрица теплопроводности заполняется следующим образом:

– первая строка – эквивалентная теплопроводность между нижним слоем кассеты и окружающей ее средой;

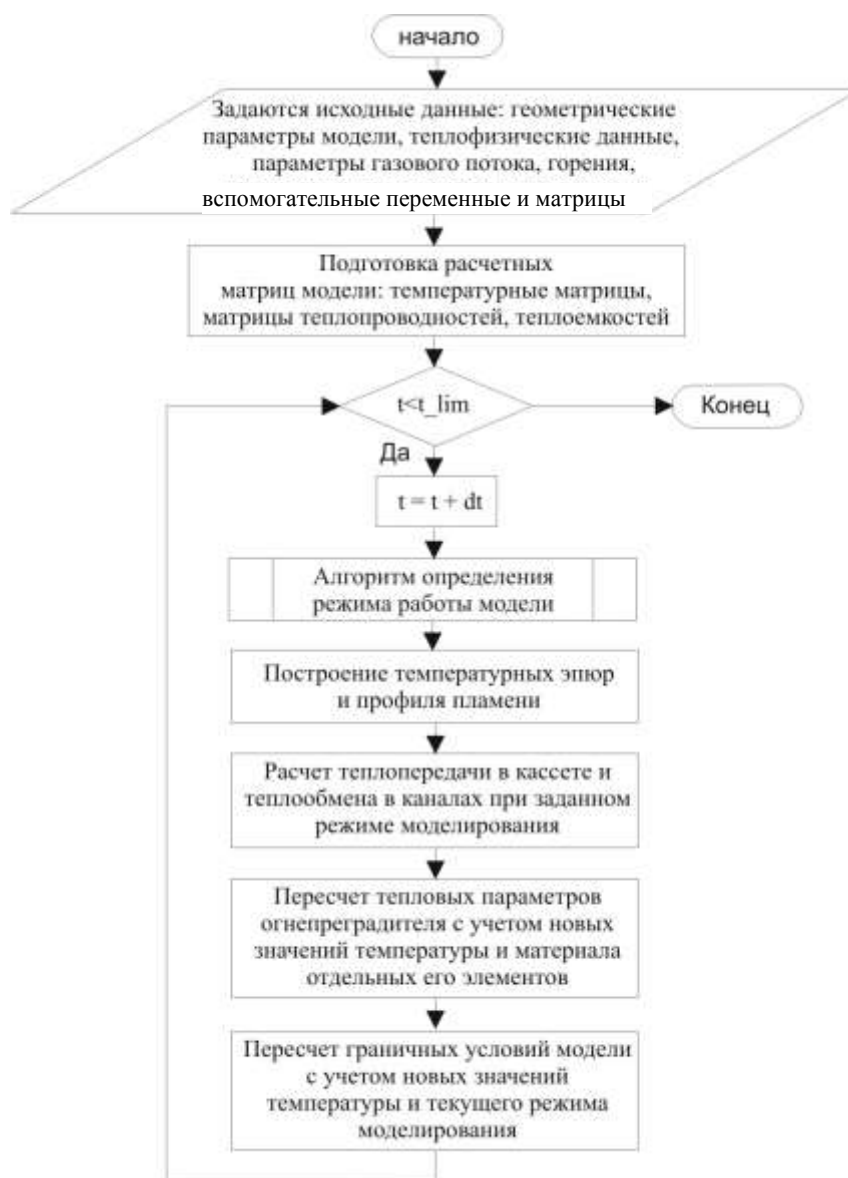


Рис. 1. Блок-схема основного алгоритма модели

- последняя строка – эквивалентная теплопроводность между верхним слоем кассеты и пламенем;
- последний столбец – эквивалентная теплопроводность слоя между обечайкой ОП и окружающей ее средой;
- остальные ячейки – теплопроводность тела кассеты, с учетом ее структуры и материалов отдельных ее элементов.

Важный инструмент моделирования работы ОП с задаваемой структурой кассеты – матрицы анизотропии. Данные матрицы позволяют управлять тепловой проводимостью кассеты за счет формирования особой геометрии лент (просечка), неоднородной заполненности кассеты или сплавления каналов. Поскольку теплопроводности в радиальном и вертикальном направлениях отличаются, то каждая из этих теплопроводностей по-своему зависит от структуры и геометрии кассеты. Поэтому в расчетах используются две матрицы анизотропии – соответственно радиальная и вертикальная.

Работа программы начинается с задания размеров и структуры огнепреградителя, материалов, распределения массового потока горючей смеси по радиусу кассеты, задания параметров окружающей среды, состава газозвушной смеси, временных интервалов включения-выключения горения и т.п. Работа алгоритма расчета начинается с подготовки вспомогательных переменных и построения необходимых матриц определенного размера с исходными значениями параметров.

Расчет элементов матриц производится с учетом цилиндричности изделия построено, методом перебора отдельных слоев матриц, участвующих в текущем расчете. Основная структура расчета оформлена в глобальном цикле, моделирующем работу ОП во времени, предел которого устанавливается в настройках программы. Все переменные, участвующие в расчетах, приведены в системе СИ.

Основной модуль программного комплекса имеет дружелюбный интерфейс. Перед началом расчета необходимо задать основные параметры работы модели:

- геометрию ОП (рис. 2);
- состав газозвушной смеси (рис. 3);

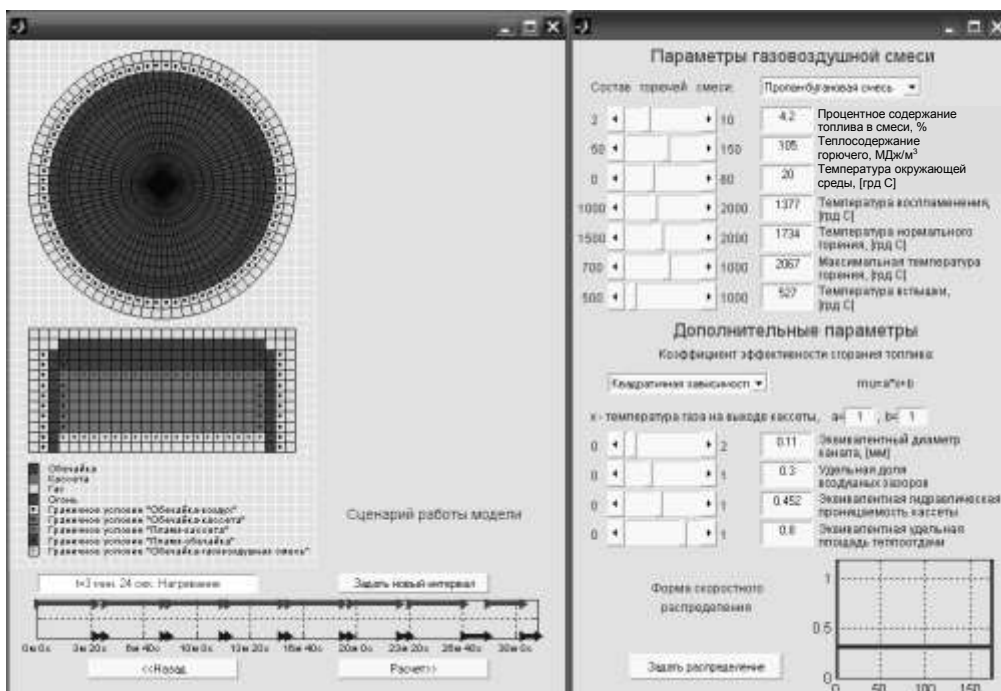


Рис. 2. Окно задания геометрии ОП

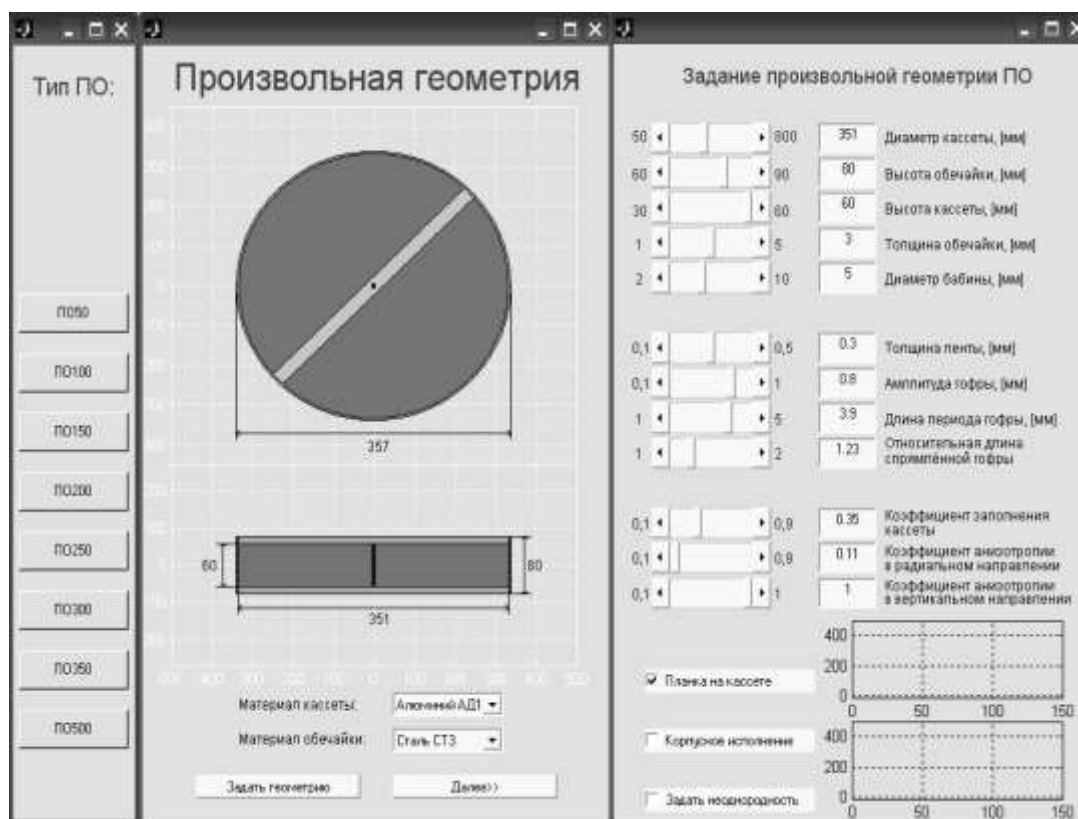


Рис. 3. Окно задания параметров газозвушной среды и сценария работы модели

– скоростное распределение газового потока на входе в ОП;
 – режим работы ОП. Режим работы представляет собой чередование временных отрезков с воздействием пламени и без него. Данная опция введена для адекватного сравнения результатов моделирования и результатов экспериментальных исследований.

Результаты моделирования выводятся в виде изменяющихся во времени графиков распределения температуры по слоям кассеты. Время отсчитывается от начала эксперимента (согласно рис. 4).

Анализ результатов машинного моделирования показал, что считавшийся до настоящего времени основным процесс отвода тепла от центра кассеты к периферии за счет теплопередачи внутри кассеты с последующим рассеиванием тепла обечайкой не оказывает определяющего влияния на характер распределения температуры в ОП. На температурное распределение в кассете ленточного ОП основное влияние оказывают два фактора: охлаждение ее за счет проходящего газового потока, при этом зависимость носит прямой характер – чем больше скорость газового потока, проходящего через данный участок ОП, тем больше тепла отводится от его поверхности, и характер режима горения (плёночное или факельное). Плёночный режим устанавливается в случае, когда массовая скорость потока примерно равна текущей массовой скорости горения. При плёночном горении температура пламени несколько ниже, однако, за счет того, что расстояние от активной зоны пламени до поверхности кассеты намного меньше, чем при факельном горении, плёночное горение характеризуется существенно большей теплоотдачей к поверхности ОП. Учитывая условия возникновения плёночного типа горения, можно предположить, что наиболее вероятно его возникновение на некоторых участках поверхности кассеты, где распределение скорости газового потока носит градиентный характер. В присутствии вариации скорости газового потока по соседним зонам, появление участков с совпадением между местной массовой скоростью потока и текущей массовой скоростью горения наиболее вероятно.

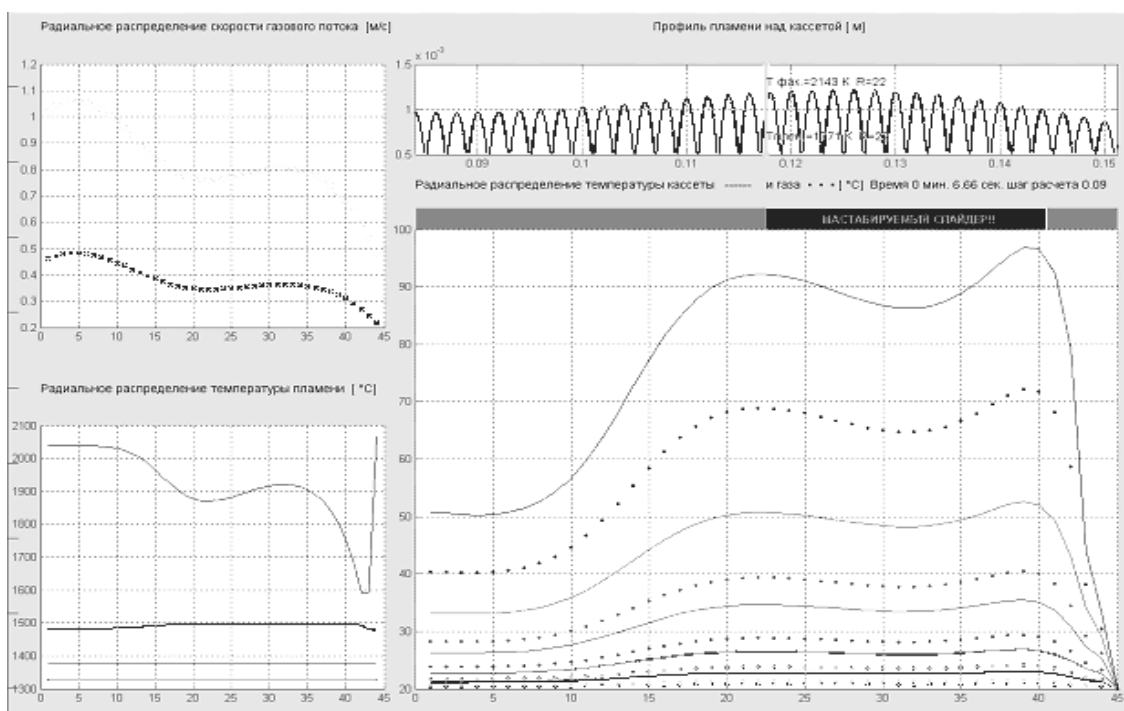


Рис. 4. Окно вывода результатов расчета

До настоящего времени считалось, что наибольшая температура кассеты наблюдается в центральной ее области, в связи с тем, что отток тепла от центра к периферии здесь наиболее затруднен, однако согласно результатам моделирования зоны локального перегрева в зависимости от условий работы ОП могут располагаться на любом участке поверхности ОП.

Результаты выполненного математического моделирования подтверждаются результатами проведенного экспериментального исследования поведения ОП при посадке пламени на его поверхность [2]. Это позволяет утверждать, что созданный комплекс математических моделей адекватно отражает основные процессы, происходящие в огнепреградителе при посадке пламени на его поверхность и разработанная расчетная программа может быть применима для целей расчета огнепреградителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоботов А.В. Методика и оборудование для проведения испытаний огнепреградителей ленточного типа / А.В. Хоботов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 216-218.
2. Хоботов А.В. Влияние локальной скорости газового потока на распределение температуры и скорость нагрева поверхности огнепреградителя / А.В. Хоботов // Безопасность труда в промышленности. 2008. № 12. С. 46-49.
3. Хоботов А.В. Моделирование процесса теплообмена ленточного огнепреградителя для резервуаров при посадке пламени на поверхность его кассеты / А.В. Хоботов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. № 4. С. 111-116.
4. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. М.: Наука, 1987. 491 с.
5. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Михвиладзе. М.: Наука, 1980. 478 с.
6. Хоботов А.В. Тепловая модель цилиндрического огнепреградителя с учетом термодинамики проходящего газового потока / А.В. Хоботов // Экспозиция Нефть Газ. 2008. № 2/Н. С. 67-69.

Хоботов Андрей Владимирович – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

Khobotov Andrey Vladimirovich – Post-graduate of the Department of «Automation and Management of Technological Processes» of Saratov State Technical University

Игнатъев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

Ignatyev Aleksandr Anatolyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, the Head of the Department of «Automation and Management of Technological Processes» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 539.193/194; 535.33

М.Д. Элькин, О.В. Колесникова, А.С. Кладиева

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЕДИНЕНИЙ ГРУППЫ V-ГАЗОВ

На основании неэмпирических квантовых расчетов электронной структуры различных конформеров V- и Vx –газа предлагается интерпретация фундаментальных колебательных состояний соединений.

Электронная структура, адиабатический потенциал, колебательные состояния, конформеры V-газа, молекулярное моделирование.

M.D. Elkin, O.V. Kolesnikova, A.S. Kladieva

ADIABATIC POTENTIAL MODELING FOR COMPOUNDS V-GAS GROUP

The possibility of predictable calculations of vibration states based on non-empiric of electronic structure on the example of compounds V-gas group

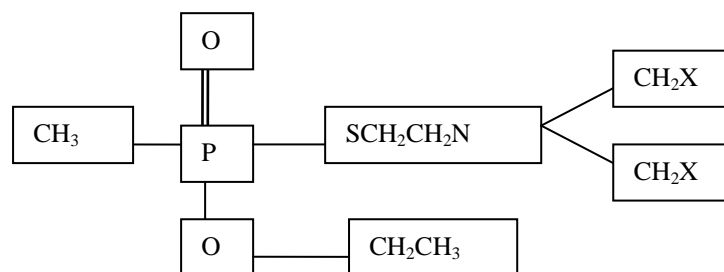
Electronic structure, adiabatic potential, vibration state, molecular modeling, conformation of V-gas.

Введение. Использование методов оптической физики для идентификации таких соединений по их структурным формулам напрямую связано с модельными расчетами геометрической и электронной структур молекул. Эти задачи решаются в рамках развивающегося научного направления – молекулярного моделирования, составной частью которого являются теоретические методы колебательной спектроскопии.

Предсказательные возможности колебательной спектроскопии опираются на неэмпирические методы оценки параметров адиабатического потенциала, определяющего все физико-химические свойства молекулярных соединений, в том числе положение и интенсивность полос в спектрах молекул.

Установление связи структуры и оптического спектра молекул позволяет идентифицировать отдельные молекулярные фрагменты сложных соединений. Достаточно сослаться на монографии [1-3]. Для фосфорорганических соединений проблема подробно обсуждалась в работе [4]. В публикации [5] описываемые возможности колебательной спектроскопии применены для построения структурно-динамических моделей известных фосфорорганических соединений – зарина, зомана и табуна.

V- и Vx газы – диметиламиноэтилмеркаптоэтиловый эфир фосфоновой кислоты – (см. рисунок) следует отнести к высокотоксичным фосфорорганическим соединениям, представляющим экологическую угрозу. Для таких соединений имеющиеся экспериментальные данные по колебательным спектрам крайне ограничены [6]. Однако отдельные фрагменты соединений, относящиеся к парафиновым углеводородам, хорошо изучены методами колебательной спектроскопии [1]. Данные по колебательным спектрам фосфор-, серо- и азотосодержащих фрагментов из монографии [1] неполны, однако и они могут быть привлечены к оценке результатов численного эксперимента наряду с экспериментальными данными, приведенными в работе [5].



Структура молекулы V-газа (X=H) и Vx газа (X-CH(CH₃)₂)

Наличие большого количества атомов водорода в рассматриваемых соединениях требует оценки влияния ангармонических резонансов при проведении численных расчетов. В современных программных комплексах, например в [7], имеется возможность учета ангармонизма колебаний. Критические замечания в адрес неэмпирического подхода, высказанные в публикации [4], в ряде случаев правомерны, но они погоду не делают и непременно будут учтены разработчиками программного обеспечения. Доказательством тому служит оценка динамики развития данного направления в теоретической колебательной спектроскопии.

Расчеты спектров осуществлены в ангармоническом приближении теории молекулярных колебаний. Предпочтение отдано неэмпирическому квантовому методу DFT/B3LYP с базисами от 6-31G*(**) до 6-311G*(**) [7].

Результаты расчета и их обсуждение. Исходные молекулярные модели исследуемых соединений приведены на рисунке. Для атомов углерода и фосфора имеет место гибридизация SP_3 . Атом серы образует мостик между фрагментами парафиновых углеводородов и фрагментом, центральный атом которого фосфор. Для парафиновых углеводородов частоты фундаментальных колебаний известны [1]. Они хорошо воспроизводятся квантовыми расчетами, что и подтверждается приведенными в таблице данными. Частоты фундаментальных колебаний второго фрагмента, отвечающего за токсичные свойства соединений, следует считать результатами предсказательного расчета в таблице. Характер поведения интенсивности полос в ИК спектрах для одинаковых молекулярных фрагментов парафиновых углеводородов указывает на характеричность соответствующих колебаний для всех рассматриваемых соединений и хорошо согласуется с экспериментом. Специфичным является и характер спектра второго фрагмента. Здесь легко идентифицируются валентные колебания связей PO, PC, PS. То же самое касается и фрагмента $CH_2-N-(CH_3)_2$.

Интерпретация фундаментальных колебательных состояний
β-диметиламиноэтилмеркаптоэтилового эфира фосфоновой кислоты

1.V- газы

Форма колеб.	Минимум				Максимум			
	ν _{гар}	ν _{анг}	ИК	КР	ν _{гар}	ν _{анг}	ИК	КР
βnch	1458	1413	1.71	7.04	1486	1440	7.97	12.1
βnch	1323	1283	15.6	0.31	1339	1299	27.2	0.73
βsch	1307	1269	1.10	3.94	1320	1281	14.1	11.2
βoch	1303	1264	2.58	0.80	1316	1277	13.9	7.14
Qp=о	1240	1204	25.8	6.65	1262	1225	184	9.43
βsch	1223	1187	4.18	4.36	1243	1207	109	6.63
βoch	1177	1143	2.21	1.06	1194	1159	9.28	3.09
βnch	1175	1142	1.13	0.94	1192	1158	8.28	2.83
βsch	1163	1130	7.85	1.83	1179	1145	15.1	2.67
βnch	1119	1088	7.56	4.23	1134	1102	11.4	7.58
Qcc	1117	1086	8.96	2.60	1132	1100	12.4	5.52
Qnc	1072	1042	8.89	3.33	1085	1055	22.6	4.89
Qcn	1069	1039	34.7	2.61	1081	1051	53.4	4.15
Qoc	1042	1014	241	3.10	1065	1036	293	7.06
Qcc	1009	982	6.01	4.80	1022	994	11.2	6.84
βsch	891	868	1.05	4.30	901	877	34.7	5.58
Qpo	762	743	16.6	1.98	771	752	85.1	6.01
Qpc	712	695	55.2	12.9	736	718	81.7	14.6
Qcs	633	618	1.61	9.12	646	631	9.18	11.7
Qsp	514	502	92.6	5.94	552	539	127	7.54
βccn	493	482	5.42	0.49	504	492	26.4	2.96
βroc	437	427	0.19	0.21	449	439	28.9	7.35
βcnc	425	416	0.22	0.23	444	434	35.4	9.52
αcnc	395	386	0.93	0.22	405	396	3.81	1.76
βocc	376	367	0.82	1.08	383	375	11.1	4.12
βsp=о	338	330	4.25	3.28	355	347	10.3	8.70
βo=pc	287	281	1.23	0.96	314	307	6.98	2.89
βopc	275	269	1.37	0.09	289	283	4.18	2.00
βscc	262	257	1.74	0.47	272	266	4.15	1.27
βspc	223	219	1.34	0.64	232	227	7.13	2.31
βspo	200	196	0.13	0.57	212	208	1.29	1.63
βroc	135	133	2.23	0.61	145	142	8.09	2.05
βcsp	126	124	0.14	0.62	135	132	5.08	1.46
2. Vx газы								
βnch	1447	1402	12.0	12.7	1466	1421	17.9	18.9
βnch	1428	1384	1.72	4.34	1448	1403	9.31	9.49
βoch	1308	1269	0.19	9.08	1320	1281	0.88	12.5
βsch	1289	1251	6.13	2.34	1301	1263	17.3	3.43
Qp=о	1252	1215	96.87	2.87	1272	1235	183.6	10.6
βsc1h	1224	1189	11.21	2.59	1241	1205	155.1	6.87
Qnc	1195	1161	5.32	1.07	1227	1192	50.8	1.54
βoch	1179	1145	2.12	1.17	1193	1158	4.59	1.75
βoch	1172	1139	8.75	0.55	1190	1156	14.37	0.98

Форма колеб.	Минимум				Максимум			
	$\nu_{\text{гар}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	$\nu_{\text{гар}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
β_{sch}	1147	1114	14.9	0.99	1172	1138	47.47	1.61
Qcc	1136	1104	13.10	1.96	1143	1111	24.89	5.22
β_{occ}	1131	1100	0.84	1.02	1137	1105	37.48	1.77
Qcc	1121	1090	7.45	5.20	1135	1103	16.55	6.11
Qcn	1103	1072	5.06	0.87	1109	1078	55.2	3.74
Qoc	1049	1020	17.2	2.18	1081	1051	175.7	2.81
Qcc	1047	1018	10.30	3.33	1076	1046	197.1	4.89
Qcc1	987	960	8.73	1.76	1069	1040	227.3	6.44
β_{ccn}	950	925	3.99	3.20	1000	973	92.01	8.76
$\beta_{\text{o=pc}}$	938	913	0.84	2.33	942	917	5.29	9.97
β_{sc1h}	866	843	2.07	1.31	909	886	3.23	9.06
Qcc	849	827	1.51	2.21	863	840	12.80	6.49
Qcc	825	804	0.23	0.23	840	819	1.13	3.84
Qpo	760	741	38.1	5.15	778	758	78.24	8.93
Qpc	730	712	12.2	9.77	739	721	110.4	18.7
Qnc	671	655	11.9	10.2	727	709	72.7	20.3
Qcs	642	627	6.61	2.63	687	670	17.2	9.34
α_{cnc}	578	564	3.73	6.94	598	583	5.47	8.08
Qsp	517	505	27.9	4.32	547	534	111.1	5.28
β_{ncc}	494	483	7.32	0.91	515	504	112.7	6.47
β_{cnc}	462	451	0.07	0.69	465	455	2.42	1.27
β_{roc}	433	423	21.9	0.79	451	441	38.6	8.93
β_{ccn}	419	410	2.01	0.65	438	428	22.5	10.0
β_{ncc}	382	373	1.34	0.19	400	391	8.09	5.05
β_{occ}	373	365	0.48	0.99	383	374	9.00	1.71
α_{ccc}	356	348	0.52	1.51	363	356	1.60	3.14
β_{ncc}	343	336	0.57	0.45	358	350	7.04	3.68
$\beta_{\text{sp=o}}$	325	318	0.48	0.36	336	328	7.63	11.4
β_{ncc}	313	307	0.04	0.44	323	316	0.45	1.31
β_{ncc2}	307	300	0.14	0.20	317	310	0.73	1.09
β_{ncc}	286	280	0.18	0.15	303	297	1.54	1.79
$\beta_{\text{o=pc}}$	275	269	3.28	0.66	289	283	7.43	1.69
β_{opc}	268	263	0.46	0.41	274	268	3.57	3.08
$\beta_{\text{sp=o}}$	211	206	0.41	0.27	223	218	0.90	1.20
β_{spc}	178	175	0.54	0.34	190	186	2.90	1.93
α_{cnc}	146	143	1.42	0.30	171	167	5.83	1.39
β_{roc}	122	120	1.29	0.40	141	138	7.88	1.16
β_{csp}	114	112	0.80	0.37	117	114	3.24	0.93

Примечание. Частоты колебаний в единицах см^{-1} , интенсивности ИК спектров в км/моль , спектров КР – $\text{\AA}^4/\text{а.е.м.}$.

Оптимизация геометрии исследуемых соединений приводит к следующим значениям длин связей: $\text{P}_2\text{O}=1.41 \text{ \AA}$ (1.48), $\text{PO}=1.62 \text{ \AA}$, $\text{PS}=2.12 \text{ \AA}$, $\text{CS}=1.86 \text{ \AA}$ (1.8), $\text{CC}=1.52 \text{ \AA}$ (1.54), $\text{CN}=1.48 \text{ \AA}$ (1.46) и валентных углов: $\text{PSC}=102.2^\circ$ (98,9), $\text{OPO}=116^\circ$, $\text{POC}=120.2^\circ$, $\text{H}_3\text{C-N-CH}_3-$

123.2°. В скобках приведены экспериментальные данные из монографии [1]. Остальные валентные углы отличаются от тетраэдрических углов на величину не более чем 4°. При этом выбор базиса расчета на значения длин валентных связей и валентных углов практически не влияет ($\Delta < 0.01 \text{ \AA}$, и 1°)

Фундаментальные частоты колебаний можно условно разделить на три группы. Первая группа интерпретируется как колебания валентных связей и валентных углов парафиновых фрагментов (CH_2 , CH_3). Валентные колебания связей CH попадают в известный диапазон от 3000 см^{-1} и выше. Деформационные колебания – в диапазон $950\text{-}1500 \text{ см}^{-1}$ [1]. Это полностью согласуется с отнесением для парафиновых фрагментов из монографии [1], поэтому в таблице частоты таких колебаний не включены. Однако в этот диапазон попадают и валентные колебания связей CC и деформационные колебания OCH , SCH , NCH . Оценка частот и интенсивностей данных колебаний в таблице присутствует.

Вторую группу составляют частоты фундаментальных колебаний фрагмента SPOO , отвечающего за токсичные свойства соединений, а также фрагмента NC_3 . Диапазон этих колебаний лежит ниже 800 см^{-1} . Выбор базиса может привести к незначительному сдвигу предвычисленных частот фундаментальных колебаний $\sim 20 \text{ см}^{-1}$, однако существенно изменяются интенсивности соответствующих полос. При наличии эксперимента по интенсивностям полос можно сделать вывод о распределении электронной плотности на атомах указанных фрагментов, а также возможности их использования при идентификации соединений.

Третью группу составляют частоты крутильных колебаний парафиновых фрагментов вокруг связей CX ($\text{X}=\text{C}$, S , P) этих фрагментов. Такие колебания лежат в области ниже 250 см^{-1} , что согласуется с аналогичными данными из монографии [1]. Их воспроизведение неэмпирическими квантовыми расчетами позволяет сделать вывод о взаимном расположении отдельных фрагментов относительно друг друга. Общая закономерность сводится к тому, что частоты крутильных колебаний воспроизводятся при условии трансрасположения соседних фрагментов CH_3 CCN_2 . В этот же диапазон попадают и деформационные колебания валентных углов, содержащих атомы фосфора, серы и азота. Интенсивность полос в данном частотном диапазоне низка.

Выводы

1. Полученные результаты численного эксперимента по расчету электронной структуры молекул V - и Vx газов в совокупности с результатами, приведенными в работе [5], указывают на достоверность предсказательных расчетов конформаций и колебательных состояний фосфорорганических соединений.

2. Наличие большого количества атомов водорода требует проведения неэмпирических расчетов параметров адиабатического потенциала в ангармоническом приближении.

3. Внутреннее вращение отдельных фрагментов парафинового остова незначительно сказывается на интенсивности полос в спектрах, однако частоты крутильных колебаний воспроизводятся лишь для трансконформаций относительно связи $\text{C}-\text{C}$.

4. Изменение длин валентных связей и значений валентных углов для парафинового фрагмента находится в границах, приведенных в монографии [1] для парафиновых углеводородов, и не сказывается на положении полос валентных и деформационных колебаний алкильных групп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1970. 550 с.
2. Грибов Л.А. Методы и алгоритмы вычислений в теории колебательных спектров молекул / Л.А. Грибов, В.А. Дементьев. М.: Наука, 1981. 356 с.
3. Пулин В.Ф. Исследование динамики молекулярных соединений различных классов / В.Ф. Пулин, М.Д. Элькин, В.И. Березин. Саратов: СГТУ, 2002. 546 с.

4. Мясоедов Б.Ф. Фрагментарные методы расчета ИК спектров фосфорорганических соединений / Б.Ф. Мясоедов, Л.А. Грибов, А.И. Павлючко // Журнал структурной химии. 2006. Т. 47. № 1. С. 449-456.

5. Элькин П.М. Методы оптической физики в экологическом мониторинге фосфорорганических соединений / П.М. Элькин, В.Ф. Пулин, А.С. Кладиева // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 2(25). Вып. 2. С. 176-181.

6. Organisation for the prohibition of chemical weapons. The office of Internal Oversight. Cert. No DB/007 (2001)

7. Caussian 03, Revision B.03 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel, et al. Pittsburg PA, 2003. 680 p.

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

Elkin Mikhail Davydovich –
Doctor of Sciences in Physics and Mathematics,
Professor of the Department of «Technical
Physics and Information Technologies»
of Engels Technological Institute (branch)
of Saratov State Technical University

Колесникова Ольга Васильевна –
ассистент кафедры «Информатика»
Саратовского государственного
технического университета

Kolesnikova Olga Vasilyevna –
Assistant of the Department
of «Information Sciences»
of Saratov State Technical University

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

Kladiyeva Anna Sergeevna –
Post-graduate student of the Department
of «Technical Physics and Information
Technologies» of Engels Technological
Institute (branch)
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 26.11.08, принята к опубликованию 25.02.09

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.373.002

А.А. Лемякин, В.И. Воронин

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В МЕЖЭЛЕКТРОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРИБОРОВ ПРИ ГНЕЗДОВОЙ ОТКАЧКЕ

Приведены теоретические и экспериментальные результаты исследования изменения давления в межэлектродном пространстве прибора при гнездовой откачке в зависимости от величины разнесения корпуса прибора и заглушки. Установлено оптимальное значение величины разнесения, обеспечивающее наиболее низкое давление газов в межэлектродном пространстве.

Гнездовая откачка, анод, катод, эмиссия, межэлектродное пространство, эвакуационный зазор, газовый поток.

A.A. Lemyakin, V.I. Voronin

GAS FLOWS DISTRIBUTION IN THE INTERELECTRODE SPACE OF THE DEVICE AT JACK EVACUATION

Theoretical and experimental research results of pressure change in the interelectrode space of the device at jack evacuation depending on the diversity quantity of the device housing and a plug are presented. The optimal value of diversity providing the lowest gas pressure in the interelectrode space is defined.

Jack evacuation, anode, cathode, emission, interelectrode space, evacuation gap, gas flow.

Как отмечается в работах [1-3], основной причиной падения эмиссионной активности катода является ухудшение вакуума в приборе при электронной бомбардировке загрязненной или плохо обезгаженной арматуры.

Бесштенгельная откачка металлокерамических электровакуумных приборов (ЭВП) (титано-керамические лампы, триоды, митроны и др.) сопровождается совмещением режимов обработки различных деталей прибора (анодная система, катод, управляющий электрод и т.д.). При этом из всех элементов прибора выделяется значительное количество газов, что при недостаточной скорости откачки приводит к значительному повышению давления в приборе и ухудшению его параметров.

Наиболее опасным для катода, нагретого до рабочей температуры, является повышение давления в межэлектродном пространстве. Межэлектродное пространство любого ЭВП может быть представлено символически как объем, из которого происходит эвакуация газов, выделяющихся из катода во время его обработки.

Эквивалентная схема камерной откачки ЭВП с учетом объема межэлектродного пространства представлена на рис. 1, позволяет провести анализ распределения газовых потоков в межэлектродном пространстве.

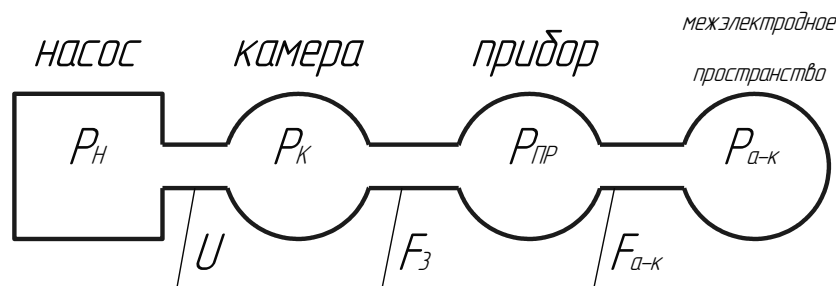


Рис. 1. Эквивалентная схема камерной откачки электроввакуумных приборов с учетом межэлектродного пространства: P_H – рабочее давление насоса; P_K – рабочее давление в камере; $P_{ПР}$ – рабочее давление в приборе; P_{a-k} – давление в межэлектродном пространстве; U – пропускная способность откачной системы; $F_з$ – проводимость эвакуационного зазора; F_{a-k} – проводимость зазора анод-катод

При анализе распределения потоков газов, выделяющихся из катода, следует учитывать наличие окружающей арматуры. Наличие арматуры вызывает многократное отражение молекул газа, а, следовательно, распределение молекул происходит по закону Максвелла – Больцмана.

В межэлектродном пространстве имеют место направленные потоки газов, что приводит к возникновению неравновесных условий.

В случае высокого вакуума молекулы, покинувшие объект (катод), обязательно попадают на элементы поверхностей, окружающих объект. Если эти поверхности отражают молекулы газа, то появляется вероятность возврата газа на объект (источник газовой выделенности).

Для качественного анализа распределения потоков газов в межэлектродном пространстве примем следующие допущения:

1) коэффициент захвата молекул объектом равен β , где β – вероятность взаимодействия поверхности катода с попадающими на него частицами газа. Для упрощения расчетов примем $\beta = 1$;

2) коэффициент захвата молекул анодом равен 0, что возможно в случае повышенной температуры анода [4];

3) газовой выделенности из анода отсутствует или несоизмеримо мало по сравнению с газовой выделенностью из катода;

4) газовой выделенности из катода равномерно по его поверхности и постоянно во времени (или хотя бы в исследуемый промежуток времени);

5) коэффициент «захвата» молекул зазором F_{a-k} (коэффициент откачки) равен α ;

6) анод отражает молекулы зеркально, то есть его поверхность нагрета до температуры выше 200°C [5].

На рис. 2 представлено распределение потока газов в межэлектродном пространстве при различном разнесении корпуса и заглушки h . С учетом указанных допущений можно записать условие баланса молекул на воображаемой поверхности зазора:

$$n_3 = [n_1(1 - A) + n_2(1 - C) + n_3(1 - K)(1 - B)](1 - \alpha), \quad 1/c, \quad (1)$$

где A – вероятность попадания молекул газа с катода на анод (доля молекулярного потока на анод); B – вероятность попадания молекул, «отраженных» зазором, на анод; C – вероятность возврата молекул с анода на катод (доля отраженных анодом молекул); K – вероятность попадания «отраженных» зазором F_3 молекул на катод (доля возвращающихся в межэлектродное пространство молекул); n_1 – число молекул, излучаемых в единицу времени поверхностью катода; n_2 – число молекул, покидающих в единицу времени анод; n_3 – число молекул, возвращающихся в единицу времени из зазора в межэлектродное пространство.

Понятие «отраженный зазором поток» является чисто условным и означает обратный поток молекул газов из полости прибора в межэлектродное пространство.

Из уравнения (1) следует, что:

$$n_3 = \frac{n_1(1-A) + n_2(1-C)}{1 - (1-K)(1-B)(1-\alpha)} \cdot (1-\alpha), \quad 1/c. \quad (2)$$

Величину потока n_2 можно определить, исходя из п. 2 допущений:

$$n_2 = n_1 A + \frac{n_1(1-A)(1-\alpha)B + n_2(1-C)(1-\alpha)B}{1 - (1-K)(1-B)(1-\alpha)}, \quad 1/c, \quad (3)$$

или после преобразования

$$n_2 = n_1 A \frac{1-a(1-A)}{1-a(1-C)}, \quad 1/c, \quad (4)$$

где

$$a = \frac{(1-\alpha)B}{1 - (1-K)(1-B)(1-\alpha)}. \quad (5)$$

Число молекул, возвращающихся в единицу времени на катод после первого столкновения со всеми поверхностями, равно:

$$N_{обр} = n_3 K + n_2 C = n_1 AC \left[\frac{aK}{ACB} (1-A) + \frac{aK}{CB} (1-C) + \frac{1+a(1-A)}{1-a(1-C)} \right]. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что поток газа на катод зависит от геометрии электродов и скорости откачки газов из межэлектродного пространства.

В случае интенсивной откачки газов из межэлектродного пространства ($\alpha = 1$), поток n_3 в межэлектродное пространство отсутствует и поток $N_{обр}$ будет зависеть от геометрических параметров прибора, т.е.

$$N_{обр} = n_1 AC \quad \text{при} \quad \alpha = 1. \quad (7)$$

Коэффициент откачки α показывает соотношение между выделившимся и отведенным потоками газов. Предположим, что весь поток газов, выделяемых катодом, падает на зазор. Тогда баланс между отводящимся через зазор F_{a-k} потоком $Q_{отв}$, потоком, падающим на зазор $Q_{выд}$, и обратным потоком в межэлектродное пространство $Q_{возв}$, может быть записан в виде:

$$Q_{отв} + Q_{возв} = Q_{выд} \quad (8)$$

или

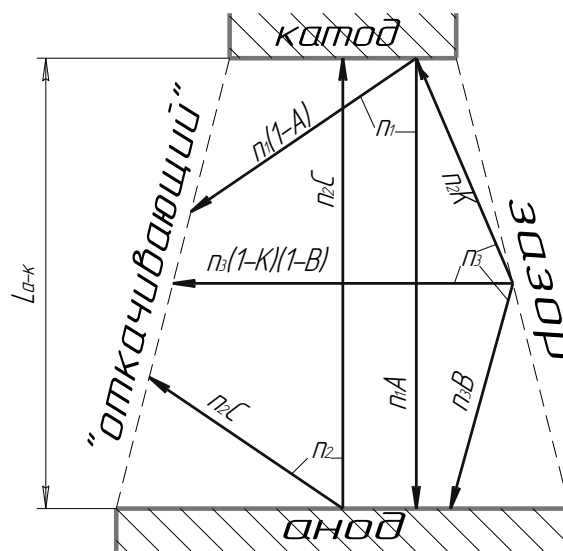


Рис. 2. Расчетная схема распределения газовых потоков в прикатодном объеме

$$\frac{Q_{отв}}{Q_{выд}} + \frac{Q_{возв}}{Q_{выд}} = 1 \quad (9)$$

при условии отсутствия других источников газовой выделенности, где величина $Q_{отв}/Q_{выд}$ и представляет собой коэффициент откачки. Величину α можно представить в виде:

$$\alpha = \frac{Q_{отв}}{Q_{выд}} = \frac{S_{a-k} \cdot P_{a-k}}{Q_{выд}}, \quad (10)$$

где S_{a-k} – скорость откачки газов из межэлектродного пространства, л/с; P_{a-k} – давление газов в межэлектродном пространстве, Па.

При откачке ЭВП давление в межэлектродном пространстве определяется не только относительными скоростями газовой выделенности и эвакуации газов, но и величиной газовых потоков, перераспределяющихся между электродами (n_1 и n_2).

Из схемы распределения газовых потоков в межэлектродном пространстве (рис. 2) видно, что общий поток газов, выделяющихся из катода, делится на две составляющие: $n_1(1-A)$ и $n_1 A$. На рис. 3 показано соотношение между величинами этих потоков в процессе откачки. При откачке с малой величиной h имеется определенное соотношение между величиной потоков, которое изменяется по мере увеличения расстояния между корпусом и заглушкой: величина потока газов, падающих на «откачивающий зазор» $n_1(1-A)$, увеличивается, величина потоков газов, падающих на анод $n_1 A$, уменьшается. Это происходит до тех пор, пока проводимость откачивающего зазора не обеспечит полный отвод газов, падающих на зазор. При этом величина потока $n_1 A$ уменьшается, что должно приводить к уменьшению величины обратного потока газов на катод и уменьшению степени его отравления.

Из рис. 3 видно, что величина обратного потока зависит от величины потока газов из полости прибора в межэлектродное пространство ($n_3 K$) и величины газового потока, отражающегося от анода ($n_2 C$). С увеличением величины h и, соответственно, проводимости «откачивающего» зазора величина потока $n_3 K$ стремится к нулю, а величина потока $n_2 C$ значительно уменьшается. Разнесение заглушки на расстояние, обеспечивающее эффективную откачку газов из межэлектродного пространства, приводит к уменьшению обратного потока примерно в 15 раз.

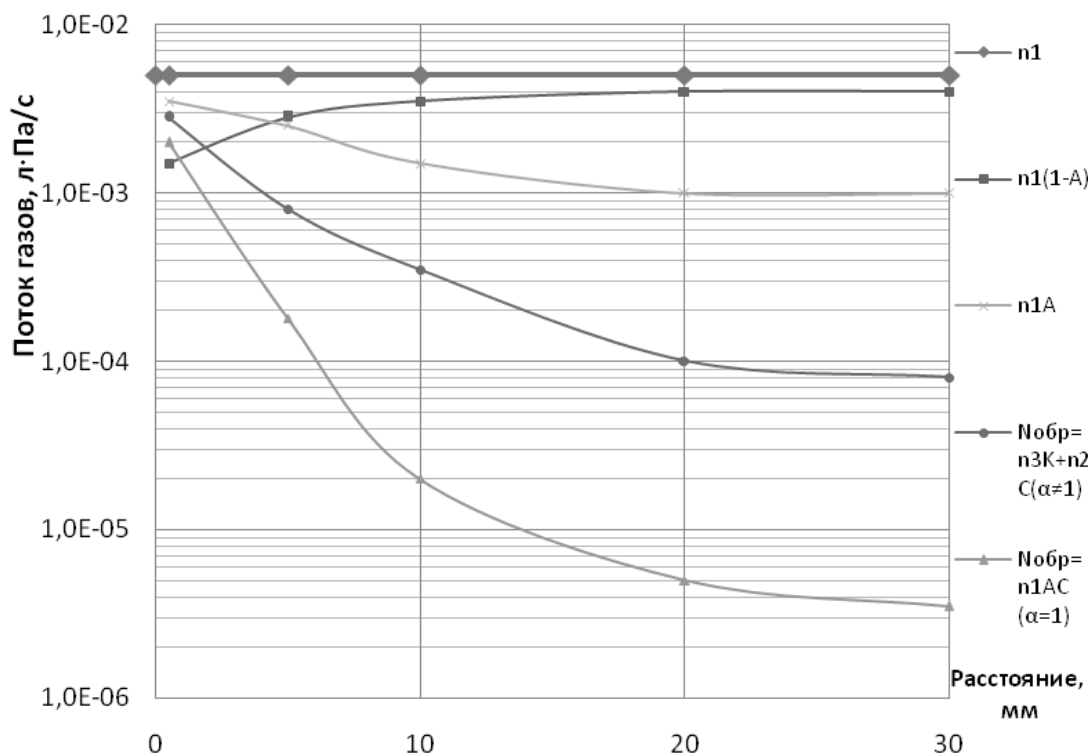


Рис. 3. Распределение газовых потоков в межэлектродном пространстве прибора

Таким образом, с учетом приведенных рассуждений, для наиболее полного удаления газов из межэлектродного пространства при гнездовой откачке должно соблюдаться условие:

$$S_K \geq S_{ПП} \geq S_{a-k}, \quad (11)$$

где S_K – скорость откачки камеры, л/с; $S_{ПП}$ – скорость откачки газов, выделяющихся из арматуры и катода прибора и откачиваемых через зазор между F_3 , л/с; S_{a-k} – скорость эвакуации газов из межэлектродного пространства, л/с.

Определив путем построения кривых изменения обратного потока газов на катод (рис. 3) расстояние, при котором обратный поток устраняется наиболее полно (например, составляет 0,9 от величины обратного потока на катод при откачке без разнесения частей), можно определить соответственно проводимость «откачивающего» зазора F_{a-k} при эвакуации газов через него.

$$F_{a-k} = 76k' \cdot \frac{L_{a-k}^2 (d_a + d_k)^2}{(d_a - d_k) \left[L_{a-k} + \frac{\pi}{2} (d_a + d_k) \right]} \cdot \left(\frac{T}{M} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

$$S_{a-k} = \frac{S_{np} \cdot F_{a-k}}{S_{np} + F_{a-k}}, \quad (13)$$

где L_{a-k} – расстояние между электродами, см; d_a – диаметр анода, см; d_k – диаметр катода, см; S_{np} – скорость откачки прибора через зазор F_3 , л/с; k' – коэффициент Клаузинга.

Таким образом, одним из требований к величине оптимального расстояния между корпусом и заглушкой h прибора является обеспечение полного отвода газов из межэлектродного пространства.

Теоретические исследования возможности уменьшения отравления катода выделяющимися из него газами подтверждаются экспериментальными данными.

Представленные на рис. 4 кривые изменения плотности тока во время длительной выдержки катодов, обработанных при различном F_3 , свидетельствуют о том, что увеличение F_3 способствует улучшению характеристик катода за счет обеспечения более низкого давления в межэлектродном пространстве при обработке катода на откачном посту. После окончания термического активирования катода наблюдается более быстрое нарастание анодного тока в случае обработки приборов при расстоянии прибор-заглушка $h > 10$ мм, чем при обработке с расстоянием $h < 10$ мм. Значение плотности тока после шестичасовой выдержки составляет примерно 325 mA/cm^2 , т.е. на 30% выше (245 mA/cm^2).

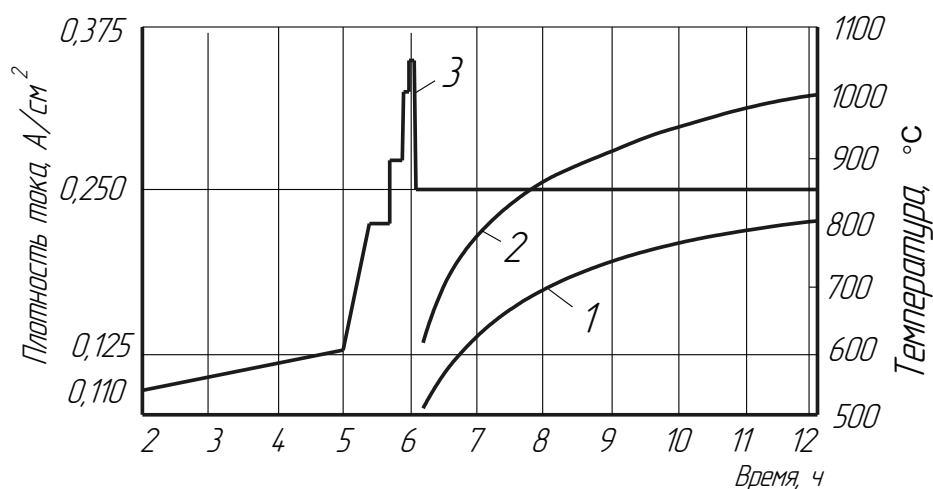


Рис. 4. Изменение плотности анодного тока во время обработки диода на откачном посту при разном расстоянии h : 1 – $h = 15$ мм; 2 – 1...5 мм; 3 – температура анода

Различия в электрических параметрах прибора объясняются, по-видимому, тем, что наличие отраженных потоков газа в межэлектродном пространстве во время откачки приборов с недостаточным разнесением h приводит к повышению давления в межэлектродном пространстве. Это, с одной стороны, способствует частичному отравлению катода и затрудняет его активирование, с другой стороны, приводит к загрязнению окружающих электродов активными составляющими газовой среды.

Проведенными исследованиями подтверждается наличие избыточного, по сравнению с давлением в оболочке прибора, давлением в межэлектродном пространстве прибора при расстоянии h , меньшем 10 мм. Выбранный в качестве индикатора изменения давления карбидированный вольфрамоториевый катод обладает хорошей реакцией на отравление выделяющимися газами. Приведенная на рис. 5 зависимость тока фокусирующего электрода от величины давления показывает, что при изменении давления во внутренней полости экспериментального диода от $5 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-1}$ Па эмиссионная активность катода уменьшается с 62 до 38 мА, т.е. на 40%. Н.В. Черепнин [6], ссылаясь на работу [7], объясняет это тем, что на поверхности таких катодов образуются «пятна» с различной работой выхода электронов, между которыми возникает электрическое поле, способствующее вырыванию электронов из металла. Электроны из области с большим потенциалом начнут перемещаться в область с низким потенциалом. Это перемещение происходит до тех пор, пока электронные уровни в обеих областях не уравниваются. Однако при этом области заряжаются разноименно, одни – положительно, другие – отрицательно. Вылетевшие из катода электроны могут частично вновь притягиваться к нему, попадая в зону действия положительного потенциала.

Кроме этого явления, возможно и прямое воздействие составляющих газовой среды на активный слой катода [6].

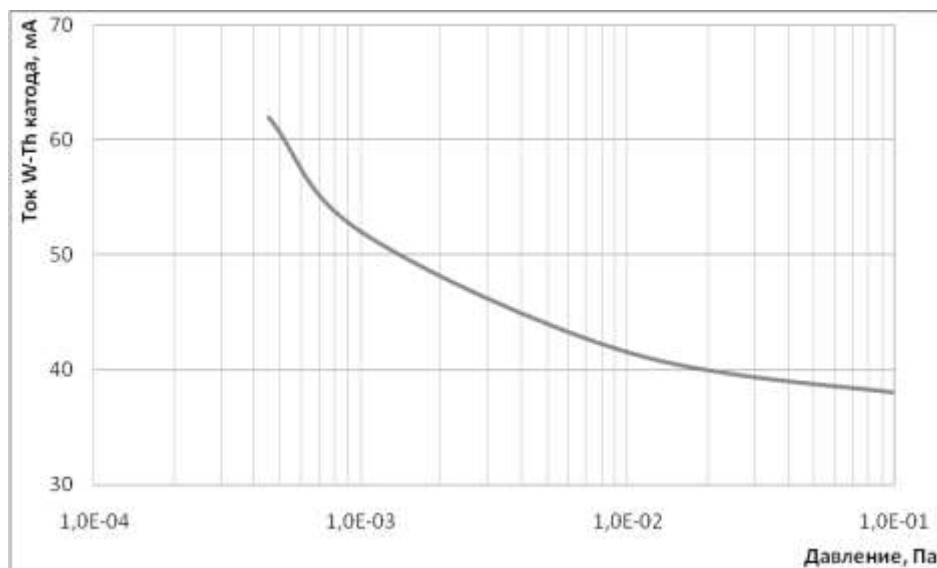


Рис. 5. Зависимость эмиссионной активности карбидированного вольфрамоториевого катода от величины давления в прикатодной зоне: $T_k = 1400^\circ\text{C}$)

ЛИТЕРАТУРА

1. Мойжес Б.Я. Физические процессы в оксидном катоде / Б.Я. Мойжес. М.: Наука, 1968. 480 с.
2. Воронин В.И. Исследование процесса камерной откачки митронов с разнесением частей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.И. Воронин. М., 1975. 24 с.
3. Черепнин Н.В. Основы очистки обезгаживания и откачки в вакуумной технике / Н.В. Черепнин. М.: Советское радио, 1967. 408 с.
4. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники / С. Дэшман. М.: Мир, 1964. 716 с.
5. Датц Ш. Отражение модулированных пучков гелия и дейтерия от платиновой поверхности. Взаимодействие газов с поверхностями / Ш. Датц, Дж. Мур, Э. Тейлор. М.: Мир, 1965. 198 с.
6. Черепнин Н.В. Сорбционные явления в вакуумной технике / Н.В. Черепнин. М.: Советское радио, 1973. 384 с.
7. Добрецов Л.Н. Эмиссионная электроника / Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. М.: Наука, 1966. 180 с.

Лемякин Андрей Алексеевич – ассистент кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета

Lemyakin Andrey Alekseyevich – Assistant of the Department of «Electronic Machine-building and Welding» of Saratov State Technical University

Воронин Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета

Voronin Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Electronic Machine-building and Welding» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 23.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

А.В. Михеев**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ШУМОВ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Предложен способ учета шумовых параметров реальных датчиков первичной информации при математическом моделировании бесплатформенных инерциальных систем. Показано влияние компонентов шумов выходных сигналов как отдельных, так и в совокупности, датчиков первичной информации на точность работы бесплатформенной инерциальной системы.

Бесплатформенная инерциальная навигационная система, погрешности инерциальных датчиков, шумы инерциальных датчиков, вариация Аллана, математическое моделирование работы БИНС.

A.V. Mikheyev**SENSORS NOISE MODEL DEVELOPMENT AND APPLICATION FOR MATHEMATICAL SIMULATION OF THE STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM FUNCTIONING**

The way of real sensors noise parameters accommodation under the strapdown inertial navigation systems mathematical simulation is offered. The sensors output signal noises components both separate and aggregate influence on the strapdown inertial navigation system accuracy is shown.

Strapdown inertial navigation system, inertial sensors errors, inertial sensors noises, Allan variation, mathematical modeling of SINS.

Математическое моделирование широко применяется для отработки алгоритмов функционирования различных инерциальных систем, в том числе и бесплатформенных, например таких, как бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) [1] или бесплатформенный гироскоп [2]. Математическое моделирование позволяет оценить качество работы инерциальной системы, поскольку вычисление погрешностей выходных параметров достигается достаточно легким путем, в отличие от, например, натурных или полунатурных испытаний, когда для определения погрешностей требуется наличие эталонной системы. В ходе моделирования оценивается поведение инерциальной системы, определяемой по алгоритмам вычисления параметров ориентации и навигации, составленным в виде программы. Вначале обрабатывается функционирование БИНС по алгоритмам идеальной работы, когда отсутствуют погрешности датчиков первичной информации (ДПИ), что позволяет оценить методические и вычислительные погрешности. Затем производят моделирование работы инерциальной системы с учетом погрешностей датчиков. Для перечисленных выше инерциальных систем, построенных на основе триады гироскопических измерителей угловых скоростей (ТГИУС) и триады измерителей кажущихся ускорений (ТИКУ) [1], характерны погрешности, вызванные следующими погрешностями ТГИУС:

- угловая скорость дрейфа;
- погрешность масштабного коэффициента;

- нелинейность статической характеристики;
- асимметричность статической характеристики;
- шумовые компоненты выходного сигнала гироскопа, зависящие от ряда параметров, и следующими погрешностями ТИКУ:
 - смещение нулевого сигнала акселерометра;
 - погрешность масштабного коэффициента;
 - нелинейность статической характеристики;
 - асимметричность статической характеристики;
 - шумовые компоненты выходного сигнала акселерометра, так же, как и в случае для гироскопа, зависящие от ряда параметров.

Задавая конкретные величины указанных параметров погрешностей ДПИ, определяют, какими точностными параметрами будет обладать моделируемая инерциальная система. На практике, для моделирования используются параметры погрешностей уже существующих гироскопов и акселерометров, что позволяет для получения требуемых параметров инерциальной системы подобрать конкретные марки ДПИ.

В литературе [1, 13-23], описывающей математическое моделирование инерциальных систем, обычно учитываются угловая скорость дрейфа и погрешность масштабного коэффициента гироскопов, сдвиг нулевого сигнала и погрешность масштабного коэффициента акселерометров. Реже учитываются нелинейности их статических характеристик, еще реже – асимметрия. Менее всего освещен [11, 20] учет шумовых компонентов выходного сигнала ДПИ. Как правило, используется или «белый» шум [6, 19] или же коррелированный марковский процесс [16, 19], которые достаточно редко отражают реальную картину шума в выходном сигнале ДПИ.

Для описания параметров шума выходного сигнала ДПИ часто используется такая статистическая оценка, как среднеквадратическое отклонение (СКО). Однако, она наиболее пригодна для оценки упомянутых «белого» шума или коррелированного марковского процесса. Шумы реальных датчиков имеют более сложную структуру, которую невозможно оценить с помощью СКО. Однако даже при наличии связи со временем корреляции, он недостаточен для предсказания характеристик систем на основе датчиков угловой скорости.

Другим методом является метод оценки спектральной плотности мощности (СПМ) [3]. СПМ является наиболее полным представлением спектральной декомпозиции временных рядов. Данный метод хорошо подходит для анализа как периодических, так и аperiodических сигналов. В стационарных процессах зависимость между двусторонним СПМ $S(\omega)$ и ковариацией $K(\tau)$ запишется в виде:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega\tau} K(\tau) d\tau; \quad (1)$$

$$K(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega,$$

где $K(\tau)$ – ковариация случайного процесса.

У определенных процессов, в частности периодических, такой параметр, как шум квантизации, лучше всего описывается их энергетическим спектром или интегральной СПМ, так как их амплитуда в СПМ зависит от частоты дискретизации. Это свойство используется для отделения, например, шума квантизации от белого шума. Оба параметра имеют на СПМ наклон +2 дек/дек, но амплитуда белого шума на СПМ не зависит от частоты дискретизации (разрешение полосы пропускания), в то время как амплитуда шума квантизации на СПМ непосредственно пропорциональна периоду дискретизации.

Наиболее перспективным методом определения дрейфа и шумовых характеристик ДПИ является использование метода вариации Аллана. Это метод представления средне-

квадратичного случайного дрейфа в зависимости от времени усреднения. Он прост в вычислениях, значительно лучше подходит для анализа шума, чем простое вычисление СКО, относительно прост для интерпретации и понимания. Метод не очень хорошо подходит для строгого анализа, но является разумным решением в процессе подготовки моделей ошибок инерциальных датчиков. Для применения метода определения и оценки коэффициентов случайного дрейфа требуется предварительно сформированное уравнение ошибок.

Вариация Аллана представляет собой функцию изменения среднеквадратичного случайного дрейфа в зависимости от времени усреднения [4]. Выражение для вычисления вариации Аллана [11]:

$$\sigma^2(nT_0) = \frac{1}{2(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} (\bar{\omega}_{i+1}(nT_0) - \bar{\omega}_i(nT_0))^2, \quad (2)$$

где nT_0 – величина интервала осреднения (τ); n – количество отсчетов в одном интервале измерений; T_0 – период дискретизации; $\bar{\omega}_i$ – среднее значение угловой скорости на i -м интервале; m – количество интервалов в разбиении $m = \frac{T}{\tau}$; T – время всего замера.

Среди пяти основных источников шума ДПИ можно выделить случайное блуждание по углу («белый» шум), случайное блуждание скорости, нестабильность смещения нуля (фликкер – шум), шум квантования и тренд.

Вариация Аллана позволяет выделить и оценить величины различных шумовых составляющих, присутствующих в данных. Обычно изображается график зависимости квадратного корня из вариации Аллана от времени усреднения τ в логарифмическом масштабе по обеим осям.

В общем случае в данных могут присутствовать несколько случайных процессов. Опыт показывает, что в большинстве случаев различные шумовые составляющие проявляются в различных областях τ . Это позволяет легко выделить различные случайные процессы в данных. Если предположить, что присутствующие случайные процессы статистически независимы между собой, то вариация Аллана при любом заданном τ представляет собой сумму вариаций Аллана каждого из этих процессов при этом же значении τ .

Вариация Аллана позволяет выделять следующие шумовые компоненты:

- квазидетерминированное смещение нулевого сигнала (тренд), обозначается R ;
- случайный уход по угловой скорости (для гироскопов) или по ускорению (для акселерометров), обозначается K ;
- нестабильность смещения нулевого сигнала (фликкер – шум), обозначается B ;
- случайный уход по углу (для гироскопов) или по скорости (для акселерометров) (белый шум), обозначается N ;
- шум квантования выходного сигнала, обозначается Q ;
- марковский коррелированный шум с определенной амплитудой и временем корреляции, обозначаемыми q_c и T_c соответственно.

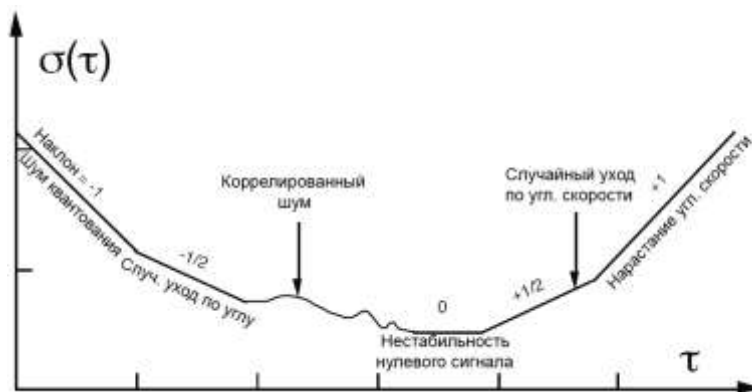


Рис. 1. График кривой вариации Аллана

На рис. 1 показан график гипотетической вариации Аллана с указанием областей, отличающихся величиной наклона графика, характер которых позволяет судить о том или ином шумовом параметре.

Указанные параметры шума позволяют достаточно точно описать шумовые процессы в выходном сигнале ДПИ, не слишком углубляясь в природу их возникновения, поскольку зачастую сделать это очень сложно. Для того, чтобы при математическом моделировании учесть шумовые параметры той или иной модели ДПИ, достаточно, имея записи выходного сигнала, провести их анализ с помощью аппарата вариации Аллана.

Таким образом, учитывая вышесказанное, имеем задачу синтеза шума по имеющимся численным значениям коэффициентов вариации Аллана реального ДПИ. Необходимо отметить, что способ синтеза шума непосредственно по коэффициентам вариации Аллана на данный момент не известен. Но в то же время в литературе [8-10, 12] известен ряд способов синтеза шумов вида $1/f^\alpha$, что позволяет, при использовании формул пересчета между СПМ и параметрами вариации Аллана в зависимости от частоты f [3], получить способ синтеза шумов по этим коэффициентам:

$$S_{\Omega N}(f) = N^2, \quad (3)$$

$$S_{\Omega B}(f) = \begin{cases} \left(\frac{B^2}{2\pi}\right) \frac{1}{f}, & f \leq f_0, \\ 0, & f > f_0 \end{cases}, \quad (4)$$

где f_0 – частота среза; $S_{\Omega N}(f)$, $S_{\Omega B}(f)$ – спектральные плотности мощности, соответствующие процессам случайного ухода по углу (по скорости) и нестабильности смещения нулевого сигнала; N , B – величины случайного ухода по углу (по скорости) и нестабильности смещения нулевого сигнала;

$$S_{\Omega K}(f) = \left(\frac{K}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{f^2}, \quad (5)$$

$$S_{\Omega R}(f) = \frac{R^2}{(2\pi f)^3}, \quad (6)$$

$$S_{\Omega Q}(f) = \begin{cases} \tau_0 Q^2 \left(\frac{\sin^2(\pi f \tau_0)}{(\pi f \tau_0)^2} \right), \\ \approx \tau_0 Q^2, & f < \frac{1}{2\tau_0} \end{cases}, \quad (7)$$

где τ_0 – шаг дискретизации; $S_{\Omega K}(f)$, $S_{\Omega R}(f)$, $S_{\Omega Q}(f)$ – спектральные плотности мощности, соответствующие процессам случайного ухода по угловой скорости (по ускорению), квазидетерминированного смещения нулевого сигнала и квантования выходного сигнала; K , R , Q – величины случайного ухода по угловой скорости (по ускорению), квазидетерминированного смещения нулевого сигнала и квантования выходного сигнала;

$$S_{\Omega Q}(f) = \frac{(q_c T_c)^2}{1 + (2\pi f T_c)^2}, \quad (8)$$

где $S_{\Omega q}(f)$ – спектральная плотность мощности марковского коррелированного процесса; q_c , T_c – амплитуда и время корреляции марковского коррелированного процесса.

В [11] производится сравнение эффективности различных способов синтеза. Наиболее простым как для понимания, так и для реализации является описываемый в [10] способ синтеза на основе быстрого преобразования Фурье по задаваемой спектральной характеристике. Основным его недостатком является требовательность к значительным объемам вычислительной памяти.

В качестве примера на рис. 2 представлены графики исходного сигнала волоконно-оптического гироскопа ВГ951 («Физоптика», г. Москва) и его вариация Аллана. Здесь же изображены графики синтезированного сигнала и его вариации Аллана. Коэффициенты вариации численно равны:

$$Q = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ угл.с}; \quad N = 0,025 \text{ } ^\circ/\sqrt{\text{с}}; \quad B = 0,5 \text{ } ^\circ/\text{с}; \quad q_c = 2,33 \text{ } ^\circ/\sqrt{\text{с}}; \quad T_c = 0,034 \text{ с}.$$

Для того, чтобы показать влияние шумов датчиков на точность выходных параметров инерциальной системы, было проведено математическое моделирование БИНС на основе волоконно-оптических гироскопов ПНСК 40-018 («Оптолинк», Саратов) и кварцевых акселерометров АКП-2 (ПО им. Пилюгина, Арзамас). По записям ДПИ и по паспортным данным были определены параметры датчиков, которые затем применялись при моделировании.

На первом этапе проводилось математическое моделирование БИНС с учетом основных погрешностей ДПИ, но без учета шума выходного сигнала. Принимались в расчет погрешности гироскопов: систематические составляющие дрейфов – $\Delta\omega_{xi} = 0,01$ ($i = 1, 2, 3$) угл. град/ч; погрешности масштабных коэффициентов $\delta\omega_{xi} = 10^{-4}$ ($i = 1, 2, 3$); погрешности несимметрии статических характеристик ВОГ $A\omega_{xi} = 10^{-6}$ ($i = 1, 2, 3$) и акселерометров; сдвиг нулевого сигнала $\Delta W_{xi} = 10^{-4} \text{ м/с}^2$; погрешности масштабных коэффициентов $\delta W_{xi} = 10^{-4}$ ($i = 1, 2, 3$).

Программы моделирования базировались на численном методе Рунге – Кутта 4-5-го порядков с автоматически варьируемым шагом интегрирования от максимального значения 0,01 с и меньше. Введена компенсация поворотных ускорений и скоростной погрешности для режима ГК. Для оценки эффективности алгоритмов произведено математическое моделирование процесса функционирования БИНС по алгоритмам идеальной работы, т.е. при отсутствии у ДПИ погрешностей, когда точные алгоритмы заменены дискретными по схеме Рунге – Кутта. Модель Земли принята в виде сферы.

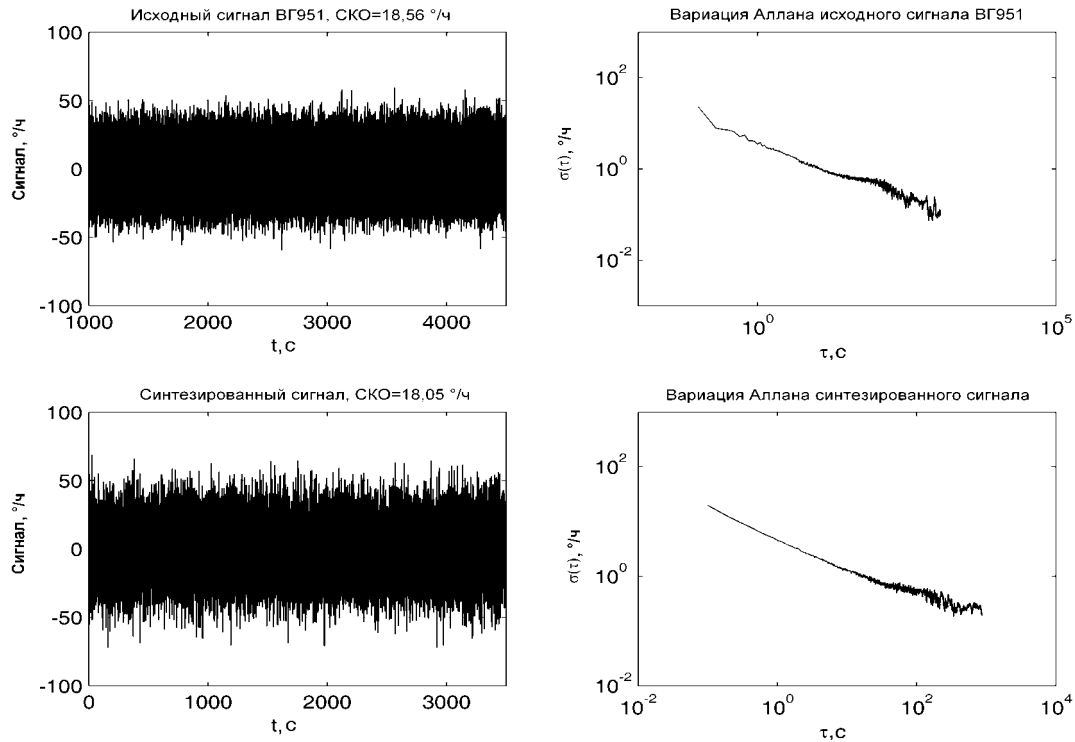


Рис. 2. Графики исходного и синтезированного сигналов гироскопа ВГ951, а также их вариаций Аллана

При моделировании вначале ($t < 500$ с) на неподвижном относительно Земли подвижном объекте производилась начальная выставка [1]. Затем с момента времени $t = 1000$, с и до конца моделирования включалась качка объекта по каналам курса Ψ , тангажа θ и крена γ :

$$\Psi = \Psi_a \sin(\omega_\Psi t + \Delta\chi_\Psi); \quad \theta = \theta_a \sin(\omega_\theta t + \Delta\chi_\theta); \quad \gamma = \gamma_a \sin(\omega_\gamma t + \Delta\chi_\gamma), \quad (9)$$

где $\theta_a, \gamma_a, \Psi_a$ – амплитуды качки по каналам тангажа, крена и курса, изменяющиеся плавно, по экспоненциальному закону:

$$\theta_a = 0,1 \cdot (1 - e^{-0,6(t-t_0)}); \quad \Psi_a = 0,1 \cdot (1 - e^{-0,6(t-t_0)}); \quad \gamma_a = 0,1 \cdot (1 - e^{-0,6(t-t_0)}). \quad (10)$$

Здесь – $\omega_\Psi, \omega_\theta, \omega_\gamma$ – угловые частоты качки по каналам курса, тангажа и крена, равные, соответственно 0,628; 0,314 и 1,256 рад/с, $\Delta\chi_\Psi, \Delta\chi_\theta, \Delta\chi_\gamma$ – фазы качки по каналам курса, тангажа и крена, равные, соответственно 0 рад, 0,7 рад и 0,4 рад. Также для подвижного объекта задавалось равноускоренное движение по двум осям ζ_1 и ζ_3 с последующим движением с постоянной скоростью:

$$t = 1200 \dots 1220 \text{ с}, \quad v_{\zeta_1} = \frac{dv_{\zeta_1}}{dt}(t-1200) \text{ м/с}; \quad v_{\zeta_3} = \frac{dv_{\zeta_3}}{dt}(t-1200) \text{ м/с}; \quad \frac{dv_{\zeta_1}}{dt} = \frac{dv_{\zeta_3}}{dt} = 1 \text{ м/с}^2;$$

$$v_{\zeta_2} = 0 \text{ м/с}^2; \quad t > 1220 \text{ с}, \quad v_{\zeta_1} = 20 \text{ м/с}, \quad \frac{dv_{\zeta_1}}{dt} = \frac{dv_{\zeta_3}}{dt} = 0 \text{ м/с}^2; \quad v_{\zeta_2} = 0 \text{ м/с}^2.$$

На рис. 3 изображены результаты моделирования в виде графиков погрешностей определения декартовых координат местоположения объекта в северном ($\Delta\zeta_1$) и восточном ($\Delta\zeta_3$) направлениях, а также угла курса ($\Delta\Psi$). Как видно из графиков, результирующие погрешности БИНС за время $t = 2 \cdot 10^4$ с составили следующие максимальные значения:

$$\Delta\Psi = 0,06, \text{ угл.град}; \quad \Delta\theta = 7 \cdot 10^{-3}, \text{ угл.град}; \quad \Delta\gamma = 1 \cdot 10^{-2}, \text{ угл.град}.$$

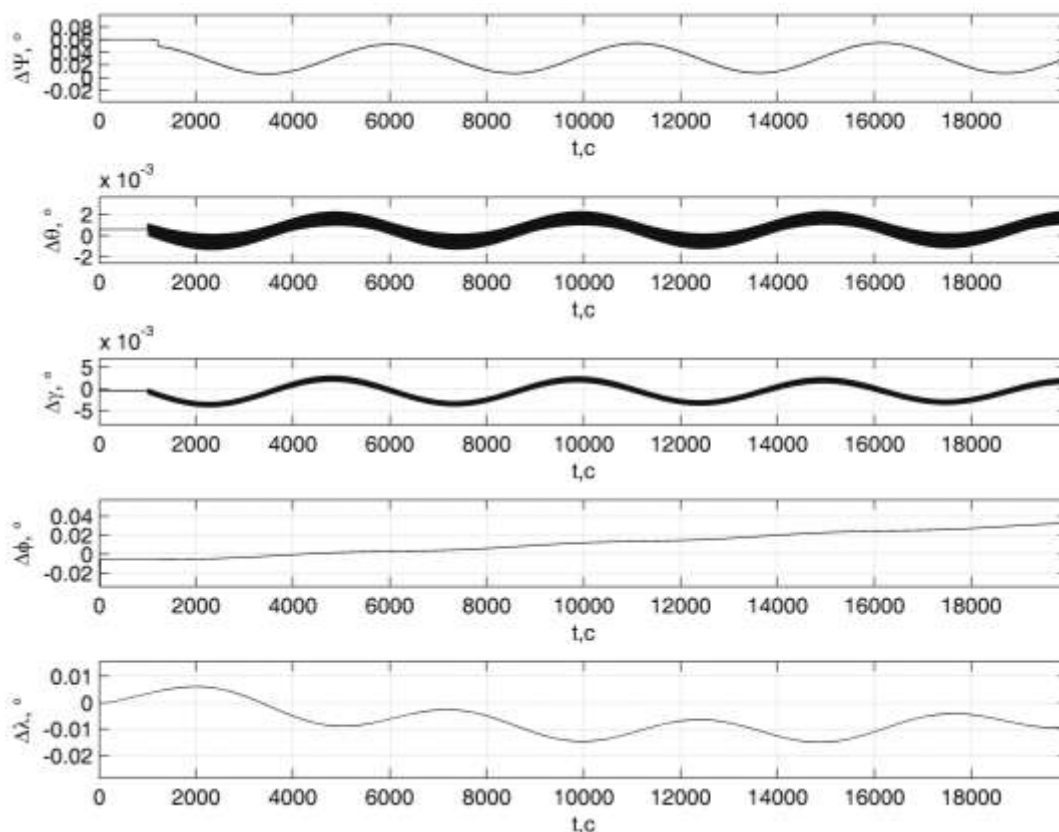


Рис. 3. Графики погрешностей БИНС без учета шумов датчиков

Затем было проведено математическое моделирование БИНС при аналогичных условиях, но с учетом шумов ДПИ. Результаты моделирования (рис. 3) свидетельствуют о том, что погрешности за счет шумов возросли до величин: $\Delta\Psi = 0,2$, угл.град; $\Delta\theta = 5 \cdot 10^{-3}$ угл.град; $\Delta\gamma = 1 \cdot 10^{-2}$, угл.град.; $t \in (0 \dots 2 \cdot 10^4)$, с.

Таким образом, учет шумовых параметров реальных датчиков позволяет более адекватно оценить работу инерциальной системы и принять соответствующие меры для повышения точности выходных параметров (применение адаптивной вейвлет-фильтрации).

Для оценки влияния шумов и дрейфов различных величин на точность БИНС было проведено математическое моделирование инерциальной системы на основе корректируемых кинематических уравнений Эйлера – Крылова [1].

Моделируемые сигналы гироскопов последовательно искусственно зашумлялись сигналами с заданными шумовыми параметрами:

- случайный уход по углу $N_n = 0,001; 0,01; 0,1$ °/√ч, $n = 1, 2, 3$;
- нестабильность смещения нулевого сигнала $B_n = 0,1; 1; 10$ °/ч, $n = 1, 2, 3$;
- случайный уход по угловой скорости $K_n = 1; 10; 100$ °/√ч³, $n = 1, 2, 3$;
- нарастание угловой скорости $R_n = 1; 10; 100$, °/ч², $n = 1, 2, 3$.

Выходными параметрами БИНСОН являются углы рыскания ψ , дифферента θ , крена γ , широты φ и долготы λ места. По результатам моделирования была оценена погрешность определения этих параметров при воздействии указанных видов шумов. Графики изменения погрешностей в зависимости от величины шума представлены на рис. 5 и 6. На графиках рис. 5 и 6 n – номер параметра случайных процессов N, B, K, R $n = 1, 2, 3$.

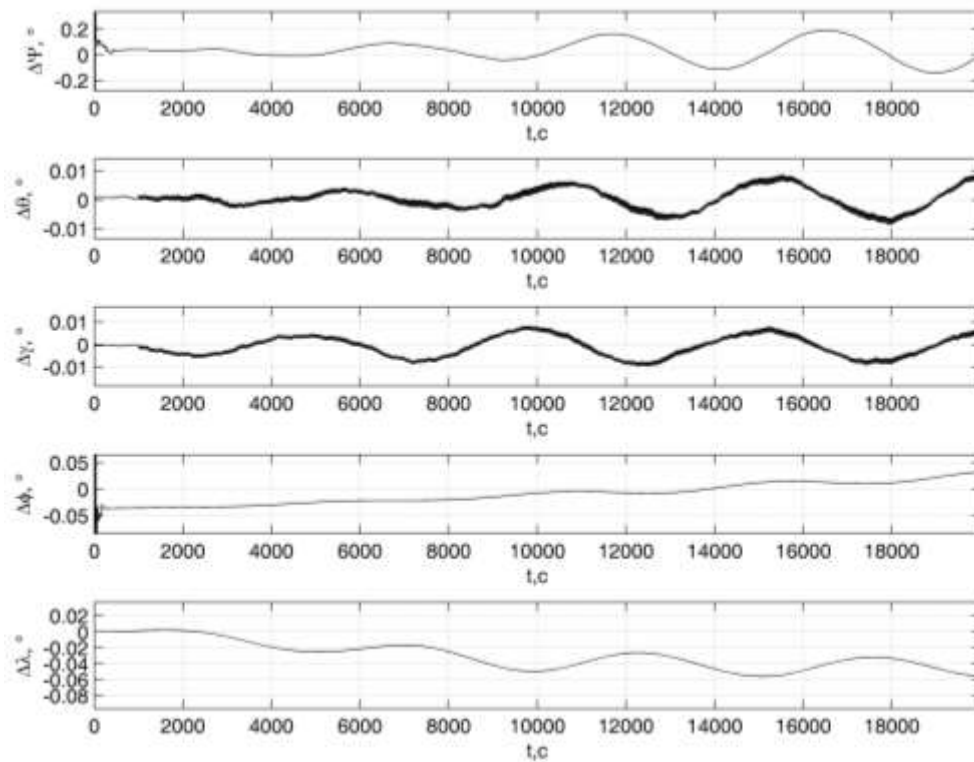


Рис. 4. Графики погрешностей БИНС с учетом шумов датчиков

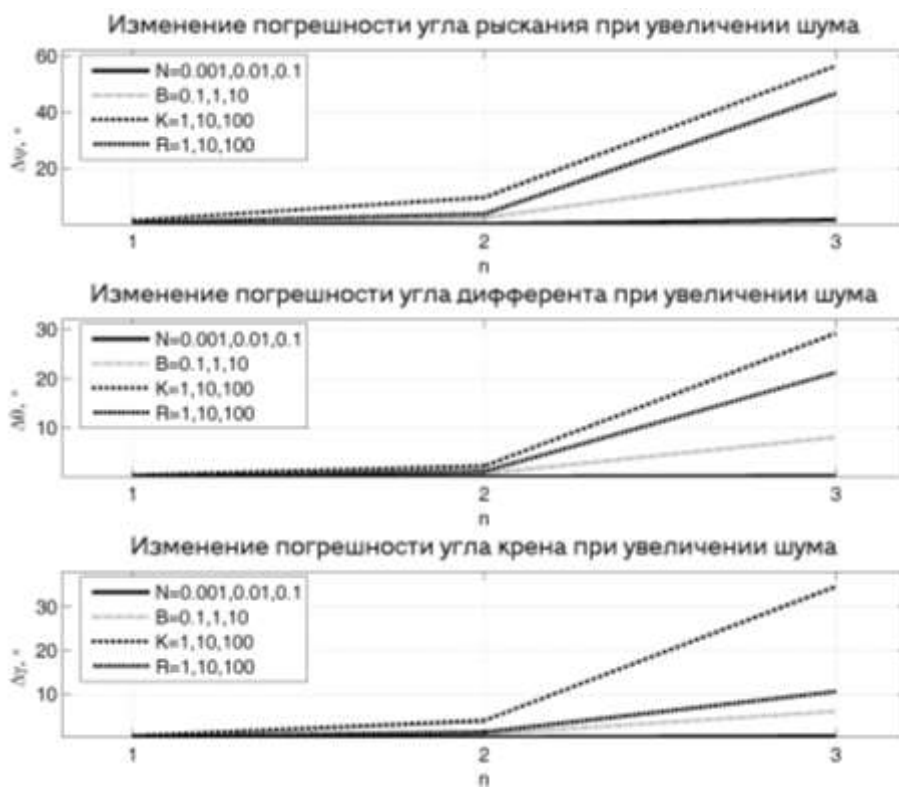


Рис. 5

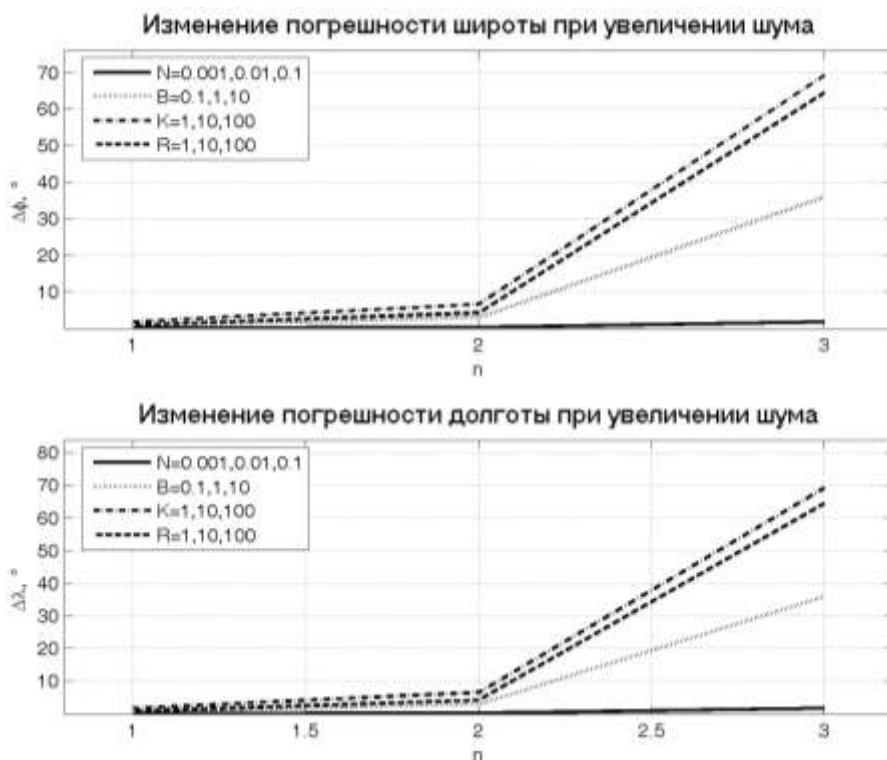


Рис. 6

Нетрудно видеть, что чем более низкочастотным является шум, тем более существенное влияние он оказывает. Наиболее заметным является увеличение погрешности выходных параметров при увеличении параметра шума R . Несколько меньше влияет случайный уход по угловой скорости K . Вклад нестабильности нулевого сигнала менее существенен.

Случайный уход по углу, в силу своей природы (так называемый «белый шум») влияет незначительно – точность инерциальной системы при наличии «белого шума» на 1-2 порядка выше. Следует заметить, что воздействие «белого шума» на этапе выставки БИНС успешно снижается за счет фильтрации сигналов ДПИ. Борьба с остальными типами шумов крайне затруднена и радикальным способом повысить точность инерциальной системы является подбор ДПИ с существенно меньшими величинами данных шумов в выходном сигнале.

Заключение. Предложены методика и алгоритм учета шумовых параметров ДПИ, в достаточной степени приближенных к реальным сигналам датчиков, что при математическом моделировании инерциальных систем позволяет получить наиболее адекватную оценку ее работы. Приводится пример синтеза выходного сигнала реального датчика – волоконно-оптического гироскопа ВГ951. Также показывается влияние шумовых параметров сигналов ДПИ в БИНС на основе ВОГ (ПНСК 40-018) и акселерометров (АКП-2), имеющих следующие погрешности: сдвиги нулей ВОГ составили $\Delta\omega_{xi} = 0,01$ ($i = 1,2,3$) угл.град/ч, погрешности масштабных коэффициентов $\delta\omega_{xi} = 10^{-4}$ ($i = 1,2,3$), погрешности несимметрии статических характеристик ВОГ $A\omega_{xi} = 10^{-6}$ ($i = 1,2,3$), шумы гироскопов с СКО 0,35 угл. град/ч, сдвиги нулей акселерометров $\Delta W_{xi} = 10^{-4}$ м/с², погрешности их масштабных коэффициентов $\delta W_{xi} = 10^{-4}$ ($i = 1,2,3$), шумы акселерометров с СКО $6 \cdot 10^{-4}$ м/с². Сравнение производилось для моделирования как без учета шумов ДПИ, так и с их учетом. Показано, что наличие шумов приводит к возрастанию погрешностей выходных параметров БИНС. Также показано влияние различных типов шумов на точность выходных параметров БИНС – чем более низкочастотным является компонент шума выходного сигнала ДПИ, тем большую погрешность выходных параметров БИНС он вызывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников П.К. Элементы теории работы одной разновидности бесплатформенных инерциальных систем ориентации / П.К. Плотников // Гироскопия и навигация. 1999. № 3. С. 23-35.
2. Волоконно-оптический гироскоп на основе бесплатформенной инерциальной системы ориентации и навигации / Ю.Н. Коркишко, В.А. Федоров, В.Е. Прилуцкий и др. // Сб. докл. XI Междунар. науч. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2004. С. 90-91.
3. IEEE Std. 952-1997. IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros. New York, IEEE, 1997. 77 p.
4. Использование вариации Аллана при исследовании характеристик микромеханического гироскопа / С.Г. Кучерков, Д.И. Лычев, А.И. Скалон, Л.А. Чертков // Гироскопия и навигация. 2003. № 2. С. 98-104.
5. Walchko K.J. Embedded Low Cost Inertial Navigation System. Florida Conference on Recent Advances in Robotics / K.J. Walchko. Dania Beach: University of Florida, 2003. P. 71-78. <http://www.mil.ufl.edu/publications/fcrar03/Walchko-2.pdf>
6. Woodman O.J. An introduction to inertial navigation / O.J. Woodman // Technical Report № 696. UCAM-CL-TR-696. Cambridge: University of Cambridge, 2007. 37 p. <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>
7. Stockwell W. Bias Stability Measurement: Allan Variance / W. Stockwell. Crossbow Technology, Inc. http://www.xbow.com/support/Support_pdf_files/Bias_Stability_Measurement.pdf
8. Plaszczynski S. Generating long streams of $1/f^\alpha$ noise. Fluctuation and Noise Letters / S. Plaszczynski. http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0510/0510081v2.pdf
9. Keshner M.S. $1/f$ noise / M.S. Keshner. Proc. IEEE. 1982. Vol. 70. P. 212-218.
10. Kasdin N.J. Discrete simulation of colored noise and stochastic-processes and $1/f^\alpha$ power-law noise generation / N.J. Kasdin. Proceedings of the IEEE. 1995. Vol. 83. Issue 5. P. 802-827.
11. Hou H. Inertial sensors errors modeling using Allan variance / H. Hou, N. EI-Sheimy. ION GPS/GNSS 2003 Proceeding. Portland, 2003. P. 2860-2867.
12. Greenhall C.A. FFT-Based Methods for Simulating Flicker FM / C.A. Greenhall // Proceedings of the 34th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting. Pasadena: California Institute of Technology, 2002. P. 481-492. <http://tycho.usno.navy.mil/ptti/ptti2002/paper46.pdf>
13. Теория и применение бесплатформенных систем ориентации и навигации подземных объектов / П.К. Плотников, А.И. Синева, В.Б. Никишин и др. // Материалы X Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2003. С. 101-103.
14. Большаков А.А. Применение кватернионных алгоритмов БСОН в системах подземной навигации / А.А. Большаков // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XVII Междунар. науч. конф.: в 10 т.; под общ. ред. В.С. Балакирева. Кострома: КГТУ, 2004. Т. 2. С. 134-137.
15. Большаков А.А. Программно-алгоритмические аспекты моделирования интегрированных бесплатформенных систем ориентации и навигации / А.А. Большаков / Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2004. 35 с. Библиогр.: с. 34-35. Деп. в ВИНТИ 20.10.04, № 1641-B2004.
16. Патент на изобретение РФ № 2295113. Инерциальный измерительный прибор / Ю.В. Чеботаревский, Ю.Н. Коркишко, В.А. Федоров и др. Зарег. в Гос. реестре изобретений РФ 10.03.2007, приоритет от 20.10.2006.
17. Большаков А.А. Математическое моделирование работы интегрированных бесплатформенных систем ориентации и навигации локального назначения: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / А.А. Большаков. Саратов, 2004. 21 с.

18. Багрова М.С. Алгоритмы комплексирования инерциального блока низкого класса точности и системы спутниковой навигации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.С. Багрова. М., 2001. 16 с.

19. Анучин О.Н. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / О.Н. Анучин, Г.И. Емельянец; под общ. ред. В.Г. Пешехонова. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2003. 390 с.

20. Nassar S. Improving the Inertial Navigation System (INS) Error Model for INS and INS/DGPS Applications / S. Nassar. UCGE Report № 20183. Calgary: University of Calgary, 2003. 178 p. http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/KPS/03.20183.SNassar.pdf

21. Плотников П.К. Построение и анализ кватернионных дифференциальных уравнений задачи определения ориентации твердого тела с помощью бесплатформенной инерциальной навигационной системы / П.К. Плотников // Известия РАН. Механика твердого тела. 1999. № 2. С. 3-14.

22. Применение кватернионных алгоритмов в бесплатформенных инерциальных системах ориентации и локальной навигации / П.К. Плотников, Ю.В. Чеботаревский, А.А. Большаков, В.Б. Никишин // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 10. С. 21-31.

23. Плотников П.К. К построению устойчивых кватернионных алгоритмов функционирования бескардановых гироинклинометров / П.К. Плотников, А.А. Большаков // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XVI Междунар. науч. конф.: в 10 т. Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2003. Т. 5. С. 10-12.

Михеев Алексей Владимирович –
ассистент кафедры «Приборостроение»
Саратовского государственного
технического университета

Mikheyev Aleksey Vladimirovich –
Assistant of the Department
of «Instrument marking»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 26.09.08, принята к опубликованию 10.12.08

УДК 621.373.002

Я.В. Перевозникова, В.И. Воронин

ОТКАЧКА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ ЧЕРЕЗ КОРОТКИЙ ШТЕНГЕЛЬ

Представлены результаты исследования камерной откачки электровакуумных приборов через короткий штенгель. Показано, что изменение диаметра штенгеля и расстояния между штенгелем и заглушкой привело к снижению давления в приборе.

Камерная откачка, экспериментальный диод, оксидный катод, разнесение частей, поток газов, штенгель.

Ya.V. Perevoznikova, V.I. Voronin

ELECTRICAL VACUUM DEVICES EVACUATION THROUGH A SHORT CHAMBER-EXHAUST TUBE

The research results of evacuation of electrical vacuum devices through a short chamber-exhaust tube are presented here. The increase of chamber-exhaust

tube diameter and the distance between it and a plug to optimal dimensions resulted in 1.5-2 fold pressure decrease in the device.

Chamber evacuation, experimental diode, oxide cathode, parts diversity, gas flow, exhaust tube.

Камерная откачка электровакуумных приборов (ЭВП) с разнесением частей имеет ряд преимуществ перед другими способами откачки [1, 2]. Однако существуют некоторые типы приборов, для которых применение такой откачки затруднительно. К ним относятся, например, крупногабаритные ЭВП сложной конфигурации. Для камерной откачки приборов этого типа требуются сложные оправки, а вакуумная камера имеет значительные размеры, что приводит к усложнению конструкции откачных постов. Другим типом приборов, для которых трудно применить вакуумную откачку с разнесением частей, являются металлостеклянные ЭВП. Нагрев таких приборов до температуры 650...750°C, позволяющий соединить части прибора диффузионной сваркой или пайкой, недопустим из-за опасности разрушения спая металла со стеклом.

Для указанных приборов более целесообразна откачка через короткий штенгель с герметизацией заглушки диффузионной сваркой или пайкой в конце процесса откачки, в ряде случаев – при нагреве места герметизации.

При откачке через короткий штенгель на изменение давления в приборе при обработке на откачном посту большое влияние будет оказывать проводимость зазора, зависящая от диаметра штенгеля и расстояния между штенгелем и заглушкой.

В настоящей работе экспериментально определено расстояние между штенгелем и заглушкой прибора во время обработки последнего на откачном посту. Необходимо определение оптимального расстояния, так как недостаточное разнесение заглушки и прибора приводит к повышению давления в приборе, а излишнее разнесение – к усложнению механизмов герметизации.

В качестве объектов исследования применялись специальные диоды (рис. 1) с оксидным катодом. Откачка диодов велась через короткие штенгели длиной 15 мм и диаметрами 16, 20, 30, 40 мм. Для сравнения диоды откачивались через обычный штенгель диаметром 8,5 мм и длиной 60 мм.

Конструкция технологической оснастки допускала изменение расстояния между штенгелем и заглушкой от 0 до 30 мм и их центрирование при герметизации.

В нижней части диода расположен манометрический датчик ПМИ-2 для измерения давления в приборе в процессе откачки.

При исследовании диоды откачивались в камере до давления $1 \cdot 10^{-3}$ Па. Затем в течение 1,5 ч температура поднималась до 600°C и последующее обезгаживание проводилось до давления в приборе $(1,5 \dots 2) \cdot 10^{-4}$ Па.

При подъёме температуры (через 100°C) и обезгаживании (через 1 ч) заглушка сближалась с корпусом ЭВП от 30 до 0 мм, и фиксировалось изменение давления.

Результаты проведённых исследований представлены на рис. 2, 3. Установлено, в частности, что наибольшее различие давления в диодах, откачиваемых через штенгели различных диаметров, наблюдается в период

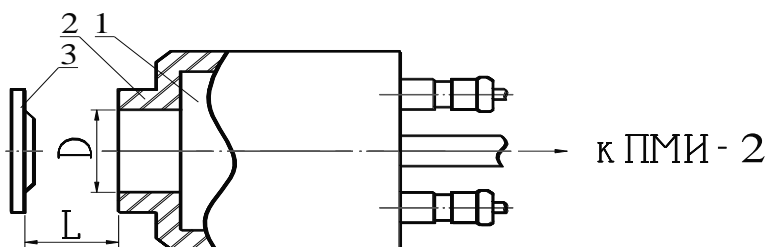


Рис. 1. Схема откачки экспериментального диода:
1 – оболочка; 2 – штенгель; 3 – заглушка; D – внутренний диаметр штенгеля; L – расстояние между штенгелем и заглушкой; ПМИ – преобразователь манометрический ионизационный

максимального газовыделения. Так, при откачке через короткие штенгели диаметра 16...20 мм давление в диодах увеличивалось до $5 \cdot 10^{-1}$ Па, а при откачке через штенгели диаметра 30...40 мм – не превышало $4 \cdot 10^{-3}$ Па. При расстоянии между штенгелем и заглушкой 30 мм проводимость кольцевого зазора значительно превышала проводимость самого штенгеля [3].

В других экспериментах в определённые моменты откачки заглушку приближали к штенгелю и фиксировалось начало заметного изменения давления, свидетельствующее об уменьшении эффективной скорости откачки диода.

Соотношение между диаметром штенгеля прибора D и расстоянием до заглушки L в период максимального газовыделения представлено в таблице.

D , мм	L , мм	L / D
40	10	0,4
30	10	0,33
20	8	0,35
10	6	0,37

Таким образом, экспериментально можно установить минимальное расстояние между штенгелем прибора и заглушкой в период максимального газовыделения из прибора: $L \approx 0,4 D$. Это соотношение несколько отличается от полученного ранее $L \approx 0,7 D$ [4], что объясняется следующими факторами:

- при выводе соотношения $L \approx 0,7 D$ предполагалось, что все молекулы, вылетающие из прибора, достигают заглушки и диффузно отражаются обратно в прибор (влияние фактора откачки не учитывалось);
- принимаемый в качестве заглушки плоский цилиндрический диск в реальном случае имеет заходный конус, что приводит к появлению краевого эффекта при отражении молекул;
- при расчётах не учитывалось фоновое давление в камере.

На рис. 2 представлены изменения давления в диодах во время подъёма температуры при откачке макетов через штенгели различной проводимости.

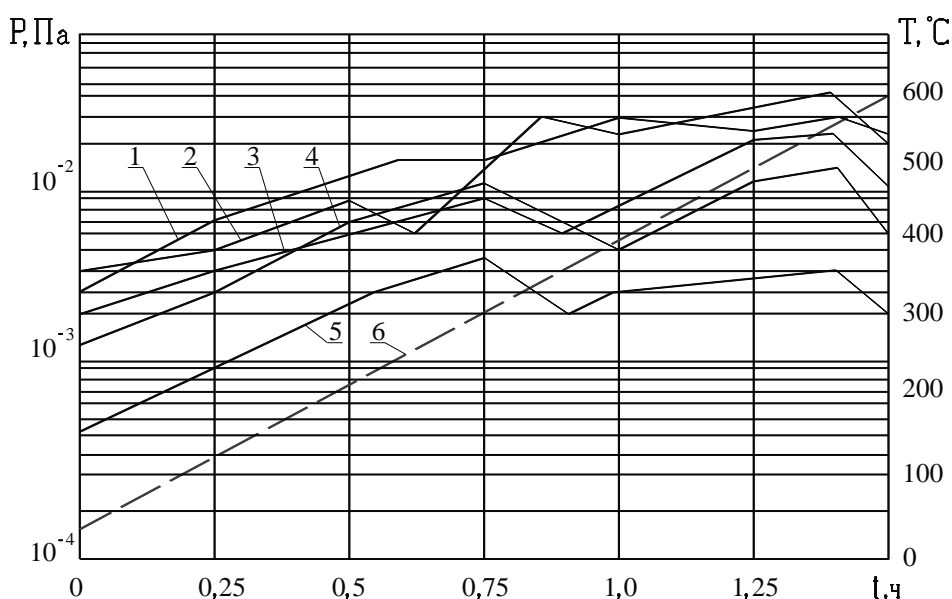


Рис. 2. Изменение давления в диодах (1-4) во время подъёма температуры при откачке макетов через штенгели различной проводимости: 1 – 16 мм; 2 – 20 мм; 3 – 30 мм; 4 – 40 мм; 5 – давление в камере; 6 – температура

Во время откачки приборов через штенгель с большей проводимостью при оптимальном расстоянии между штенгелем и заглушкой наблюдается более быстрое снижение давления в приборах (рис. 3, кривые 3-6), что должно благоприятно сказываться на их параметрах. При откачке через обычный штенгель давление в диоде в течение всего процесса откачки выше, чем при откачке через короткий штенгель (рис. 3, кривая 2).

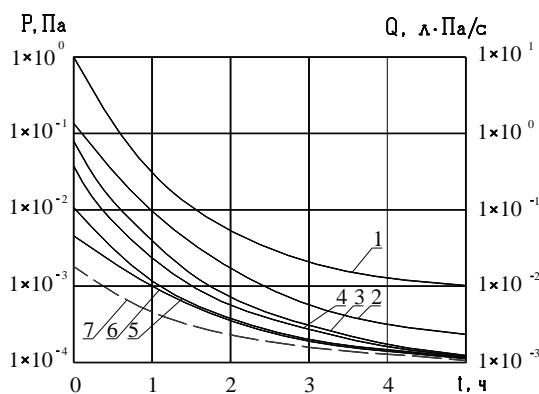


Рис. 3. Изменение потока газов (1) и давления в приборах (2-6) и камере (7) в процессе обезгаживания макетов при температуре 600°C: 2 – откачка через обычный штенгель; 3-6 – откачка через короткий штенгель

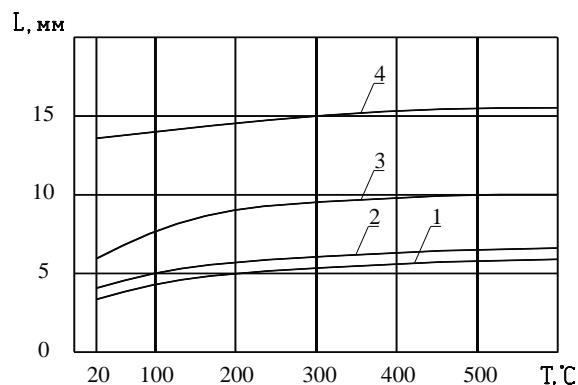


Рис. 4. Зависимость оптимального расстояния между штенгелем и заглушкой от температуры оболочки в период максимального газовыделения из катода и арматуры: 1 – $D = 16$ мм; 2 – $D = 20$ мм; 3 – $D = 30$ мм; 4 – $D = 40$ мм

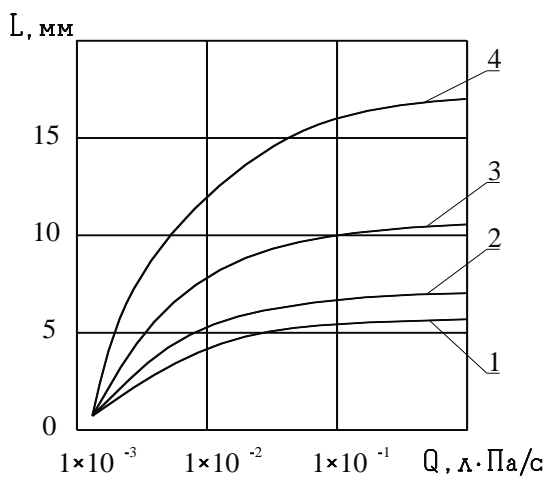


Рис. 5. Зависимость оптимального расстояния между штенгелем и заглушкой от газового потока из приборов со штенгелями различных диаметров: 1 – 40 мм; 2 – 30 мм; 3 – 20 мм; 4 – 16 мм

Исследования показали, что экспериментальное отношение $L \approx 0,4 D$ не постоянно в процессе откачки. По мере обезгаживания диода приближение заглушки даже на расстояние 1-0,5 мм не привело к изменению давления в приборе. Это свидетельствует о возможности уменьшения расстояния между штенгелем и заглушкой в конце откачки для уменьшения обратного потока газов в прибор [5].

Представленные на рис. 5 зависимости позволяют выбрать оптимальные параметры (расстояние, диаметр штенгеля) для приборов с газовым потоком в пределах $10^0 \dots 10^{-3}$ л·Па/с. Соотношением $L \approx 0,4 D$ можно пользоваться лишь в период максимального газовыделения из прибора, когда газовый поток из прибора находится в пределах $10^0 \dots 10^{-3}$ л·Па/с.

При меньшем газовыделении ($10^{-3} \dots 10^{-4}$ л·Па/с) разнесение может быть уменьшено и определено по рис. 5 для приборов с диаметрами штенгелей 16...40 мм.

Выводы

1. Во время откачки приборов через штенгель с большей проводимостью при оптимальном расстоянии между штенгелем и заглушкой наблюдается более быстрое снижение давления в приборе, остаточное давление в приборах понижается на 1,5...2,0 порядка.
2. Наиболее эффективная быстрота откачки прибора через короткий штенгель достигается при разнесении корпуса и заглушки на 0,4 от диаметра штенгеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов К.Н. Пост камерной откачки крупногабаритных электровакуумных приборов / К.Н. Орлов, Е.А. Николаев, В.Г. Коновалов // Электронная промышленность. 1971. Вып. 1. С. 52-54.

2. Антонов В.А. Влияние разнесения частей экспериментальных диодов на продолжительность процесса откачки и параметры приборов / В.А. Антонов, В.И. Воронин, Д.С. Дудников // Электронная техника. Сер. 10. 1971. Вып. 7(47). С. 25-30.

3. Пипко А.И. Конструирование и расчёт вакуумных систем / А.И. Пипко, В.Я. Плисковский, Е.А. Пенчко. М.: Энергия, 1970. 525 с.

4. Будников С.Ф. О скорости бесштенгельной откачки электровакуумных приборов / С.Ф. Будников, В.А. Антонов // Электронная техника. Сер. 10. 1970. Вып. 5(37). С. 46-51.

5. О некоторых особенностях камерной откачки электровакуумных приборов с разнесением частей / В.И. Воронин, В.А. Антонов, Д.С. Дудников, Р.А. Полякова / Саратов. политехн. ин-т. Саратов, 1974. 12 с. Деп. в ЦНИИ «Электроника» 14.01.1974. № 2606/74.

Перевозникова Яна Валерьевна –
ведущий инженер-технолог
ООО «СЭПО-ЗЭМ», г. Саратов

Perevoznikova Yana Valeryevna –
Principal processing engineer
of SEPO-ZEM LLC, Saratov

Воронин Валерий Иванович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электронное машиностроение и сварка»
Саратовского государственного
технического университета

Voronin Valery Ivanovich –
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor of the Department
of «Electronic Machine-building and Welding»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 23.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 539.2: 534.2: 533

Ф.Ф. Юдин

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ФОТО- И АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТАХ

Проведено теоретическое рассмотрение одновременного действия на фотополупроводник оптического излучения и ультразвуковой волны. Получена формула для расчёта тока с учётом фотоэлектрических и акустических характеристик образца.

Фотополупроводники, оптическое излучение, ультразвуковые волны.

F.F. Yudin

CONVERTER PARAMETERS CALCULATION ON A PHOTO AND ACOUSTIC EFFECTS

This is a research of simultaneous action on the photo-semiconductor of optical radiation and ultrasonic wave. The formula for calculation of a current is received in view of photo-electric and acoustic characteristics of a sample.

Photo-semiconductors, optical radiation, ultrasonic wave.

В основе рассматриваемого эффекта лежат два явления: акустоэлектрический эффект и внутренний фотоэффект в полупроводниках.

Для определённости рассмотрим полупроводник с проводимостью n-типа. Ограничимся случаем, когда произведение коэффициента поглощения световой энергии на толщину образца значительно меньше единицы. Тогда темп оптической генерации можно считать постоянным по всему объёму образца (однородная генерация) [1].

Предположим, что время релаксации для фотоэлектронов значительно меньше времени существования фотоэлектронов в зоне проводимости. В этом случае фотоэлектроны успевают приобрести такое же распределение по энергиям квазиимпульсов, как равновесные электроны. При этом подвижности не изменяются, а изменение фотопроводимости обусловлено только приращением концентрации фотоэлектронов δn :

$$\delta\sigma = e\mu\delta n, \quad (1)$$

где e – элементарный заряд; μ – подвижность электронов.

Величина в формуле (1) определяется выражением:

$$\delta n = \alpha\beta\tau\frac{\delta N}{V_1}, \quad (2)$$

где δN – приращение числа фотонов, падающих в секунду на единицу площади образца; τ – время жизни неравновесных носителей; V_1 – объём образца под единицей площади образца; α – коэффициент поглощения, характеризующий долю световой энергии, поглощённой образцом; β – квантовый выход, определяющий число носителей заряда, образующихся при поглощении одного фотона.

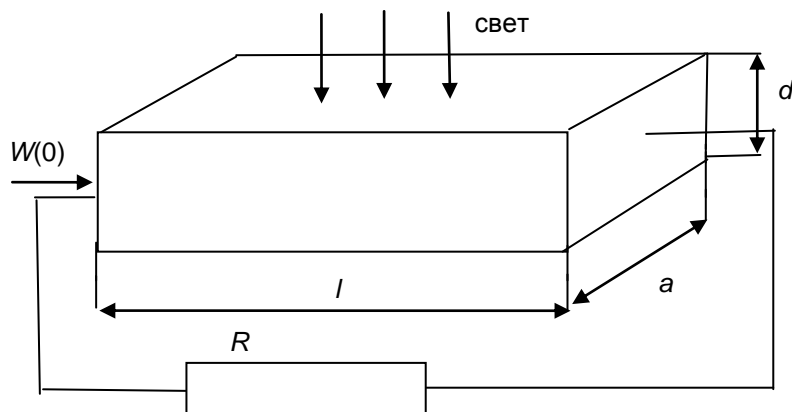


Схема преобразователя

Если выполняется соотношение между частотой ультразвуковых колебаний и временем жизни неравновесных носителей $\omega\tau < 1$, то с ультразвуковой волной взаимодействуют сгустки объёмного заряда. При этом звуковую волну можно рассматривать как упругую волну в сплошной среде и для описания акустоэлектронных явлений пользоваться уравнениями электродинамики и механики сплошных сред (гидродинамическое описание) [1, 2, 3].

При поглощении упругих волн электронами проводимости фотополупроводника n-типа возникает электродвижущая сила и между разомкнутыми гранями образца появляется разность потенциалов. Напряженность поля сторонних сил, обусловленных затуханием ультразвуковой волны на электронах проводимости, находится по формуле [1]:

$$\vec{E} = -\frac{f\gamma w}{env}\vec{e}_x, \quad (3)$$

где γ – затухание; w – плотность потока энергии акустической волны; e – элементарный заряд; n – концентрация электронов проводимости; f – фактор прилипания электронов на ловушки; v – фазовая скорость акустической волны.

Допустим, что акустическая волна распространяется в образце фотополупроводника n-типа длиной l , шириной a и длиной d (см. рисунок).

Увеличение светового потока приводит к возрастанию числа фотоэлектронов согласно формуле (2). С учётом выражения (3) напряжённость электрического поля в образце определится по формуле:

$$E = -\frac{f \gamma w V_1}{\alpha \beta \tau N v}. \quad (4)$$

Фотоакустическая ЭДС в образце длиной l :

$$U = \int_0^l E dx = -\frac{f \gamma V_1}{\alpha \beta N e v} \int_0^l w(x) [\exp - (\gamma + \gamma_p) x]. \quad (5)$$

После интегрирования получим:

$$U = \frac{f \gamma V_1}{\alpha \beta N e v} \frac{w(0)(1 - \exp - (\gamma + \gamma_p)l)}{\gamma + \gamma_p}. \quad (6)$$

При наличии замкнутой цепи потечёт ток:

$$I = \frac{f \gamma V_1}{\alpha \beta N e v} \frac{w(0)(1 - \exp - (\gamma + \gamma_p)l)}{(\gamma + \gamma_p)(w(0)l)}, \quad (7)$$

где $r = \frac{l}{\sigma s}$ – сопротивление образца; R – сопротивление внешней нагрузки.

При условии, что акустическая волна поглощается слабо, можно положить

$$w(0) - w(l) = w(0) - w(0)[1 - (\gamma + \gamma_p)l] = (\gamma + \gamma_p)w(0)l. \quad (8)$$

Тогда с учётом выражений (7) и (8) для тока в цепи получим

$$I = \frac{f \gamma V_1}{\alpha \beta N e v} \frac{w(0)l}{R + r}. \quad (9)$$

С учётом выражения (1) формула (9) примет вид

$$I = \frac{f \gamma \mu}{\sigma v} \frac{w(0)l}{R + r}. \quad (10)$$

В указанном приближении ток во внешней цепи пропорционален электронному затуханию акустической волны, плотности потока энергии ультразвуковой волны и длине образца, обратно пропорционален фотопроводимости образца и фазовой скорости распространения продольной акустической волны

Представляется, что рассмотренное явление может быть использовано для модуляции акустоэлектрического тока световым сигналом. Этот эффект можно использовать в логических устройствах акустоэлектроники. Акустоэлектрический ток будет существовать только при наличии двух сигналов – акустического и светового. Отсутствие одного из этих сигналов приведёт к отсутствию тока во внешней цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. М.: Наука, 1990. 685 с.
2. Применение физической акустики в квантовой физике и физике твёрдого тела: в 4 т. / под ред. У. Мэзона. М.: Мир, 1969. Т. 4. Ч. А. 436 с.
3. Труэлл Р. Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. М.: Мир, 1972. 307 с.

Юдин Фёдор Фёдорович –
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Прикладная физика»
Саратовского государственного
технического университета

Yudin Fyodor Fyodorovich –
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor of the Department
of «Applied Physics»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 19.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 662.76

Б.А. Семенов, В.А. Соловьёв

ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Анализируются проблемы, связанные с внедрением современных систем автономного теплоснабжения на основе грунтовых теплонасосных станций в геолого-климатических условиях Центральной России. Обосновывается актуальность разработки методики инженерного расчета интерференции многомерных температурных полей, возникающих в грунте в результате взаимного влияния отдельных веток грунтовых теплообменников при их взаимодействии с собственным температурным полем грунта. Формулируются основные задачи исследования и предлагаются подходы к их решению.

Теплонасосная установка, грунтовый теплообменник, холод, температурное поле, низкопотенциальная теплота, интерференция полей, интегральная характеристика, технико-экономические показатели, теплота грунта, коэффициент преобразования.

B.A. Semyonov, V.A. Solovyov

PROBLEMS AND FEATURES OF USE OF SOIL THERMAL HEAT PUMPS FOR THE INDEPENDENT HEAT SUPPLY OF OBJECTS IN THE CENTRAL REGIONS OF RUSSIA

The problems connected with introduction of modern systems of an independent heat supply on the basis of soil heat pump of stations in geology-climatic conditions of the central Russia are analyzed. The urgency of development of a technique of engineering account of an interference of the multivariate temperature fields arising in a ground as a result of mutual influence of separate branches soil heat exchangers at their interaction with own temperature field of a ground is justified. The primary goals of research are formulated and approaches to their decision are offered.

Heat pump installation, soil heat exchanger, cold, temperature field, low potential heat, the interference water, the integrated characteristic, technological and economical parameters, heat of the ground, transformation coefficient.

Успешное экономическое развитие нашей страны во многом зависит от скорейшего внедрения современных энергоресурсосберегающих технологий во все сферы деятельности. С точки зрения повышения результирующей эффективности производства и потребления тепловой энергии в автономных системах теплоснабжения весьма перспективными представляются технологии, основанные на использовании нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). В настоящее время поиском наиболее рациональных схем и экономически целесообразных инженерных решений в области НВИЭ, занимаются практически все наиболее известные зарубежные и отечественные фирмы, производящие теплогенерирующее и теплоиспользующее оборудование для автономного теплоэнергоснабжения. Это связано с тем, что использование НВИЭ помимо существенной экономии органического топлива, позволяет снизить загрязнение окружающей среды, удовлетворять нужды потребителей, расположенных как вдали от централизованных систем теплоснабжения, так и вблизи от них, снимая дефицит теплоты при интенсивной застройке и обеспечивая при этом постепенные капиталовложения.

В качестве основного НВИЭ в большинстве центральных регионов России (с ограниченным уровнем инсоляции и незначительным ветровым потенциалом) наиболее привлекательным представляется использование низкопотенциальной геотермальной теплоты верхних слоев грунта (до 100-200 м). Построенные по данным, применительно к климатическим условиям центральных районов США графики распределения температуры в толще грунта, характерные для летнего, зимнего и двух переходных периодов года, показаны на рис. 1.

Из этого рисунка видно, что амплитуда сезонных колебаний температуры грунта практически затухает на глубине от 15 до 18 м. Далее с увеличением глубины имеет место постоянное значение температуры, составляющее примерно 10°C , вне зависимости от периода года. С учетом этого, оцененные, на примере Ярославской области, приповерхностные геотермальные ресурсы, только до глубины 100 м, составляют примерно 2,0-2,5 млн. т у. т. в год, то есть не менее 30-40% всей теплопотребности региона ежегодно [1]. Для Саратовской области таких сведений нет.

Отбор низкопотенциальной теплоты и приведение параметров теплоносителя к температурному уровню, необходимому для нужд теплоснабжения, можно практически осуществить с помощью тепловых насосов. Тепловые насосы, использующие грунт в качестве низкопотенциального теплоисточника, называются грунтовыми. Однако следует понимать, что это понятие довольно условное, так как один и тот же тепловой насос может быть использован, как для отбора теплоты грунта, так и для отбора теплоты от воды или воздуха. Различие при этом будет заключаться только в конструкции поверхности теплообменника испарителя.

Для отбора и наиболее эффективного преобразования любой низкопотенциальной теплоты рационально использовать теплонасосные станции, способные одновременно покрывать тепловые нагрузки на отопление, горячее водоснабжение и кондиционирование воздуха. Создание теплонасосных станций возможно на основе двух принципиально различных способов отбора геотермальной теплоты – с открытыми и закрытыми контурами.

Способ «открытого контура» заключается в непосредственном использовании теплоты грунтовых вод. Он предусматривает доставку этих вод с глубины на поверхность, исполь-

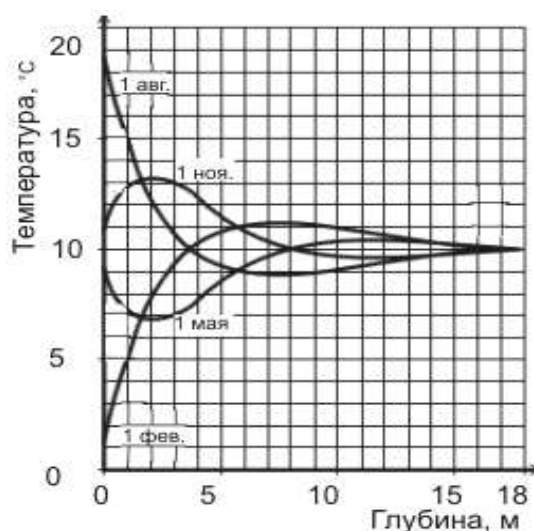


Рис. 1. Графики изменения температуры грунта в зависимости от глубины



Рис. 2. Принципиальная схема системы автономного теплоснабжения на основе теплонасосной станции с закрытым контуром и двумя вертикальными грунтовыми теплообменниками (фото из журнала «Geothermische Energie»)

зование их теплоты и возврат в пласт. Способ «закрытого контура» заключается в отборе теплоты от твердого грунта при помощи промежуточного теплоносителя, постоянно циркулирующего между расположенным на некоторой глубине грунтовым теплообменником и испарителем теплонасосной станции. В свою очередь, системы с закрытыми контурами подразделяются по типу грунтовых теплообменников на горизонтальные и вертикальные.

Принципиальная схема системы автономного теплоснабжения на основе теплонасосной станции с закрытым контуром и вертикальными грунтовыми теплообменниками показана на рис. 2.

По имеющимся данным, закрытые контуры с вертикальными теплообменниками, способные осуществлять отбор геотермальной теплоты с большой глубины, по энергетическим показателям являются наиболее эффективными [2, 3]. Однако их устройство обходится гораздо дороже по сравнению с одина-

ковыми по мощности контурами на основе горизонтальных грунтовых теплообменников. В то же время, контуры с горизонтальными теплообменниками занимают гораздо большие площади, что может оказаться в некоторых случаях (при высокой плотности застройки) условием, неприемлемым для практической реализации.

Современный отечественный рынок изобилует предложениями от ведущих мировых фирм, производящих различное теплонасосное оборудование. Продукция этих фирм, ориентированная на среднеевропейские климатические условия, широко рекламируется в нашей стране. Однако следует понимать, что использование грунтовых теплонасосных установок (ТНУ) в центральных регионах России проходит в геолого-климатических условиях, существенно отличающихся от среднеевропейских: ниже температуры грунта (например до глубины 10 м, $5 \div 8^\circ\text{C}$ вместо $10 \div 15^\circ\text{C}$), в $1,5 \div 2,0$ раза больше интегральные характеристики отопительного периода.

Интегральные характеристики принято использовать для совокупной оценки местных климатических особенностей, влияющих на результирующее годовое теплотребление отапливаемых объектов. Такие характеристики в графической интерпретации представляют собой площади, заключенные между прямыми нормативной температуры внутреннего воздуха отапливаемых помещений и ломаными линиями изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в данной местности. На рис. 3 показаны графики изменения среднемесячной температуры наружного воздуха за годовой цикл для Саратова и Осло.

На этом графике интегральные характеристики отопительного периода для Саратова и Осло выделены заливками разного тона. Количественно интегральные характеристики отопительного периода оцениваются суммой среднесуточных разностей температур внутреннего и наружного воздуха за отопительный период, измеряются в градусосутках, обозначаются символом D_d , $^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}$ и рассчитываются по формуле

$$D_{d'} = (t_{в} - t_{o.n.}^{cp.}) \cdot T_{on}, \quad (1)$$

где $t_{в}$ и $t_{o.n.}^{cp.}$ – средние за отопительный период температуры внутреннего и наружного воздуха, °С; T_{on} – продолжительность отопительного периода, сут.

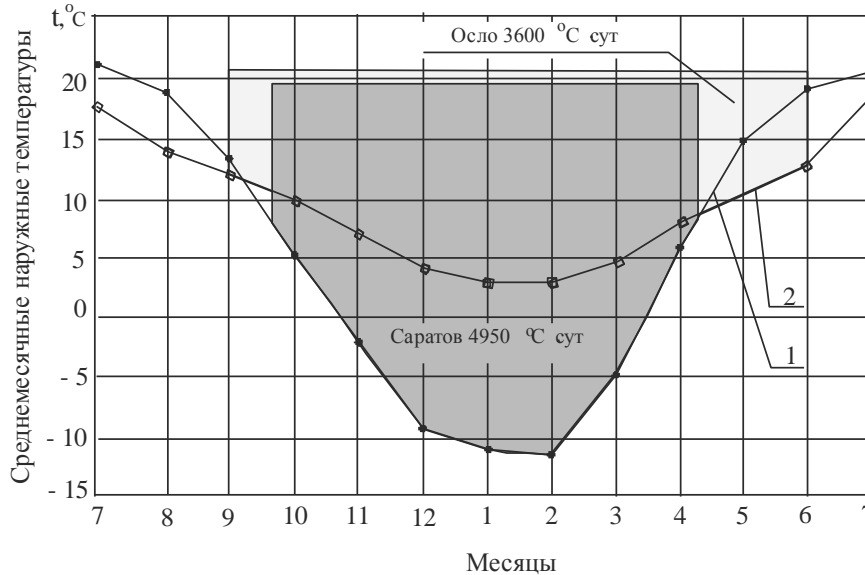


Рис. 3. Среднемесячные наружные температуры и интегральные характеристики отопительного периода городов Саратова и Осло: кривая 1 – Саратов; кривая 2 – Осло

Для климатических условий г. Саратова $D_{d'} = 4950^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$. Среднее значение этого показателя по России составляет $D_{d'} = 5000^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$., а интервал его изменения расположен в пределах от $1044^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$. (Сочи) до $12045^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$. (Оймякон).

Для сравнения аналогичные показатели других стран выглядят следующим образом:

Швеция $D_{d'} = 4017^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$.

Норвегия $D_{d'} = 3600^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$.

Германия $D_{d'} = 3163^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$.

Дания $D_{d'} = 2779^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$.

США $D_{d'} = 2700^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что даже по сравнению с одной из самых северных европейских стран – Швецией, интегральная характеристика отопительного периода Саратовской области, как и всей средней полосы России, на 25% выше. По сравнению со среднеевропейским показателем, мало отличающимся от климатической характеристики Германии, интегральная характеристика отопительного периода нашего региона в 1,5 раза выше.

Из представленных данных очевидно, что для одинаковых объектов суммарная годовая теплопроизводительность отопительной теплонасосной установки в климатических условиях Саратовской области должна быть, как минимум, в $4950/3600 = 1,375$ раза больше, чем в климатических условиях Норвегии, и в 1,5 раза выше по сравнению с теплопроизводительностью аналогичных систем в Германии. Кроме того, значительно выше должна быть и установленная мощность теплонасосной системы, которая зависит от температуры наиболее холодной пятидневки.

В связи с этим, при использовании в центральных регионах России технологий, основанных на геотермальных тепловых насосах, помимо увеличения установленной мощности, требуется увеличение количества и длины грунтовых теплообменников в расчете на единицу отапливаемой площади. Все это ведет к повышению капитальных затрат в сооружение си-

стемы отбора теплоты грунта и увеличению реальных сроков окупаемости грунтовых ТНУ. Следовательно, для внедрения подобных проектов в средней полосе России нужны дополнительные исследования с целью оптимизации параметров грунтовых теплообменников и всей системы автономного теплоснабжения, основанной на использовании теплонасосных станций, с учетом реальных геолого-климатических и экономико-ценовых условий, характерных для различных регионов нашей страны.

Для обоснования принципов повышения эффективности отбора геотермальной теплоты необходимо разработать методику расчета интерференции многомерных температурных полей, возникающих в грунте в результате взаимного влияния отдельных веток грунтовых теплообменников различной конфигурации при их взаимодействии с собственным температурным полем поверхностного слоя грунта. При этом следует учитывать возможность промерзания грунта вблизи грунтовых коллекторов и вызванное этим существенное снижение теплосъема. Кроме того, с учетом реальных геолого-климатических условий необходимо разработать систему региональной оценки энергоресурсов и ранжирования потенциалов геотермальной теплоты по максимальному теплосъему с одного погонного метра коллектора.

С позиции сокращения капитальных вложений в сооружение грунтовых коллекторов и улучшения экономических показателей всей теплонасосной системы важен также обоснованный выбор формы, материала и конструкции грунтовых теплообменников. Поэтому для практического проектирования таких теплообменников применительно к геолого-климатическим условиям центральных регионов России необходимо создать прикладную компьютерную программу, основанную на физико-математическом моделировании теплопереноса в приповерхностном слое грунта с теплообменниками различных размеров, формы и направлений заложения.

С целью снижения эксплуатационных расходов, связанных с затратами электроэнергии на привод компрессора, необходимо разработать методику оптимизации всей системы автономного теплоснабжения, включая комплекс мероприятий по теплоизоляции зданий и переходу к низкотемпературным режимам отопления, позволяющим получать максимальные коэффициенты преобразования при эксплуатации теплонасосной установки за счет уменьшения перепада температур теплоносителей в испарителе, соединенном с подземным циркуляционным контуром, и – конденсаторе теплонасосной установки [4].

С позиции увеличения надежности функционирования грунтовой системы теплоотбора и увеличения срока её службы за счет предотвращения длительного промерзания и сверхнормативного уровня температурных деформаций грунтового теплообменника необходимо рассмотреть комплекс вопросов, связанных с обоснованием возможности снижения нагрузки на грунт (либо путем периодического ввода и вывода из рабочего режима одного из параллельно установленных рабочих коллекторов с целью естественной регенерации соответствующей грунтовой зоны отбора теплоты, либо за счет применения дополнительных энергоисточников, например, техногенного происхождения, в частности, тепловых выбросов приточно-вытяжной вентиляции).

Для улучшения экономических показателей теплонасосной станции рекомендуется в летний период использовать холод, аккумулированный в грунте за отопительный сезон, на прямое охлаждение помещений от скважин, то есть – без кондиционеров, затрачивающих на производство холода электроэнергию. Охлаждение напрямую от скважин или через реверсивный тепловой насос, переключаемый в теплый период года в режим холодильной машины, могут в комплексе обеспечить необходимую охлаждающую нагрузку, включая самые жаркие регионы страны при минимальных затратах электроэнергии [5].

С целью дальнейшего расширения технологических возможностей теплонасосных систем необходимо оценить перспективы включения в схему автономного теплоснабжения дополнительных элементов, позволяющих использовать различные варианты тепловой поддержки за счет других видов возобновляемых энергоисточников, например, получать допол-

нительное количество теплоты на горячее водоснабжение в межотопительные периоды с использованием солнечных коллекторов, устанавливаемых на крыше.

Предлагаемые подходы могут быть применены и при внедрении геотермальных технологий для многоэтажных зданий, но тогда, ввиду использования многоскважинного подземного контура, необходимо разработать методику оптимизации поля скважин с учетом имеющегося пространства под застройку и теплового взаимовлияния грунтовых теплообменников, зависящего от расстояний между ними и конфигурации скважинного поля.

Решение комплекса поставленных вопросов необходимо для создания научной и нормативно-технической базы, позволяющей осуществить более широкое практическое внедрение экологически чистого местного источника возобновляемой энергии, разрабатываемого с помощью мелких скважин и обеспечивающего при коротких подсоединениях (снижающих риски, затраты на транспортировку и теплопотери) широкий спектр объектов с любой удаленностью от энергоподводящих магистралей и месторождений органического топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин М.И. Эффективное использование приповерхностных геотермальных ресурсов в геолого-климатических условиях центральных регионов России / М.И. Калинин, Б.Н. Хахаев, Е.П. Кудрявцев // Вестник Ярославского регионального отделения РАЕН. 2007. Т. 1. № 1. С. 20-26.
2. Rybach L. Ground-Source Heat Pump Systems the European Experience / L. Rybach, B. Sanner // Geo-Heat Center Quarterly Bulletin. 2000. Vol. 21. № 1. P. 16-26.
3. Sanner B. Examples of Ground Source Heat Pumps (GSHP) from Germany / B. Sanner, O. Kohlsch // International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy. Bad Urach, 2001. P. 81-94.
4. Калинин М.И. Методы расчета и рекомендации по эффективному использованию приповерхностных геотермальных ресурсов в центральных регионах России / М.И. Калинин, Е.П. Кудрявцев, А.В. Баранов // Новости теплоснабжения. 2007. № 10. С. 26-33.
5. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография / Г.П. Васильев. М.: Издат. дом «Граница», 2006. 176 с.

Семенов Борис Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета

Semyonov Boris Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Industrial Heat Engineering» of Saratov State Technical University

Соловьёв Владимир Александрович – аспирант кафедры «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета

Solovyov Vladimir Aleksandrovich – Post-graduate student of the Department of «Industrial Heat Engineering» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 03.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

ЭКОНОМИКА

УДК 338.48(038)

К.З. Адамова

КЛАСТЕРНАЯ ПОЛИТИКА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Рассматривается деятельность по поддержке кластеров, называемая «кластерной политикой», которая способствует эффективному и взаимовыгодному сотрудничеству субъектов производственного процесса.

Кластеры, кластерная политика, конкурентоспособность, национальная экономика, конкуренция.

K.Z. Adamova

CLUSTER POLICY AS AN INSTRUMENT OF COMPETITIVE RECOVERY OF NATIONAL ECONOMICS

Cluster support activity is called "cluster policy". Cluster policy assists the effective and mutually beneficial cooperation of subjects of industrial process and as a result it is one of the important instruments of competitive recovery of territories and achievement of strategic goals of region. Realization federal Cluster policy is a complex of measures which are directed to eliminate difficulties of the exchange of knowledge and communication between different partners of cluster.

Clusters, cluster policy, competitive ability, national economy, competition.

В последние десятилетия наблюдается пересмотр основ промышленной политики, которая стала существенно отличаться от доминировавших ранее моделей централизованного управления. Новый подход характеризуется возросшей ролью местных организаций в формировании стратегий территориального развития, существенной ориентацией на качество локальных конкурентных преимуществ и вниманием к региональным производственным системам. Во многих странах, начиная с 90-х годов XX столетия, лозунгом политики развития прочно становятся кластеры: географические концентрации предприятий, извлекающие преимущества функционирования через совместное расположение, кооперацию и конкуренцию. Кластеры все чаще рассматриваются в качестве объекта промышленной политики нового образца, именуемой «кластерной», главной целью которой выступает повышение конкурентоспособности страны или территории.

Новизна кластерной политики по сравнению с промышленной политикой состоит в ее более узком фокусе – она ориентирована только на конкурентоспособные виды деятельности, продукция которых обращена на внешние для региона рынки страны и мира. Но внутри этого узко выбранного направления кластерная политика шире прежней промышленной, потому что консолидирует здесь не только саму производственную деятельность, но и промышленный сервис, региональный научно-образовательный комплекс, навыки и традиции местного сообщества, которые оказываются задействованы в работе регионального кластера [6, с.34].

В основе этого нового типа экономической политики лежит признание того, что стабильные правовые, политические, социальные институты и устойчивая макроэкономическая политика являются важными предпосылками увеличения национального (регионального) благосостояния. Но, фактически, мощь создается на микроэкономическом уровне, способностью фирм создавать товары и услуги, пользующиеся устойчивым спросом, используя эффективные способы производства, распределения и потребления [6, с.35].

Таким образом, эффективность предпринимательского сектора неразрывно переплетена с качеством местной бизнес-среды: более производительные компании требуют, среди прочего, более квалифицированной рабочей силы, лучшей информированности, более эффективного управления, усовершенствованной инфраструктуры, «продвинутых» исследовательских институтов и поставщиков, более интенсивного конкурентного давления [4, с.35].

Принятие кластерной политики в качестве стратегического инструмента национального или регионального развития требует соответствующих дефиниций. Хотя на сегодняшний день можно констатировать высокую популярность кластерного подхода, до сих пор не найдено оптимального способа определения кластера, даже в виде достаточно конструктивного описания. Попытки дать однозначную формулировку понятия кластера вызывают множество проблем. И, как показывает опыт, целесообразно определять его как набор нескольких ключевых характеристик: географической концентрации и взаимосвязанности участников кластера, конкуренции между ними, критической массы малого и среднего бизнеса [5, с.76].

Термин «кластерная политика» используется как общее название для различных способов поддержки инициатив по созданию и развитию сетевых объединений предприятий (кластеров). Под кластерными инициативами, для целей данной статьи, будем упрощенно понимать отдельные слагаемые кластерной политики. Как показывает практика современного экономического развития, наибольшей эффективности достигают экономические системы с высоким уровнем внутренней конкуренции. Конкурентная борьба – ключевой элемент концепции кластеров, это то свойство и преимущество, которое отличает кластеры от большинства предшествующих теорий. Взаимообусловленность кластеров и конкуренции проявляется в нескольких направлениях. Соперничество внутри кластера приводит к росту кластера и повышению его эффективности, побуждает его участников к постоянному совершенствованию своей деятельности и инновационному поиску, а географическая близость членов кластера, в свою очередь, способствует усилению конкуренции. Соперничество в кластерах тем более ощутимо и важно, поскольку ведется не только за потребителя, но и за ресурсы, общественную и политическую поддержку в региональном масштабе. Конкурентное давление в кластере усиливается вследствие «непрямой конкуренции и распространяется на фирмы, непосредственно не конкурирующие между собой. Амбиции и желание хорошо выглядеть в местном сообществе поддерживают фирмы в их стремлении обойти друг друга» [2, с.201]. Методы правительственного вмешательства в экономическое развитие, традиционно аргументирующиеся несовершенствами рынка, в настоящее время корректируются под воздействием выявленных «провалов» государства. К наиболее существенным из последних можно отнести издержки традиционных отраслевого и регионального подходов к экономической политике, а также несогласованность различных ветвей и уровней власти. Эти и некоторые другие мотивы объясняют перспективность реализации кластерного подхода [3, с.93].

По сути, кластерная политика представляет собой смешанную форму нескольких направлений в более традиционных политиках, связанных с развитием бизнеса и региональным развитием. Она объединяет промышленную политику, региональную политику, политику поддержки малого бизнеса, политику по привлечению иностранных и внутренних инвестиций, инновационную, научно-техническую, образовательную и другие политики. Реализация кластерной политики подразумевает комплекс мер преимущественно регулятивного характера, направленных на устранение препятствий, возникающих на пути обмена знаниями и навыками, мешающих установлению взаимодействия и взаимозависимости между различными участниками кластера. Органы власти играют важную роль в процессах кластеризации. Государственная политика может быть необходима, чтобы усовершенствовать существующие кластеры или развить кластеры, находящиеся в стадии зарождения. Роль органов власти в развитии кластеров заключается как в создании инфраструктуры для деятельности кластера, так и в непосредственном воздействии на факторы конкурентоспособности. Существует множество инструментов, пригодных для реализации целей кластерной политики, однако, в силу уникального характера кластеров, вряд ли можно выделить какие-либо универсальные подходы. В целом, выделяются пять наиболее общих типов кластерной политики:

1) **политика посредничества**, направленная на создание условий для конструктивного диалога внутри кластера и усиление кооперации между его участниками;

2) **политика стимулирования спроса** – формирование потребительских предпочтений в регионе, развитие родственных и поддерживающих секторов экономики, госзаказ;

3) **образовательная политика**, целью которой выступает формирование необходимых компетенций в регионе;

4) **политика стимулирования внешних связей**, заключающаяся в устранении торговых барьеров, защите прав интеллектуальной собственности, реализации инфраструктурных и инвестиционных проектов;

5) **политика создания благоприятных структурных условий**: макроэкономических, институциональных и др.

Предполагаемые преимущества от создания и развития кластеров побуждают органы власти различного уровня к разработке кластерной политики. Однако то, что кластеры сулят потенциальные выгоды, не может служить аргументом для безоговорочного принятия кластерной политики. Для выработки рекомендаций относительно ее реализации необходим детальный и беспристрастный анализ. Проблемы, стоящие на пути осуществления кластерного подхода, можно разделить на две широкие категории: трудности, свойственные реализации кластерной политики как таковой, и проблемы, вытекающие из специфики социально-экономической обстановки в конкретной стране или регионе.

Основная особенность, осложняющая реализацию какой-либо кластерной политики, – это существенные различия, наблюдающиеся между кластерами в зависимости от их отраслевой принадлежности, местоположения и внутренней организации. В настоящее время в качестве цели развития повсеместно декларируется конкурентоспособность, достигаемая путем создания определенных структурных условий. При этом заимствование успешных стратегий рассматривается как средство ускорения территориального развития и достижения его с наименьшими затратами. Опираясь на сторонний опыт, власти различного уровня пытаются повторить успех широко известных «лучших практик» кластеризации (например, Силиконовой долины), что, в итоге, приводит к формированию региональных и национальных политик с аналогичными целями и инструментами. Поэтому среди наиболее острых проблем, стоящих перед разработчиками кластерной политики, является дилемма так называемых «лучших практик» (бенчмаркинга). К сожалению, в правительственных программах не всегда находит понимание то, что меры по развитию кластеров, доказавшие свою пригодность в одном случае, могут оказаться бесполезными или даже нежелательными – в другом. Отсюда вытекает необходимость оценки целесообразности использования тех или иных инструмен-

тов кластерной политики применительно к конкретно взятой ситуации. Кроме того, из практики преследования одних и тех же целей возникает другая фундаментальная проблема – повсеместное развитие кластеров с одной и той же специализацией. Воодушевленные широко известными «лучшими практиками», власти фокусируются на инновационных кластерах, пытаясь повысить конкурентоспособность территории. Однако, поддерживая такие кластеры, правительства часто игнорируют вопрос о наличии реальных предпосылок для их образования. «Наблюдающийся сегодня в кластерной политике эффект подражания чреват чрезмерными инвестициями в одинаковые технологии. Подобное стадное поведение может привести к перепроизводству, мнимому росту и, в конце концов, к краху. Инвестируя в аналогичные технологии и копируя «лучшие практики», регионы подрывают свои потенциальные конкурентные преимущества, вытекающие из дифференциации, а не из производства аналогичных продуктов в разных местах. Поэтому не удивительно, что в итоге происходит болезненное вытеснение спекулянтов с регионального рынка» [1, с.46].

Еще одна проблема – политизированность самого термина «кластер». Многие регионы сегодня активно используют кластеры как современный, модный бренд. Нередки случаи, когда власти часто называют какую-либо промышленную структуру кластером, надеясь тем самым привлечь дополнительное внимание и инвестиции в регион. Следуя терминологии М. Энрайта, такие кластеры можно отнести к «политически поддерживаемым» или «желательным». Данные виды кластеров характеризуются весомой поддержкой со стороны органов власти, предпочтение им отдается в основном по политическим основаниям, а не по результатам детального аналитического процесса. Основанием для стимулирования подобных кластеров является убеждение, что политические усилия в состоянии создавать кластеры на относительно неблагоприятной почве. Такие политически зависимые кластеры, как правило, не имеют не только критической массы, но и многих других источников конкурентных преимуществ, способствующих органическому развитию. Примерами данного типа кластеров как раз и являются многие из высокотехнологических «кластеров», обнаруживаемые в региональных программах развития. Помимо прочего, сложность реализации кластерной политики заключается в том, что она призвана объединять и увязывать интересы различных сторон, вовлеченных в процесс кластеризации, стимулировать их развитие с учетом разноплановых (порой противоречивых) интересов участников кластера. Кроме того, кластерная политика существует на разных уровнях власти и должна координировать их действия [1, с.48].

Концепция кластеров предоставляет необходимый в современных условиях механизм исследования и реализации стратегии промышленного развития, отличительными чертами и преимуществами которого выступают принятие в учет всеобъемлющей динамической конкуренции и увязывание проблем мезо- и макроуровня с условиями функционирования конкретных предприятий. При этом кластерная политика заключается в создании условий для формирования и развития кластеров, но никак не в искусственном создании самих кластеров непосредственно. Каждая страна и регион характеризуются собственной уникальностью, которая имеет значение для их конкурентоспособности, поэтому возможные направления кластерной политики следует искать на стыке локальных и глобальных перспектив развития. Опыт других стран и территорий, несомненно, важен при определении целей и разработке механизмов реализации кластерной политики. Однако, при выборе тех или иных инструментов государственного вмешательства в экономическое развитие, необходимо учитывать специфические местные условия. Существует множество межрегиональных различий в стартовых позициях, экономической структуре и институциональных особенностях, поэтому то, что работает в одном регионе, не обязательно приемлемо или выполнимо в другом. Проблема адаптации чужого политического опыта не нова, и для ее решения уже обозначены некоторые подходы. К примеру, Ричард Роуз определяет семь так называемых «контингентов» (условий), влияющих на возможность трансфера и воспроизводства политических действий

из одного региона в другой. Эти факторы, обуславливающие успешность обучения на стороннем опыте, могут принимать форму как безусловных, так и гипотетических. К ним он относит: уровень уникальности проблемы, адекватность местных ресурсов, взаимосвязанность сравниваемых территорий, сложность планируемых мероприятий, масштаб прогнозируемых изменений, близость систем норм и ценностей сравниваемых территорий. Чем меньшее число данных критериев удовлетворяется, тем труднее применима данная политика к территории-реципиенту [5, с.132].

Для избежания общих и специфических проблем кластерной политики, а также для ее успешной разработки и реализации, ключевую роль играет другая задача – задача диагностики состояния кластеров. Оценка деятельности кластеров необходима не только для определения наилучших способов стимулирования их развития, но и для определения целесообразности применения кластерного подхода в экономической политике.

Формирование необходимой аналитической базы и реализация системы мероприятий по информационной поддержке реализации кластерной политики на федеральном и региональном уровнях является первоочередным шагом, направленным на формирование благоприятных условий для достижения успеха в ходе реализации кластерной политики.

В рамках данного направления должны быть реализованы следующие мероприятия:

- выявление и мониторинг кластеров в субъектах Российской Федерации;
- проведение исследований барьеров и возможностей развития отдельных кластеров или групп кластеров;
- реализация специализированных образовательных программ по вопросам разработки и реализации кластерной политики на уровне субъектов Российской Федерации;
- проведение специализированных конференций и форумов, посвященных кластерной политике;
- поддержка участия российских делегаций на ключевых международных конференциях, посвященных кластерной политике;
- формирование базы данных кластерных инициатив на региональном уровне.

В качестве концептуальной поддержки развития кластерной политики в Российской Федерации на федеральном уровне должна быть разработана и утверждена концепция развития кластерной политики, в которой должны быть прописаны мотивы, цели, задачи и направления политики развития кластеров [7, с.284].

В целях обеспечения реализации концепции кластерной политики должен быть разработан план действий на ближайшую перспективу по реализации ее положений.

Кроме того, важным направлением реализации кластерной политики является интеграция кластерного подхода в федеральную политику развития отдельных отраслей и секторов экономики, которую реализуют соответствующие министерства и ведомства. В этой связи целесообразна интеграция кластерного подхода в стратегии и программы развития отдельных отраслей (начиная с реализации пилотных проектов). Также необходима интеграция кластерного подхода в развитие инфраструктурных секторов (общее и профессиональное образование, финансирование НИОКР, транспортная инфраструктура, энергетическая инфраструктура и др.) [7, с.283].

Реализация проектов по развитию отдельных кластеров может стать важным источником информации (обратной связи) о возможностях для повышения эффективности отраслевого регулирования и снижения уровня административных барьеров в отдельных секторах.

Конкурентоспособные кластеры часто имеют развитые связи со схожими кластерами в других регионах и странах. Стимулирование подобных международных связей должно стать важным направлением кластерной политики и заключаться в развитии кооперации между родственными кластерами, разработке и реализации программ развития сотрудничества.

Другим важным направлением для международного сотрудничества должен стать обмен опытом между государственными ведомствами, некоммерческими организациями, реализующими кластерную политику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марков Л.С. Экономические кластеры: идентификация и оценка эффективности деятельности / Л.С. Марков, М.А. Ягольницер. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2006. 88 с.
2. Портер М. Международная конкуренция / М. Портер. М.: Международные отношения, 1993. 676 с.
3. Цихан Т.В. Кластерная теория экономического развития / Т.В. Цихан // Теория и практика управления. 2003. № 5. С. 92-102.
4. Ялов Д.А. Кластерный подход как технология управления региональным экономическим развитием / Д.А. Ялов // Компас промышленной реструктуризации. 2004. № 3. 176 с.
5. Третьяк В.П. Кластеры предприятий / В.П. Третьяк. М.: Август Борг, 2006. 235 с.
6. Воронов А. Кластеры – новая форма самоорганизации промышленности в условиях конкуренции / А. Воронов // Маркетинг. 2002. № 5. С. 37-43.
7. Лазарева Е.И. Кластерная политика эффективной интеграции региона в процесс качественного экономического роста / Е.И. Лазарева // Экономический вестник Ростовского государственного университета. 2006. № 3. С. 279-285.

Адамова Карина Зелмановна –
аспирант кафедры «Туризм
и культурное наследие»
Саратовского государственного университета
им. Н.Г. Чернышевского

Adamova Karina Zelmanovna –
Post-graduate student of the Department
of «Tourism and Cultural Heritage»
of Saratov State University
in the name of N.G. Chernyshevsky

Статья поступила в редакцию 10.10.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 332.146

А.Н. Айриева

ФОРМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ФИНАНСОВОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Инновационная и инвестиционная деятельность российских промышленных предприятий в условиях рыночных отношений требует разработки положений экономической политики активного стимулирования со стороны бизнеса и государства. В статье дается анализ современных форм государственного финансового стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности в крупнейших странах Запада с целью использования накопленного опыта в отечественной практике.

Инновация, инвестиционная деятельность, экономическая политика, государственное стимулирование.

A.N. Airiyeva

**STATE FINANCIAL STIMULATION FORMS
OF INVESTMENT AND INNOVATION ACTIVITIES
IN FOREIGN COUNTRIES**

Innovation and the investment activity of the Russian industrial enterprises in conditions of the market relations requires development of rules of economic policy of active stimulation on the part of business and state. In given clause the analysis of the modern forms of state financial stimulation investment and innovation of activity in the largest countries of west is given with the purpose of use of the saved experience in domestic practice.

Innovation, innovation activity, economical policy, state stimulation.

В странах с развитой рыночной экономикой государство в процессе регулирования инвестиционной деятельности принимает на себя одновременно несколько функций [1, с.23].

Первая функция – это регулирование (стимулирование или ограничение) общего объема капиталовложений частного бизнеса. По сути дела, это главная макроэкономическая функция по управлению инвестиционным процессом в развитой рыночной экономике, осуществляемая через политику ссудного процента, денежную, налоговую и амортизационную политики.

Вторая функция – это выборочное стимулирование капиталовложений в определенные предприятия, отрасли и сферы деятельности через кредитные и налоговые льготы, например, с помощью инвестиционного кредита.

Третья функция – это прямое административное вмешательство в инвестиционный процесс с целью ввода или вывода определенных производственных мощностей путем согласования планов и действий крупнейших корпораций. В Японии, например, когда, по мнению правительственных инстанций, возникает такая потребность, определенная отрасль в законодательном порядке переводится на режим, разрешающий административную координацию капиталовложений на определенный срок. По истечении этого срока режим рассматривается или отменяется.

Одной из важных форм государственного финансового стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности в зарубежных странах является категориальный грант, направляемый в территориальный бюджет для использования на конкретные цели, которые устанавливаются органом, передающим средства из бюджета более высокого уровня. Категориальные программы сфокусированы на решении проблем, рассматриваемых центром как приоритетные.

В США эта система работает следующим образом. Для того чтобы получить помощь, потенциальные реципиенты должны подготовить детализированные предложения по использованию средств, где указывается, как существующие проблемы будут разрешены и какие результаты будут получены. Более того, предложения должны показывать и доказывать, что выделенные средства будут израсходованы эффективно. На этапе подготовки предложений заявители определяют каналы наиболее эффективного использования средств. А комитеты, создаваемые гранторами, должны четко сформулировать правила отбора, которые исключают возможность прохождения теневых проектов.

В последние годы идет быстрое увеличение категориальных грантов в США. Также развиваются более гибкие и регулируемые блочные субсидии, альтернативные программы для локальных правительств. Большое внимание стали уделять предоставлению капитальных

грантов, которые покрывают эксплуатационные расходы на капитальные проекты на уровне штатов и на местном уровне.

Бюджеты органов местного самоуправления, являясь частью финансовой системы государства, не только берут на себя финансовые обязательства с целью смягчения напряжения федерального бюджета, но и несут расходы, связанные с государственным регулированием экономики, стабилизацией экономической ситуации и стимулированием экономического роста на подведомственной территории, тем самым содействуя проведению политики, соответствующей интересам региона.

Местным органам власти принадлежит заметная роль в регулирующем воздействии на размещение производительных сил – целевом использовании земель. Формы воздействия местных органов власти – экономические, финансовые и административные – стимулируют или ограничивают развитие отдельных отраслей хозяйства, создают условия для снижения издержек производства частных предприятий и повышения их конкурентоспособности. Широкое участие местных управлений в финансировании базисных отраслей экономики, а также затраты на образование, здравоохранение, охрану и использование природных ресурсов, предотвращение загрязнения окружающей среды, обеспечивают работой определенную часть населения.

Из года в год растет количество экономических программ с местным участием. Из местного бюджета традиционно финансируются такие службы, как: полицейская (в среднем за 90-е годы – на 73%), пожарная (на 100%), санитарная (на 100%), рекреационная (на 75% за указанный период). Местные бюджеты все шире используются для финансирования экономической инфраструктуры – комплекса отраслей общего пользования производственной и непроизводственной сфер, в осуществлении мероприятий по обеспечению функционирования промышленного воспроизводства, для финансовой поддержки капиталоемких и требующих государственного регулирования отраслей. Сюда относится строительство мостов, дорог, портов, водных путей, аэродромов, систем водоснабжения, очистных сооружений, которые невыгодно или невозможно развивать на базе частной собственности.

Затраты на эти цели в США являются важным условием повышения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках, поскольку дают возможность корпорациям, размещенным на данной территории, экономить на вспомогательных строительных работах, сокращать сроки строительства и ввода предприятий в эксплуатацию. При этом улучшаются условия для привлечения промышленных предприятий в определенные (в том числе в сравнительно малоосвоенные по американским стандартам) районы, создается благоприятный инвестиционный климат.

Расходы на финансирование инфраструктуры сказываются в конечном счете на развитии всей экономики, так как местные органы власти, в числе прочих, поддерживают базисные отрасли экономики, такие как транспортная, машиностроительная, промышленное и жилищное строительство.

Доля местных бюджетов в общегосударственных расходах на инфраструктуру весьма значительна: в среднем за 90-е годы порядка 40%. Местные бюджеты используются для расширения государственного потребления – финансирования закупок товаров и услуг, для выплаты заработной платы рабочим и служащим государственных учреждений и предприятий, для финансирования капиталовложений в торговлю, сельское хозяйство, транспорт, для нужд экономической реорганизации – в среднем за 90-е годы по всем позициям в совокупности до 50%.

Местные органы власти осуществляют жилищное строительство для малоимущих слоев американского населения, имеющих доход ниже «уровня бедности». Дома, построенные за счет местных бюджетов, продаются или сдаются в аренду по более низким ценам, чем дома, построенные частными строительными фирмами. В настоящее время доля местных бюджетов в государственных жилищных программах составляет в среднем более 50%.

В США бóльшая часть программ финансовой поддержки бизнеса, в которых в качестве спонсоров выступают федеральные органы власти или органы власти на уровне штатов, направлена на создание рабочих мест. Во многих программах инвестиции, отводимые на одно созданное или удержанное рабочее место, ограничены – эти границы, как правило, колеблются в рамках \$ 5000-15000 на одно рабочее место (на уже существовавшие, но удержанные рабочие места соответственно отводится меньше средств) [2, с.243].

Подавляющее большинство программ, кроме того, направлены на модернизацию и обновление основных фондов или на расширение производства, в то время как практика возврата долгов коммерческих предприятий из бюджетных средств строжайшим образом ограничена, а в большинстве случаев вообще запрещена. В прошлом федеральное правительство США, а также многие штаты прибегали к спонсированию прямых займов целевым производствам через государственные агентства и квазигосударственные финансирующие структуры.

Однако в настоящее время федеральные и региональные власти, как правило, вместо того чтобы поощрять прямые заимствования, предоставляют негосударственным организациям и банкам определенные гарантии и налоговые кредиты и таким образом стимулируют выдачу ими целевых займов. Такие программы позволяют значительно более эффективно распорядиться общественными деньгами и исключают вероятность того, что в инвестиционный процесс вмешается политика.

Ниже приведены виды финансовой помощи, которую власти США могут предоставлять коммерческим предприятиям.

Гарантии по займам. Это предоставляемые федеральным и региональным правительством гарантии, в соответствии с которыми правительство обязуется выплатить из бюджета от 50 до 85% займа банка или негосударственной организации, участвующей в программе, в случае, если компания-заемщик обанкротится.

Программы налоговых кредитов. Это еще один активно применяемый сегодня вариант решения проблемы стимулирования инвестиций. В рамках этих программ частные инвесторы, вкладывая деньги в какие-либо проекты, получают налоговые скидки и иные формы сокращения налогового бремени по доходу от инвестирования в данный проект.

Программы налоговых кредитов обычно направлены на труднофинансируемую деятельность вроде строительства жилья для малообеспеченных слоев населения, содействия предприятиям в экономически угнетенных районах или предприятиям, владельцы которых находятся в стесненных обстоятельствах по причине низкого дохода, дискриминации, инвалидности и т.д., и т.п.

Прямые займы. Хотя федеральные и региональные органы власти, по большому счету, уже не занимаются предоставлением прямых займов, все же есть несколько типов программ, подразумевающих предоставление целевых грантов органам местного управления и неправительственным организациям под выдачу займов на строго определенные коммерческие проекты. Как правило, это очень малые займы, менее 25 000 дол., призванные полностью или на 90% удовлетворить потребность предприятия в привлечении капитала, или займы, предоставляемые малому и среднему бизнесу в размере до \$ 200 000.

Формы налоговых инвестиционных льгот, устанавливаемых каждый раз в развитых странах, соотносятся с конкретными экономическими условиями и задачами промышленной политики этих стран.

Следует подчеркнуть, что эти льготы могут сильно различаться применительно к специфике местных условий, определяющих необходимость изыскания средств для развития инфраструктуры, осуществления программ развития, в особенности депрессивных районов, создания рабочих мест, развития образования, здравоохранения, привлечения или, наоборот, рассредоточения капитала и т.д.

К основным льготам такого рода следует также отнести освобождение от налогов (федеральных или местных) на срок до 10 лет для фирм, зарегистрированных и действующих

в депрессивных или районах со сложными природно-климатическими условиями, что характерно для севера Канады.

Широкое применение имеют блочные гранты (финансирование программ, дополняющее финансирование из местного бюджета). Так, в Канаде широко применяются гранты для финансирования здравоохранения и повышения квалификации.

Данный вид грантов также широко применяется в Соединенных Штатах Америки в комбинации с категориальными грантами. Их доля составляет 90% от общей суммы выделяемых трансфертов. Около 70% данных грантов идут на финансирование специальных проектов в США, например Medicare – программа оказания медицинской помощи пенсионерам (людей старше 65 лет), MEDICAID – расходы на здравоохранение для бедных слоев населения, Aid to Families with Dependent Children – поддержка бедных семей с детьми.

Так, в федеральном бюджете США на 2005 год по Программе MEDICAID было выделено 182 миллиарда долларов, по программе Medicare – 333 миллиарда долларов [3].

Инвестиционную политику развитых стран в последние годы определяли также поиски и реализация новых рыночных структурных и технологических преобразований для удовлетворения возникающих новых общественных потребностей.

К настоящему времени определились основные экономические и структурные направления совершенствования экономики развитых стран на базе современного научно-технического прогресса, заключающиеся в приоритетности потребления, развития наукоемких и высокотехнологичных производств и сферы обслуживания, связанной как с потреблением, так и производством.

Особенность капиталонакопления в текущем периоде для стран с развитой рыночной экономикой в структурном плане заключается в относительном сокращении капитальных вложений в материальное производство и относительном увеличении их в сферу услуг, что способствует процессу снижения удельных потребностей в капитале на единицу продукции экономики в целом.

В качестве регулирующего инструмента в развитых странах выступает также государственный инвестиционный заказ, к которому правительства этих стран прибегают в следующих случаях [4, с.294-295]:

- когда обнаруживаются расхождения между интересами компаний, частного капитала и общегосударственными интересами;
- когда предприниматели и владельцы капитала не очень заинтересованы экономически в решении общегосударственных проблем;
- когда правительство или местные органы власти сами видят необходимость в периоды кризисов и спадов поддержать занятость отдельных фирм и корпораций;
- для нейтрализации экономических и социальных негативных последствий рыночных отношений в инвестиционной сфере;
- для формирования приоритетности инвестиционных вложений с точки зрения общегосударственных или региональных интересов;
- для быстрой ликвидации дефицитов отдельных материалов и готовой продукции, возникающих от конъюнктурных рыночных перекосов;
- для предотвращения срывов выполнения внешнеэкономических государственных обязательств.

Главными объектами регулирования в странах с развитой рыночной экономикой являются механизмы:

- а) принятия конкретных инвестиционных решений,
- б) выработки приоритетов капиталовложений,
- в) перелива капитала из менее эффективных в более эффективные и передовые отрасли.

Важнейшая особенность капиталонакопления в развитых странах заключается в том, что принятие и реализация инвестиционных решений осуществляются на внебюджетной (частной) и возвратной основе, что связано со строгой ответственностью за эффективность их реализации и расходования на всех уровнях.

Вместе с тем в этих странах четко выделяются три важнейших уровня принятия инвестиционных решений, что непосредственно связано с существованием трех основных форм владения капиталом или держателей капитальных средств: частного капитала; государства и государственных предприятий центрального (федерального) уровня и местного (штатного, муниципального) уровня.

Эта довольно сложная совокупность субъектов инвестиционного процесса действует в тщательно разработанной системе частноправовых отношений, охватываемых как общими началами торгового или коммерческого права (хозяйственными кодексами), так и банковским, страховым, биржевым, институциональным и другими специальными отраслями частного права.

Общими принципами регулирования инвестиционного процесса в странах с развитой экономикой являются:

неприкосновенность капитала и частной собственности (санкции только по решению суда и в рамках закона);

строгая возвратность и возмездность банковских кредитно-заемных средств и операций;

государственные и частные (страховые) гарантии капитала и частной собственности;

высокий уровень разработанности институционального права, регулирующего создание и деятельность различных юридических форм существования капитала и частной собственности в виде акционерных обществ или корпораций, компаний с ограниченной ответственностью, различных форм партнерств (товариществ), индивидуальных фирм;

товарных и фондовых бирж;

форм собственности на землю и недвижимость;

договоров сдачи в аренду, лизинг, залог, ипотеку и т.д.

Таким образом, вся система регулирования инвестиционной деятельности направлена, в первую очередь, на защиту прав владельцев капитала и на обеспечение наиболее беспрепятственного и быстрого капиталонакопления в интересах владельцев капитала и, в конечном счете, на развитие производства и рост потребления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донцова Л.В. Система регулирования инвестиционных процессов в развитых странах / Л.В. Донцова // Менеджмент в России и за рубежом. 1999. № 4. С. 20-27.
2. Ермасова Н.Б. Государственные и муниципальные финансы / Н.Б. Ермасова. М.: Высшее образование, 2008. 356 с.
3. Материалы Экономического комитета США. <http://www.house.gov/jec>.
4. Социально-экономическая трансформация хозяйственной системы России. СПб.: Изд-во СПб УЭФ, 1997. 398 с.

Айриева Арига Нердовна – аспирант кафедры «Экономика и управление в строительстве» Саратовского государственного технического университета

Airiyeva Ariga Nerdovna – Post-graduate student of the Department of «Economics and Management in Construction» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 17.11.08, принята к опубликованию 25.02.09

Т.А. Алимбеков

ФОРМИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ

Рассматриваются развитие и функционирование системы управления персоналом. Описывается цикл жизни системы управления персоналом и определяется приоритет оценки персонала как одно из основных стратегических направлений.

Стратегия, квалификация, персонал, организация, управление.

T.A. Alimbekov

PERSONNEL MANAGEMENT STRATEGY FORMATION AND REALIZATION

Strategy management of the personnel, being the strategic element of the management of the organization, expects the development and operation of the system of personnel management, which is configured for its own evolution strategy and pursues the purpose to achieve not only organizing, but also its own insight systems strategic problems and directions. The author describes the life cycle of the system of the personnel management and motivates the priority of evaluation of personnel as one of the base strategic directions.

Strategy, qualification, personnel, organization, management.

По мере обогащения теории и практики управления персоналом, а также стратегического менеджмента в научном обороте появился новый термин – «стратегическое управление персоналом». В связи с инновационностью данного понятия наблюдаются размытость, нечеткость и разноплановость взглядов ученых на его сущность.

Чаще всего стратегическое управление персоналом рассматривается в контексте вопросов, касающихся стратегии предприятия и его стратегического менеджмента. В частности, в литературе отмечается, что стратегия управления человеческими ресурсами должна быть интегрирована с долгосрочными и среднесрочными стратегическими бизнес-планами компании. Стратегия дает возможность организации суммировать тип или типы трудовых ресурсов, необходимых для её будущего успеха, составлять планы развития персонала, определять основные «двигатели управления» (минимальные издержки, лучшие услуги), а также типы систем управления человеческими ресурсами, процессов, услуг и процедур, необходимых для целей организации. «Чтобы добиться максимального использования потенциала сотрудников компании, управление персоналом должно стать частью организационной стратегии» [6, с.81]. Условиями функционирования системы управления персоналом являются непротиворечивая взаимосвязь и взаимодополнение ее элементов, а также их стабилизация, т.е. «приведение кадров, целей, функций, структуры, форм и методов в постоянное устойчивое состояние» [9, с.112].

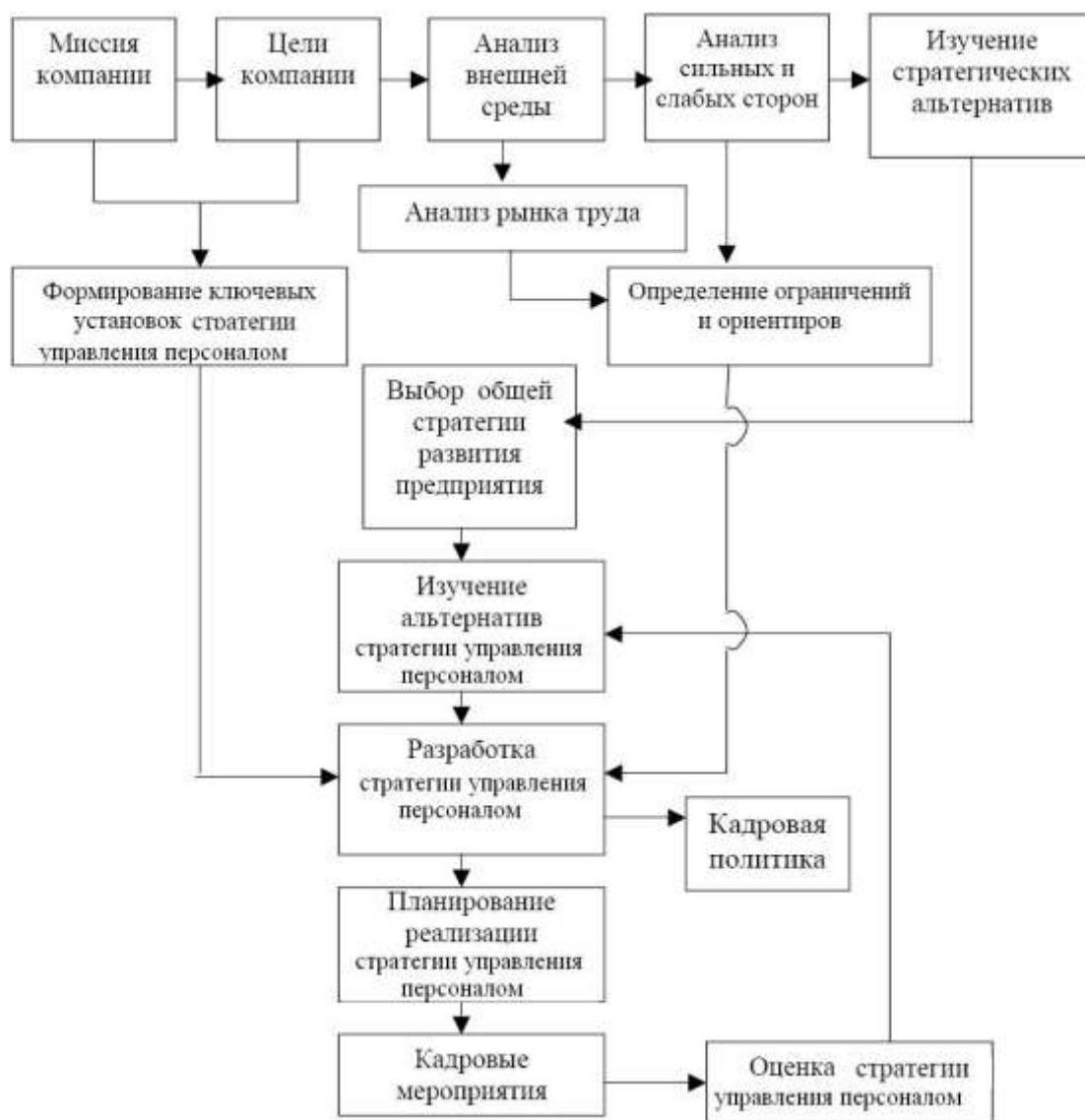
Состояние персонала предприятия, уровень его квалификации и профессионализма, способность наемных сотрудников оптимально решать стоящие перед ними производственные задачи и приносить прибыль предприятию напрямую зависят от тех теоретических подходов и практических методов работы с людьми, которые используют в своей повседневной

работе менеджеры компании. Иными словами, они сопряжены с реализуемой предприятием стратегией управления персоналом.

Стратегия – это генеральная линия развития предприятия, которая формируется в ответ на изменения во внешней среде с учетом характеристик внутренней среды организации и является, по сути, замыслом организации своего будущего.

Функциональной, производной от корпоративной стратегии является стратегия управления персоналом. Стратегия управления персоналом – это прежде всего концепция работы с персоналом, концепция формирования, использования и развития человеческого ресурса, производная от бизнес-стратегии организации. Это генеральная линия в работе с персоналом, которая предполагает разработку состава и последовательности принимаемых решений для достижения системой управления персоналом поставленных целей, это замысел организации своего будущего в области управления персоналом.

Стратегия управления персоналом создает условия для принятия решений, удовлетворяющих и предприятие, и персонал организации. С ее помощью определяется, насколько реализуема общая стратегия организации и что необходимо изменить в работе с персоналом.



Основные этапы формирования и реализации стратегии управления персоналом предприятия

В настоящее время можно выделить три варианта стратегий в отношении персонала: стратегии инвестирования; стратегии стимулирования; стратегии вовлеченности. Конкретный вид эффективной стратегии зависит от экономического развития общества, его культуры, а также от отрасли и величины предприятия. Представляется, что со временем большее распространение получит стратегия вовлеченности, поскольку будет востребован творческий труд высококвалифицированных сотрудников, отождествляющих себя с работой и фирмой.

Взяв за основу подходы классического стратегического планирования на предприятии и принципы работы с персоналом, можно выделить следующие этапы разработки стратегии управления персоналом предприятия:

- формирование ключевых установок (на основе внешней и внутренней миссии предприятия и положений общей стратегии развития);
- определение ориентиров и ограничений стратегии управления персоналом (в основу которых лягут анализ сильных и слабых сторон предприятия на отраслевом региональном рынке и тенденции локального рынка труда);
- планирование стратегии управления персоналом, в том числе разработка стратегических целей, программ реализации стратегии и перечней мероприятий, система оценки ее эффективности. Также на данном этапе формируется кадровая политика предприятия.

Реализация стратегии управления персоналом, как и любой другой, связана с оценкой ее эффективности. Правильно выбранная стратегия управления персоналом обеспечивает:

- 1) своевременное укомплектование кадрами рабочих и специалистов в целях обеспечения бесперебойного функционирования производства, своевременного освоения новой продукции;
- 2) формирование необходимого уровня трудового потенциала коллектива предприятия при минимизации затрат;
- 3) стабилизацию коллектива благодаря учету интересов работников, предоставлению возможностей для квалификационного роста и получению других льгот;
- 4) формирование более высокой мотивации к высокопроизводительному труду;
- 5) рациональное использование рабочей силы по квалификации и в соответствии со специальной подготовкой и т.д.

Однако достижение этих результатов возможно при правильной оценке осуществимости стратегии управления персоналом в конкретных организационно-технических и социальных условиях. Такая оценка необходима уже на стадии выбора стратегии управления персоналом.

Риск не реализовать выбранную стратегию управления персоналом либо реализовать со значительно меньшим эффектом может быть связан:

- а) с изменением общей стратегии и производственной деятельности фирмы как реакции на неблагоприятное изменение ситуации со сбытом продукции;
- б) с изменением ситуации на территориальном (или отраслевом) рынке труда;
- в) с трудностями быстрой окупаемости средств, вкладываемых в рабочую силу;
- г) с нежеланием работников реагировать и действовать в нужном для предприятия направлении и т.д.

Одним из стратегических направлений является оценка персонала. В частности, ряд авторов [9, 10] центральное место в стратегии управления персоналом отводят компетенциям. Действительно, стратегическое управление предполагает, во-первых, оценку в процессе отбора кандидатов на вакантные рабочие места, на соответствие их характеристик стратегическим целям и задачам; во-вторых, оценку компетенций работающих; в-третьих, анализ потребностей развития персонала с учетом стратегии организации (уровня несоответствия требуемых компетенций фактическим).

Высокая значимость оценки персонала в стратегическом управлении связана с определенным взглядом на сущность, содержание и виды данного процесса. Так, мы рассматри-

ваем оценку как многоэтапный, последовательный процесс изучения индивидуальных свойств и (или) результатов деятельности работника в различных целях в рамках управления персоналом организации. При этом оценка выступает в качестве системного процесса, элементами которого являются взаимосвязанные и взаимообусловленные виды, субъекты, методы, показатели оценки.

При оценке стратегии управления персоналом нужно учитывать возможность интегральных эффектов, когда итоговый результат деятельности выше, чем простая сумма частных результатов: проигрывая в одном, можно существенно выиграть в другом. Например, реализация стратегии развития предприятия, основанная на различного вида интеграции и диверсификации, позволит получить эффект, который сможет перекрыть дополнительные издержки на рабочую силу, в то время как традиционный подход даст отрицательный результат.

Выигрыш может быть получен за счет многократного использования одних и тех же ресурсов или за счет экономии на условно-постоянных расходах, а также за счет того, что удастся обеспечить большее соответствие новой продукции и услуг потребительскому спросу и получить больший доход за счет высоких цен их реализации. При диверсификации возможная убыточность одного производства может успешно компенсироваться прибыльностью другого, что нельзя не учитывать при выборе ориентиров в стратегии управления персоналом.

В завершение хотелось бы сказать, что необходима проверка стратегии управления персоналом на ее соответствие сложившимся на предприятии традициям в работе с кадрами, привычным для коллектива и принимаемым им. Следует учитывать психологический климат на предприятии, потенциальные возможности коллектива, изменения во внешнем окружении. Поэтому целесообразно проводить социологические исследования в целях изучения реакции со стороны коллектива на выбранную стратегию управления персоналом, а на материалах территориальной службы занятости проводить анализ ситуации на рынке труда в отношении конъюнктуры спроса на рабочих разных профессий, уровня квалификации, профиля подготовки.

Таким образом, рассмотрение поэтапного процесса стратегического управления персоналом дает ответы на актуальные для многих предприятий вопросы о том, что конкретно, как и в какой последовательности необходимо делать при разработке и внедрении стратегического управления персоналом. На каждом этапе проводятся достаточно сложные по содержанию работы, выполнить которые могут высококвалифицированные специалисты, обладающие специальными знаниями и навыками в области стратегического корпоративного менеджмента и управления персоналом. Однако упрощенный подход к формированию элементов стратегического управления персоналом, игнорирование некоторых задач или их поверхностное исполнение не позволит организации создать высокоэффективную систему стратегического кадрового менеджмента, в полной мере учитывающую специфику изменений во внешней и внутренней среде, которая органично сочетается со всеми направлениями деятельности фирмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веснин В.Р. Стратегическое управление: учебник / В.Р. Веснин. М.: ТК «Велби», изд-во «Проспект», 2006. 328 с.
2. Друкер П.Ф. Задачи менеджмента в XXI веке: учеб. пособие / П.Ф. Друкер; пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2002. 272 с.
3. Одегов Ю.Г. Управление персоналом: учебник для вузов / Ю.Г. Одегов, П.В. Журавлев. М.: Финстатинформ, 1997. 878 с.
4. Управление человеческими ресурсами / под ред. М. Пула, М. Уорнера. СПб.: Питер, 2002. 1200 с.
5. Веснин В.Р. Практический менеджмент персонала: пособие по кадровой работе / В.Р. Веснин. М.: Юристъ, 1998. 496 с.

6. Шекшня С.В. Управление персоналом современной организации: учеб.-практ. пособие. Изд. 4-е / С.В. Шекшня. М.: ЗАО «Бизнес-школа "Интел-Синтез"», 2000. 368 с.
7. Управление персоналом: учебник для вузов / под ред. Т.Ю. Базарова, Б.Л. Ерёмина. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. 423 с.
8. Маслов Е.В. Управление персоналом предприятия: учеб. пособие / Е.В. Маслов; под ред. П.В. Шереметова. М.: ИНФРА-М; Новосибирск: НГАЭиУ, 2000. 312 с.
9. Персонал: словарь понятий и определений / П.В. Журавлев, С.А. Карташов, М.К. Маусов и др. М.: Экзамен, 1999. 512 с.
10. Управление персоналом: учебник / под ред. А.Я. Кибанова. М.: ИНФРА-М, 1997. 512 с.

Алимбеков Тагир Анвярович –
аспирант кафедры
«Экономическая теория и учения»
Саратовского государственного
технического университета

Alimbekov Tagir Anvyarovich –
Post-graduate student of the Department
of «Economic Theory»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 29.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 339.5

А.С. Андрианов

РЕМОНТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваются основные направления совершенствования управления ремонтным обслуживанием промышленного оборудования на основе использования современных информационных технологий.

Ремонтное обслуживание, ремонт оборудования, корпоративная информационная система, повышение эффективности производства.

A.S. Andrianov

INDUSTRIAL EQUIPMENT MAINTENANCE ON THE BASIS OF CORPORATE INFORMATION SYSTEM

The article explores the main directions of improving the management of maintenance services of industrial equipment based on the use of modern information technology.

Repair service, repair equipment, corporate information system, improving the efficiency of production.

Современная, сложная и динамичная рыночная среда требует от предприятий постоянного совершенствования систем управления и информационных систем их поддержки.

Одним из основных направлений является создание на предприятии корпоративной информационной системы (КИИС).

Под КИИС процесса ТО и ремонта понимается вся совокупность информации, циркулирующая в ремонтной службе предприятия, порождаемая в процессе ее деятельности и оказывающая влияние на результаты ее деятельности, реализованная в программно-техническом виде на основе компьютерных технологий.

Соответственно, одну из задач управления процессом ТО и ремонта промышленного оборудования можно сформулировать как повышение уровня информатизации и автоматизации методов управления ремонтным обеспечением.

Использование КИИС на предприятиях позволяет сформировать базу данных обо всех производственных единицах, содержащую информацию о: наименовании и назначении оборудования; конструктивных и ремонтных особенностях оборудования; условиях эксплуатации; рекомендациях производителя по эксплуатации оборудования; времени работы / простоя оборудования; категории ремонтной сложности; всех проведенных ТО и ремонтных работах; произведенных затратах на техническое обслуживание и ремонт; производительности оборудования.

Также КИИС позволяет с минимальными затратами времени получать и рассчитывать следующие показатели эффективности ремонта (см. таблицу).

Основные показатели эффективности ремонта

	Стоимостные	Временные	Технические
Показатели процесса	Общая стоимость запасов, стоимость субподрядов, затраты на оплату труда ремонтных рабочих	Общее время, затраченное на выполнение ремонтных работ	Уровень технической оснащенности, прогрессивности парка оборудования
Показатели продукта процесса	Стоимость ремонтных работ по единице оборудования	Время последующей эксплуатации оборудования	Технологическая точность
Показатели удовлетворенности потребителей процесса	Общая стоимость ремонтных работ, доля затрат на ремонт в себестоимости продукции	Время поиска и устранения неисправностей	Количество жалоб, отказов оборудования

Опираясь на вышеперечисленные данные, программа формирует годовой план-график ТО и ремонта промышленного оборудования, в котором указывается, в какой срок и какой вид работ должен быть проделан: техническое обслуживание, капитальный ремонт, средний ремонт или текущий ремонт.

После проведения ремонтных работ их результаты должны заноситься в единую базу данных предприятия, чтобы с помощью компьютерной программы произвести анализ отклонения фактически полученных результатов от плановых. Отклонения выражаются в виде:

- переноса сроков ремонтных работ;
- замены вида ремонтных работ;
- аварийных ремонтов.

По каждому отклонению должны быть выявлены и проанализированы причины, чтобы учесть их при составлении следующего годового плана графика ТО и ремонтных работ или для корректировки текущего.

Таким образом, внедрение КИИС, на основе одной из программных систем управления базами данных, позволяет в полной мере реализовать принципы Единой системы ППР, которая предусматривает:

1. Периодическое выполнение технического обслуживания и различного вида ремонтов оборудования после определенного числа часов его работы.

2. Установление последовательности профилактических и ремонтных воздействий и интервалов времени между ними в зависимости от условий эксплуатации оборудования, его технических характеристик и типа производства.

3. Выполнение профилактических и разных ремонтных воздействий в пределах регламентированных объемов работ, обеспечивающих нормальное работоспособное состояние оборудования.

Другой важной задачей управления процессом ТО и ремонта промышленного оборудования является организация материально-технического снабжения запасными частями и комплектующими. С одной стороны, склад должен в кратчайшие сроки предоставить расходный материал для осуществления ремонта, с другой стороны – увеличение запасов влечет за собой увеличение издержек.

Материально-техническое снабжение работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования предусматривает своевременное получение или изготовление запасных частей и комплектующих для замены изнашивающихся. Число деталей, хранящихся на складе, должно удовлетворять возникающую потребность в них для всех видов работ по техническому обслуживанию и ремонту. В то же время запас деталей не должен превышать величины расхода за время, необходимое для восстановления запаса.

Поэтому организация материально-технического снабжения запасными частями и комплектующими должна осуществляться на основе анализа статистических данных, сформированных КИИС.

Для любого товара все компоненты, входящие в него, представляют компоненты зависимого спроса. Спрос на те или иные изделия зависит, когда связи между изделиями могут быть определены. Поэтому если руководитель может спрогнозировать спрос на конечный продукт, то количество всех потребных компонент этого продукта может быть подсчитано потому, что все компоненты являются зависимыми от конечного продукта изделиями.

График производственного плана, ведомость состава изделия, учет состояния заделов и закупок и время изготовления каждого элемента являются элементами системы планирования потребности материалов, деталей и узлов.

Производственный график определяет, что должно быть сделано и когда. График должен быть согласован с производственным планом. Производственный план представляет собой объемлющую все уровни выходную информацию в наиболее представимых терминах (например, типоразмеры изделий, нормативная трудоемкость изготовления или стоимость в деньгах). Производственный план формируется на основе методов, применяемых в агрегатном планировании. Такие планы используют множество входных данных, включая финансовые планы, потребительский спрос, пропускную возможность инженерных служб, возможности трудовых ресурсов, колебания запасов, оценку поставщиков и ряд других.

Каждый информационный вклад имеет свой путь вхождения в производственный план, который показывает процесс планирования от производственного плана до исполнения.

В связи с развитием технологий, постоянно растущей конкуренцией, изменениями в налоговом законодательстве, обостряется необходимость в увеличении эффективности использования финансового, производственного и трудового потенциала, позволяющей повысить конкурентоспособность предприятия. Многие компании вынуждены нести существенные дополнительные расходы в сфере материально-технического снабжения, по причине отсутствия представления о том, как наиболее эффективно управлять мощными финансовыми и материальными потоками.

Еще одна причина заключается в отсутствии своевременной, полной и систематизированной информации, способов и средств ее обработки, методов подготовки оптимальных управленческих решений на основе этой информации.

Ведущие аналитические агентства, такие как AMR Research и Gather Group сходятся во мнении, что дополнительные расходы по причине низкой эффективности управления могут быть в разных отраслях 15-27% от общего объема закупок материально-технических ресурсов. Учитывая тот факт, что доля затрат только на сырье и материалы в себестоимости продукции некоторых компаний может достигать 50-80%, то неэффективность системы материально-технического снабжения способна усугубить ситуацию, существенно снизив рентабельность бизнеса.

Существенны расходы на восстановления при авариях на производстве, выходе из строя важных элементов технологических цепочек и простоем оборудования, число аварий растет пропорционально росту объема изношенных машин. Стоимость простоев складывается из суммы потерь доходов, затрат на избыточные мощности и затрат на восстановление. К потерям дохода относятся не только затраты на материалы, запчасти и зарплату, но и величина всех доходов, измеряемая потерянной прибылью от продаж из-за невозможности выполнения плана ввиду неработоспособности оборудования.

Однако на сегодняшнем этапе развития информационных технологий и компьютерных систем, существуют возможности решения информационной проблемы, существующей в управлении организацией ремонтных работ и их материально-технического снабжения. Это можно осуществить включением процесса ТО и ремонта оборудования в КИИС предприятия. Информационная поддержка на этапах диагностирования текущего технического состояния оборудования, оценки качества ТО и ремонта, определении объемов и сроков работ с составлением перечней узлов, подлежащих замене, должна поднять качество этих процессов и получить выигрыш в стабильности функционирования производства и получении дополнительной прибыли.

Процесс планирования материально-технического снабжения технического обслуживания и ремонта оборудования находится в непосредственной зависимости от требуемых объемов ремонтно-восстановительных работ. Таким образом, основой для расчета потребности в запасных частях и комплектующих является годовой план-график ТО и ремонта оборудования предприятия.

Другой ключевой задачей процесса управления ТО и ремонта является определение оптимального срока использования промышленного оборудования.

Известно, что эксплуатация устаревших механизмов способствует прогрессивному росту производственных издержек: уменьшается точность работы оборудования, увеличиваются возвратные и безвозвратные отходы, удлиняется время простоев машин, повышается себестоимость продукции. Вместе с тем замена изношенных механизмов новой техникой также связана с дополнительными расходами: возникает необходимость в инвестиционных ресурсах, организуется переподготовка кадров, меняется технология обслуживания машин и механизмов.

При принятии решения о замене оборудования в первую очередь должен приниматься во внимание анализ следующих показателей:

- динамика затрат на текущее обслуживание машины (чем старше оборудование, тем больше расходы на повседневное обеспечение нормальной работы механизмов);
- возрастающие потери сырья, материалов, топливно-энергетических ресурсов по мере увеличения срока эксплуатации техники;
- неодинаковые расходы на ремонт в начальный и конечный периоды использования машин;
- увеличивающиеся простои промышленного оборудования по мере его износа.

Для получения максимально достоверной информации вышеперечисленные показатели должны рассчитываться с учетом дисконтирования.

Решение задачи определения рациональных сроков службы оборудования является возможным только на основе внедрения КИИС, с использованием современной вычисли-

тельной техники. Данная задача относится к типу экстремальных, т.е. составляются функции от многих переменных и находится минимум этой функции.

Внедрение КИИС позволяет достигнуть следующих результатов в организации ремонтного обслуживания оборудования промышленного предприятия:

- обеспечение высокой степени координации деятельности ремонтной службы с целью минимизации простоя оборудования в ремонте и при техническом обслуживании;
- полное согласование ремонтного обслуживания с системой оперативно-производственного планирования основного производства;
- обеспечение достоверного учета затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, а также построение бюджета ремонтной службы на основании детальных данных годового плана-графика ремонтных работ;
- обеспечение накопления и анализа данных, полученных в ходе эксплуатации, обслуживания и ремонта, с целью совершенствования системы ремонтного обслуживания промышленного предприятия;
- своевременное и качественное осуществление комплекса работ по профилактическому обслуживанию, уходу и контролю технического состояния оборудования с целью предупреждения перебоев в его работе.

Таким образом, внедрение новых форм организации технического обслуживания и ремонта на основе процессного подхода и использовании современных компьютерных информационных технологий является одним из важнейших факторов повышения эксплуатационной надежности оборудования, роста качества продукции и снижения затрат на ее производство, а в конечном итоге и усиления конкурентоспособности предприятия как на внутреннем, так и внешних рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анцев В.Ю. Оптимизация последовательности выполнения работ при техническом обслуживании и ремонте металлообрабатывающего оборудования / В.Ю. Анцев, С.Г. Зайков, А.В. Федоров // Известия Тульского государственного университета. Серия Экономика. 2003. Вып. 3. С. 207-212.
2. Денисов В.Т. Повышение эффективности холодно-штамповочного производства / В.Т. Денисов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1985. 167 с.
3. Драгун Л.Н. Совершенствование управления экономикой ремонтного производства (теория и практика) / Л.Н. Драгун. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1985. 140 с.
4. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. Изд. 6-е. М.: Машиностроение, 1967. 592 с.
5. Ивлев В. Реорганизация деятельности предприятий: от структурной к процессной организации / В. Ивлев, Т. Попова. М.: Научтехлитиздат, 2000. 281 с.
6. Информационная поддержка систем управления качеством изготовления машин / С.А. Васин, В.Ю. Анцев, А.Н. Иноземцев, Н.М. Пушкин; под общ. ред. С.А. Васина. Тула: Тул. гос. ун-т, 2002. 428 с.
7. Касимов А.М. Совершенствование ремонтного производства на предприятии / А.М. Касимов. М.: Экономика, 1985. 112 с.

Андрянов Алексей Сергеевич – аспирант кафедры «Экономика и управление внешнеэкономической деятельностью» Саратовского государственного социально-экономического университета

Andrianov Aleksey Sergeyeovich – Post-graduate student of the Department of «Economics and Management of Foreign-economic Activity» of Saratov State Social Economic University

Статья поступила в редакцию 20.01.09, принята к опубликованию 25.02.09

О.А. Беляева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПРОМИССОВ В УПРАВЛЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Обосновывается использование компромиссов при управлении экономическими системами на макро- и микроуровнях на основе комплексного использования методов математического моделирования

Экономическая система, теория систем, компромисс, эффективность системы.

O.A. Belyayeva

COMPROMISE USE IN OF ECONOMIC SYSTEMS MANAGEMENT

The article proves the use of compromises in managing economic systems on macro- and micro levels in terms of complex usage of mathematics modulation methods.

Economics system, system theory, compromise, system efficiency.

В настоящее время одним из наиболее активно используемых в рамках управленческой деятельности подходов к рассмотрению организаций и управлению ими является системный подход, интерес к которому обусловлен современными потребностями развития экономики. В настоящее время практически в любой научной работе, посвященной экономическим и управленческим проблемам, содержатся ссылки на системный подход, который зачастую предлагается трактовать как новый тип управленческого мышления, предполагающий рассмотрение в качестве объекта управления экономическую систему.

Под **экономической системой** целесообразно понимать сложную вероятностную динамическую систему, охватывающую процессы производства, обмена, распределения и потребления материальных и других благ и функционирующую во взаимосвязи с внешней средой.

При формировании экономических систем должны учитываться следующие принципы теории систем:

- принцип последовательного продвижения по этапам создания системы. Соблюдение этого принципа означает, что система сначала должна исследоваться на макроуровне, т. е. во взаимоотношении с окружающей средой, а затем на микроуровне, т. е. внутри своей структуры;
- принцип согласования информационных, ресурсных и других характеристик проектируемых систем;
- принцип отсутствия ярко выраженных конфликтов между целями отдельных подсистем и целями всей системы.

Так как достижение целей системы и эффективность ее функционирования во многом зависят от внешней среды организации, поэтому, с точки зрения автора, целесообразно рассматривать экономическую систему в соответствии с целями управления как обособленно, так и в совокупности с поставщиками сырья, материалов и комплектующих изделий, потребителями готовой продукции, посредниками и т.д., то есть как кластер (в соответствии со сле-

дующим определением: кластеры – группы организаций (компаний, предприятий, объектов инфраструктуры, научно-исследовательских институтов, вузов и др., связанных отношениями территориальной близости и функциональной зависимости в сфере производства продукции, ее реализации или потребления ресурсов). Причем взаимосвязь между элементами такого кластера обеспечивается движением материальных, информационных, финансовых и других ресурсов, так как именно такой подход позволит более полно охарактеризовать функционирование системы. Согласно работам Г.Б. Клейнера [1, 2], кластер имеет следующие характерные черты:

1) по своей экономической сущности кластер занимает промежуточное место между автономными организациями, региональными промышленными комплексами и отраслевыми альянсами, сочетая в себе черты всех видов экономических систем;

2) кроме того, кластер несет на себе и отпечаток проектных систем, поскольку часто является плодом сознательных организационных усилий лиц, рассматривающих формирование кластера как управленческий проект;

3) в определенном смысле кластер можно рассматривать как процесс, поскольку его состав не является постоянным и может измениться в любой момент производственной деятельности.

Эти интегрированные свойства кластеров позволяют в принципе применять к ним методы классического управления экономическими системами.

Учитывая подход, предлагаемый теорией систем, можно представить определение рассматриваемой экономической системы в следующей форме:

$$S = (Ц, ДР, СТ, СВ, Р, ПЭ, У, Э), \quad (1)$$

где *Ц* – цели функционирования экономической системы; *ДР* – движение ресурсов; *СТ* – структура; *СВ* – связи внешние и внутренние; *Р* – ресурсы; *ПЭ* – подразделения и элементы, *У* – управление; *Э* – эффективность, причем данная функциональная модель применима для экономических систем на макроуровне – кластер, и на микроуровне – организация как экономическая система.

При проектировании экономических систем на микро- и макроуровнях необходимо осуществлять согласование информационных, ресурсных и других характеристик проектируемых систем, что позволит сохранить целостность системы и обеспечит устойчивость на всех этапах ее развития.

Экономические системы, как и любые системы, в реальности могут находиться на различных стадиях развития и отличаться степенью полноты охвата различных компонентов производства, снабжения и сбыта. При возрастании степени полноты охвата компонентов возрастает соответственно и сложность системы в связи с увеличением количества элементов и связей между элементами и усложнением данных связей, что приводит к необходимости поиска решений, удовлетворяющих требованиям и ограничениям экономической системы и учитывающих несовпадение экономических интересов отдельных элементов, ограниченность ресурсов и т.д. Данные решения можно, с точки зрения автора, назвать **компромиссными** и управление экономическими системами любого уровня должно базироваться на идее экономических компромиссов, позволяющих добиться наиболее эффективного функционирования системы.

Экономический компромисс – это категория, применяемая в процессе принятия решений относительно предпринимательской деятельности, связанная с поиском решений, удовлетворяющих требованиям и ограничениям экономической системы и учитывающих несовпадение экономических интересов отдельных элементов системы, ограниченность ресурсов и т.д. Она выражается в соотношениях, отражающих интересы различных структурных элементов, предприятий и всех фирм-участниц товародвижения. Но когда принятие решений находится под воздействием большого числа переменных, гармонизация интересов, как правило, достигается не путем расчетов, а сравнением качественных характеристик дея-

тельности фирм. Необходимость поиска компромиссов (гармонизации интересов звеньев экономической системы) обосновывается, во-первых, тем, что любая система динамично развивается и в рамках своего поведения (устойчивого, контролируемого перехода системы из одного в другое) и поведения отдельных элементов сталкивается с экономическими конфликтами; а во-вторых, тем, что ни одно из структурных подразделений внутри организации не располагает достаточными ресурсами, чтобы в одиночку должным образом реагировать на изменение условий и самостоятельно эффективно работать.

Необходимость поиска компромиссов также подтверждается тем, что изменение параметров одних элементов экономической системы приводит к изменению параметров других элементов (в соответствии со свойствами системы), например, издержки на какие-то одни операции экономической системы непременно сказываются на других операциях (низкие издержки на транспортировку грузов могут привести к увеличению совокупных издержек в целом, например, транспортное подразделение добивается минимизации издержек, принося в жертву скорость и особенно надёжность доставки, поэтому предложение об изменении одного из видов деятельности надо рассматривать в увязке с общей суммой затрат). Следовательно, получение экономического эффекта требует нахождения экономических компромиссов, чтобы гармонизировать интересы различных структурных элементов экономической системы и всех участников товародвижения.

Рассматривая компромиссы как метод балансировки показателей деятельности организации, следует отметить, что они оцениваются в двух аспектах: во-первых, с точки зрения воздействия на полные издержки экономической системы и, во-вторых, по влиянию на доходы организации. Например, можно найти компромисс таким образом, что полные издержки увеличатся, но вследствие лучшего предоставления услуг результаты деятельности возрастут. Если разница между доходами и издержками больше, чем она была раньше, компромисс имеет своим результатом улучшение по показателям «затраты – эффективность». Описание реальных экономических систем с помощью математических моделей позволяет находить компромиссы между различными звеньями, учитывая при этом все существующие ограничения. Применение математических методов позволяет выбрать один-единственный вариант решения (оптимальную схему компромисса) путем выделения области компромисса [3, 4].

Для экономических систем одним из основных факторов, оправдывающих и подтверждающих целесообразность использования идеи экономических компромиссов при постановке задачи повышения эффективности, является их способность гибко реагировать и учитывать изменения во внешней и внутренней среде, поведение всей системы и ее отдельных элементов. К таким изменениям условий внешней среды могут относиться изменения спроса на те или иные товары и услуги, выход из строя технологического оборудования, изменения транспортных тарифов, ввод или вывод из строя тех или иных транспортных каналов, изменения в процентных ставках по кредитованию и т.п., внутренней среды – ограниченность ресурсов, несовпадение целей подсистем с целями системы, временные ограничения и т.д. Характер выполняемых операций, соответственно, изменяется по ходу функционирования системы под воздействием изменяющихся внешних факторов и внутренних переменных.

Поиск экономических компромиссов при обосновании управленческих решений должен, с точки зрения автора, базироваться на следующих положениях теории систем:

- рассматриваются все теоретически возможные альтернативные методы и средства достижения целей, оцениваются возможные комбинации и сочетания этих методов и средств;
- альтернативы развития и функционирования систем оцениваются не только с точки зрения фактически достигнутых результатов на данный момент времени, но и с позиций длительной перспективы, при этом оценка должна базироваться, с точки зрения автора, на применении математического инструментария;
- низкая степень стандартизации принимаемых управленческих решений;
- четко излагаются различные взгляды при решении одной и той же проблемы;

- данный подход применяется к проблемам, для которых не полностью определены требования стоимости, времени или другие параметры;
- признается принципиальное значение организационных и субъективных факторов в процессе принятия решений, и в соответствии с этим разрабатываются процедуры согласования различных точек зрения;
- особое внимание уделяется факторам риска и неопределенности, их учету и оценке при выборе наиболее оптимальных решений среди возможных вариантов.

Принципы разработки оптимальных управленческих решений в экономической системе, согласно вышеизложенным положениям теории систем, обязательно должны предусматривать анализ различных альтернатив и согласование интересов отдельных структурных звеньев экономической системы, что, как правило, в реальных условиях в связи с существующими ограничениями и возникающими противоречиями (при распределении ресурсов, несовпадении целей элементов системы и т.д.) приводит к необходимости поиска компромисса. Поиск компромисса (компромиссных решений) должен, с точки зрения автора, опираться как на анализ ретроспективного периода, поиска устойчивых закономерностей, тенденций, многовариантных прогнозных расчетов, выбора рациональных вариантов принятия решений, так и на анализ перспектив развития экономической системы. Существуют различные методы и модели, традиционно используемые в практике перспективного анализа, причем применение моделей анализа, как правило, ограничивается спецификой рассматриваемой ситуации (числом элементов, характером связей, степенью детерминированности, принципами и критериями оптимальности и т.д.). Основными методами ретроспективного анализа деятельности принято считать: сравнительные методы, методы факторного анализа, методы маржинального анализа, экономико-математическое моделирование и т.д.

С точки зрения автора, целесообразно при принятии управленческих решений использовать математическое моделирование, так как именно математические модели позволяют не только получить решение для конкретного случая, но и определить влияние параметров системы на результат решения, то есть наиболее удобны для оценки результата (в том числе и в перспективе) реализации принятого решения и оценки его оптимальности, а при создании моделей целесообразно опираться, насколько это возможно, на основные аспекты имитационного моделирования, так как в рамках данного вида моделирования наиболее полно воспроизводится алгоритм функционирования сложных объектов во времени, поведения объекта, имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания, при этом построенная модель должна максимально отражать реальные процессы экономической системы. Использование предложенного выше сочетания видов моделирования позволит, с точки зрения автора, повысить практическую ценность моделирования экономических систем и эффективность управления экономическими системами при помощи поиска и принятия оптимальных решений в экономической системе на основе оценки эффективности ее функционирования.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для выбора допустимых и оптимальных решений наиболее целесообразно использовать методы математического программирования, так как данные методы позволяют на основе перспективного анализа осуществлять прогнозирование состояния и параметров системы в будущем вследствие принимаемых управленческих решений с учетом рассматриваемых компромиссных решений и многовариантности развития системы, что подтверждается применением данных методов практически во всех сферах и направлениях деятельности. Рассмотрение и управление экономической системой, не доводя противоречия между элементами до противостояния, позволяет достигать с помощью математического инструментария их согласованность (включая компромиссные решения) с целью сокращения затрат ресурсов различного характера, что повышает качество принимаемых управленческих решений. При этом возникает синергетический эффект за счет высокой взаимосогласованности и организованности действий отдельных элементов и реа-

лизации управленческих решений, основанных на поиске компромиссов, который приводит к высвобождению потенциала. Потенциал, освобождаемый в результате разрешения противоречий в экономической системе, оказывается возможным использовать для решения стратегических и тактических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клейнер Г.Б. Системная парадигма и теория предприятия / Г.Б. Клейнер // Вопросы экономики. 2002. № 10. С. 42-47.
2. Клейнер Г.Б. Системная парадигма и экономическая политика / Г.Б. Клейнер // Общественные науки и современность. 2007. № 2, 3. С. 68-72.
3. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. М.: Наука, 1982. 255 с.
4. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Р. Штойер. М.: Наука, 1982. 272 с.

Беляева Ольга Анатольевна – ассистент кафедры «Предпринимательство и проектный менеджмент» Института бизнеса и делового администрирования Саратовского государственного технического университета

Belyayeva Olga Anatolyevna – Assistant of the Department of «Enterprise and Project Management» of the Institute of Business and Business Administration of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 04.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 336.74; 336.748.12

Г.А. Бородянский, С.С. Игнатьева

МЕТОДИКА УЧЕТА ИНФЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНОВОЙ И ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКЕ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

Рассматриваются сущность инфляции, необходимость ее учета для предприятий и влияние инфляции на бухгалтерскую отчетность и основные финансовые показатели. Исследуется методика прогнозирования показателя инфляции. Исследована внутригодовая структура индексов цен. Обоснованы способы применения прогнозов инфляции для предприятий АПК.

Инфляция, индекс потребительских цен, инвестиции, молочно-продуктовый подкомплекс АПК, инфляция в бухгалтерском учете.

G.A. Borodyansky, S.S. Ignatyeva

ACCOUNT TECHNIQUE OF INFLATIONARY PROCESSES IN THE PRICE AND INVESTMENT POLICY OF THE ENTERPRISES OF AGRARIAN AND INDUSTRIAL COMPLEX

The essence of inflation, necessity of its account for the enterprises, and influence of inflation on the accounting reporting and the basic financial indicators is

considered. The technique of forecasting of an indicator of inflation is researched. The interlayer structure of price indexes is studied. Ways of application of forecasts of inflation for the agrarian and industrial complex enterprises are proved.

Inflation, consumer price index, investments, dairy an agrarian and industrial complex sub complex, inflation in book keeping.

Современная экономическая ситуация такова, что первой и наиболее злободневной проблемой является инфляция.

В 2007-2008 годах после относительной стабилизации динамики инфляции произошел резкий подъем цен на многие товары массового спроса, вызвавший повсеместное недовольство широких слоев населения. Антиинфляционная политика государства, в том числе ее наиболее агрессивные меры по замораживанию цен, имела два весьма серьезных социально-экономические последствия. Первое состоит в снижении уверенности широких масс населения в перспективах стабильности своего материального благосостояния, а также доверия руководству. Второе – обнаружилась явная несостоятельность многих теоретических концепций рыночного регулирования, значимость рынка как всеобщего регулятора экономических отношений, соответственно обозначилась необходимость рационального государственного экономического и административного регулирования.

Таким образом, повседневная реальность и особая значимость финансово-экономической жизнедеятельности настоятельно требуют от экономистов регулярного исследования инфляции и финансов организаций. Крайняя необходимость детального изучения инфляционного процесса в России обуславливается: во-первых, бурным ростом инфляции в 2007-2008 гг.; во-вторых, резким усилением внимания руководства страны к малому и среднему бизнесу; в-третьих, повышением социальной напряженности в стране; в-четвертых, особой актуальностью вопросов инфляции в повседневной жизни, научной среде и деятельности органов государственной власти [10]. В этой связи мы будем последовательно рассматривать сущность инфляционных процессов и методику их учета для современных российских предприятий.

Для начала следует определить природу инфляции, способы ее измерения и направления использования показателя инфляции.

Инфляция является характерной чертой развития любой экономической системы. Кейнсианская трактовка понятия инфляции определяет ее как рост цен, монетаристская уточняет, что инфляция – это рост цен при избыточной денежной массе. Согласно же более общей марксистской трактовке инфляция является отражением структурных диспропорций между производством и потреблением товаров и услуг. Прирост цен является не сутью самой инфляции, а основным показателем, характеризующим ее величину и направление. Одним из важнейших показателей, характеризующих инфляционные процессы в нашей стране, является *индекс потребительских цен* (ИПЦ). Этот статистический показатель в той или иной модификации принят как в Российской Федерации Госкомстатом, так и Статистическим бюро Европейских сообществ, ООН, МВФ, Всемирным банком и другими мировыми финансовыми институтами.

Важно понять, что индекс потребительских цен, или любой другой индекс, измеряющий инфляцию, является не только обзорной или сравнительной величиной, основной способ его использования – это *индексация*. Индексацией называется процедура, посредством которой денежная стоимость определенных платежей или запасов увеличивается или уменьшается пропорционально изменению величины некоторого индекса цен. Индексация чаще всего применяется в отношении денежных потоков, таких как заработная плата, арендные платежи, процентные выплаты или налоги, однако она может применяться и в отношении капитальной стоимости определенных денежных активов и обязательств. В условиях

высокой инфляции индексация становится широко распространенным явлением во всех сферах экономики.

Понятие индексации преследует различные цели для производителя товаров и услуг и конечного потребителя. Индексация денежных доходов применяется в целях поддержания покупательной способности этих доходов по отношению к определенным видам товаров и услуг или сохранения жизненного уровня и благосостояния получателей доходов. Для предприятий целью индексации денежных активов или обязательств может быть сохранение реальной стоимости актива или обязательства по отношению к другим активам или к стоимости определенных потоков товаров и услуг. Эти две задачи не вполне совпадают, особенно в контексте более длительного периода.

Несмотря на некоторые недостатки ИПЦ в качестве показателя общей инфляции, он широко используется органами государственного управления и центральными банками для определения целевых показателей инфляции. Точно так же он воспринимается прессой и общественностью как важнейший показатель инфляции. Очевидно, что органы государственного управления и центральные банки вполне осознают тот факт, что ИПЦ не является показателем общей инфляции, тем не менее, существует ряд факторов, которые позволяют объяснить популярность этого индекса. Вместе с тем следует отметить, что даже если ИПЦ и не измеряет общую инфляцию, можно ожидать, что динамика этого индекса будет тесно коррелировать с изменениями более общего показателя, хотя бы потому, что потребительские расходы составляют значительную долю совокупных конечных расходов. В частности, ИПЦ должен быть надежным индикатором ускорения или замедления темпов инфляции, а также любых поворотных точек в динамике инфляции. Такие сведения представляют большую ценность, несмотря на то, что ИПЦ может систематически занижать или завышать общий уровень инфляции.

В условиях инфляции, как в счета коммерческого бухгалтерского учета, так и в национальные счета приходится вносить поправки, необходимость в которых при стабильном уровне цен отсутствует [7]. И в бухгалтерском учете, и для целей налогообложения на текущий момент могут быть использованы следующие способы оценки материальных активов:

- по себестоимости каждой единицы;
- по средней себестоимости;
- по себестоимости первых по времени приобретения материально-производственных запасов (метод ФИФО);
- по себестоимости последних по времени приобретения материально-производственных запасов (метод ЛИФО).

С 2008 г. в бухгалтерском учете запасы нельзя оценивать способом ЛИФО. Соответствующие изменения внесены в ПБУ 5/01 и Методические указания по учету МПЗ Приказом Минфина России от 26.03.2007 № 26н.

Наиболее часто используемые два метода ведения учета: по средней себестоимости и по себестоимости первых по времени приобретения материально-производственных запасов (метод ФИФО) – не учитывают по сути изменения доходности предприятия в условиях инфляции. Это приводит к следующим последствиям с точки зрения бухгалтерской отчетности [6]:

- вуализируется нехватка оборотного капитала;
- амортизационные отчисления не позволяют в будущем возобновление основных средств;
- происходит инфляционное завышение прибыли, сопровождающееся нехваткой собственных источников финансирования;
- неадекватно распределяется прибыль;
- деформируется структура капитала;
- ставятся под сомнение реалистичность показателей платежеспособности, рентабельности и других финансовых показателей предприятия;

– снижается объем инвестиционной деятельности предприятий, или реальная доходность инвестиционных проектов.

Несоответствие объема амортизационных отчислений и стоимости реновации основных фондов предприятия чувствуется даже в условиях ползучей инфляции. В то же время налоговое законодательство, позволяя производить переоценку фондов, не позволяет принимать в расходы по налогу на прибыль амортизационные отчисления, возникшие от дооценки [1]. Метод двойной записи также не позволяет получить выгоды от переоценки товаров, в силу одновременного отображения стоимости переоценки как в оборотных активах, так и в капиталах и резервах баланса. В наиболее общем виде неучет инфляции ведет для прибыльного производства к завышению налогооблагаемой базы, а для убыточного, или низкорентабельного, – к постепенной потере денежных активов и невозможности воспроизводственного процесса.

Для корректировки счетов на основе текущей покупательной способности необходим некоторый индекс, который будет увеличивать денежную стоимость пропорционально росту какого-либо общего индекса инфляции за текущий период по сравнению с более ранним периодом. Используемый индекс должен представлять собой общий индекс цен, охватывающий не только потребительские расходы домашних хозяйств, но и другие потоки, однако на практике в отсутствие подходящего общего индекса по умолчанию часто используется ИПЦ. В принципе, в качестве индексов цен, используемых для корректировки первоначальных цен, уплаченных за активы, должны применяться специальные индексы цен, связанные с конкретным типом активов, и в некоторых странах такие индексы действительно рассчитываются и применяются указанным образом. Однако при отсутствии специальных индексов остается возможность по умолчанию использовать для этой цели ИПЦ (или один из подиндексов ИПЦ), что имеет место на практике.

Таким образом, мы определились, что для финансово-хозяйственного анализа предприятия в условиях инфляции будем использовать ИПЦ. Далее будем рассматривать методику и направления использования данного индекса. Для начала рассмотрим динамику показателя инфляции в нашей стране за последние два десятилетия (рис. 1). Сравнительный анализ федерального показателя индекса потребительских цен и его составляющей, индекса потребительских цен на продовольственные товары, позволяет выявить следующее [8]. Наиболее близко рост цен на продовольственные товары приближается к общему темпу инфляции в период стабилизации 1999-2007 гг., когда разница показателей составляет менее 5%. В период высокой инфляции в 1998 г. цены на продовольствие поднялись на 11,6% больше, чем в целом по индексу потребительских цен. Можно сделать предположение, что в критические моменты высокой инфляции, а также на промежутках возрастания, цены на продовольственные товары растут быстрее, чем цены на остальные составляющие индекса инфляции.

Следует обратить внимание, что на рисунке показаны годовые показатели индекса инфляции, которые имеют тенденцию к стабилизации и снижению. Для наших исследований интерес представляет рассмотрение данного показателя внутри года помесечно.

Очевидно, что рост цен, или рост инфляции, в разные периоды внутри года имеет разную скорость. Чтобы иметь подтверждение данного предположения, мы провели автокорреляционный анализ помесечных темпов ИПЦ и обнаружили следующие зависимости. Как и сам вид автокорреллограммы, так и проверка по критерию Дарбина-Уотсона, показали годичный цикл сезонных колебаний показателя инфляции. Это связано как с входящими в расчет ИПЦ сезонными товарами и услугами, так и с особым социально-психологическим фактором инфляции – инфляционными ожиданиями и политикой государства.

Статистика временных рядов, которую мы используем для нашего исследования, хорошо описывает сущность инфляционных процессов [9]. В расчетах мы учитывали трендовую составляющую динамики показателя инфляции, его сезонную компоненту и случайные возмущения по типу белого шума.

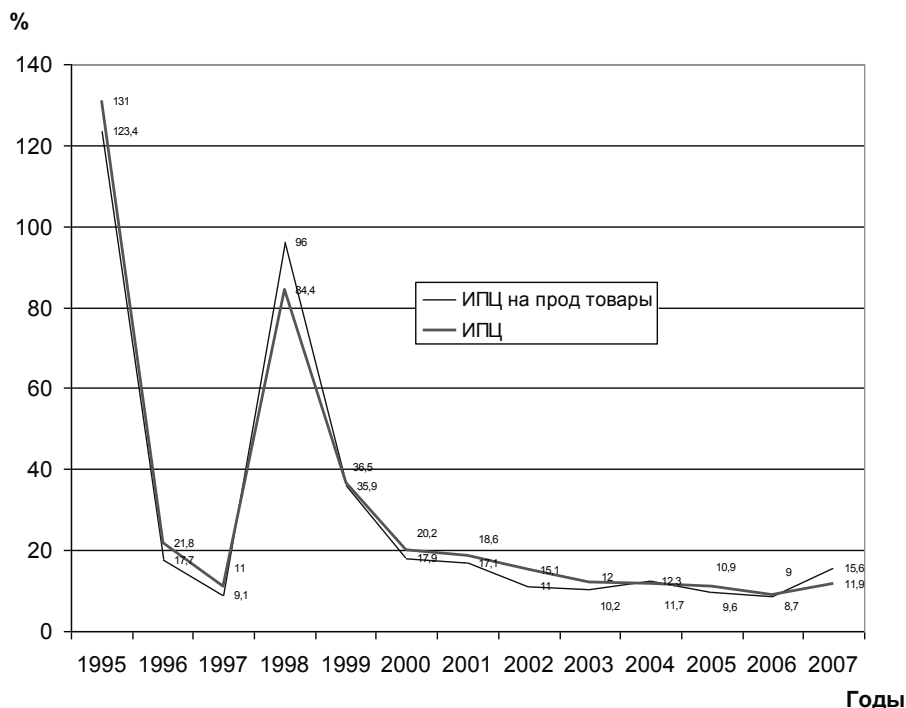


Рис. 1. Динамика прироста индекса потребительских цен и индекса потребительских цен на продовольственные товары за период 1995-2007 гг.

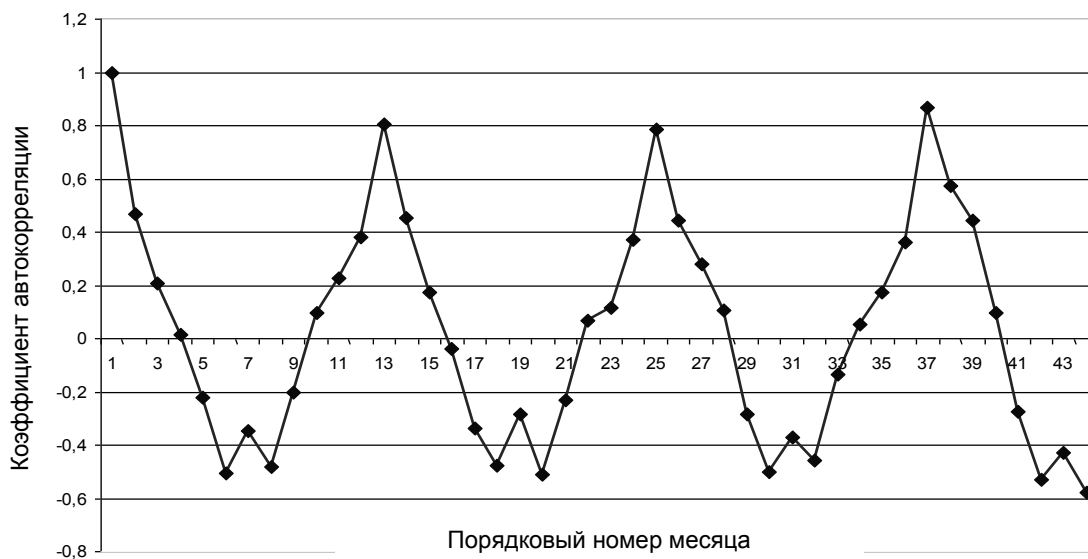


Рис. 2. Автокорреллограмма помесячных индексов потребительских цен за период с 2002-2007 гг.

Если данный процесс очистить от случайных компонент и провести аналитическое выравнивание ряда с помощью МНК, то можно в некоторой степени заниматься прогнозированием величины индекса инфляции. Для наибольшей достоверности прогнозирование осуществлялось с помощью последовательного перебора четырех соседних лет помесячных индексов инфляции.

На этом этапе исследования мы получили результаты, которые можно сопоставить с прогнозными величинами Министерства экономического развития и торговли. Следует отметить, что данные нашего исследования, как максимальные, так и минимальные, представляют собой только сумму трендовой и сезонной компонент, и не учитывают возможных колебаний

инфляционных ожиданий. В то же время, как мы полагаем из методики расчета МЭРТ, официальный показатель прогноза – это уже итоговый ожидаемый уровень инфляции. Как показал опыт последних лет, прогнозы официальных статистических и экономических институтов власти, как правило, занижены. Многие экономисты отмечают превышение реального показателя инфляции за год по сравнению с данными Госкомстата и МЭРТ на 4-5%.

**Сравнительный анализ прогноза показателя инфляции по методике МЭРТ
и при исследовании структуры временного ряда**

Показатель	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Прогноз МЭРТ	9,7	8,2	7,9	6,7	6,3
В стабильной экономике					
минимум	8,9	7,5	6,2	4,8	3,5
максимум	9,7	8,6	7,7	6,8	5,9
В экономике с высокой инфляцией (до 20% в год)	18	17,7	17,5	17,2	17

Следует отметить, что сам процесс прогнозирования инфляции довольно противоречив в силу наличия случайной компоненты, величину которой предсказать практически невозможно. Исследования же влияния инфляции на ценовую неопределенность в будущем показали следующее [11]. Если мы говорим о долгосрочном периоде, то, как показывает модель ошибки прогноза цен, чем выше показатель инфляции, тем выше будущая ценовая неопределенность. Эту закономерность необходимо учитывать при проведении долгосрочных программ целевого финансирования развития предприятий. В то же время можно отрицать наличие связи между ценовой неопределенностью и инфляцией в краткосрочном периоде. Иными словами, стабилизированный уровень инфляции за период с 2000 по 2008 гг. не говорит об отсутствии резких ценовых колебаний в ближайшее время, здесь имеются в виду колебания, не связанные напрямую с инфляционной нестабильностью.

В данном случае было бы оправданным дать возможность предприятиям самим выбирать, каким прогнозом инфляции пользоваться – официальным или собственным – и какую степень риска учитывать в своих планах развития. Неопределенность – это неустранимое качество рыночной среды, связанное с тем, что на рыночные условия, и, соответственно, на условия хозяйствования субъектов, оказывает влияние огромное количество факторов разной природы и направленности, не подлежащих совокупной оценке. Даже если бы все факторы были учтены, сохранилась бы неустранимая неопределенность относительно характера реакции рынка на те или иные воздействия. Если предприятие нацелено на получение гарантированного результата, то оценить инфляционную случайную компоненту оно может, используя минимаксный подход, т.е. оценке подлежат как самый пессимистичный, так и самый реалистичный варианты развития конъюнктуры. Если на предприятии возможен вариант использования экспертных оценок с применением при их интерпретации теории нечетких множеств, то описание будущей случайной компоненты инфляции возможно в интервальных методах оценки риска неопределенности [5].

Возвращаясь к методике исследования инфляционных процессов с помощью статистики временных рядов, мы рассмотрим вариант использования показателя инфляции для отраслей народного хозяйства, имеющих колебания компонент, сходных с инфляционными. Для изучения закономерностей были взяты молочно-продуктовый комплекс АПК и категория «молоко и молочная продукция» согласно утвержденному в 2006 г. «Набору потребительских товаров и услуг для наблюдения за ценами и тарифами». В структуре минимально необходимого набора продуктов питания для человека молоко и молочная продукция составляет 14-16% или 230-240 кг в год на душу населения. Молочная продукция является продуктом первого потребления, имеет огромную социальную значимость и представляет

стратегическую отрасль экономики сельского хозяйства. Несмотря на это производство молока является в нашей стране убыточным или низкорентабельным по подавляющей части производителей. Так, в Саратовской области в 2002 г. 50% товаропроизводителей молока были убыточными, а уровень рентабельности по безубыточному производству был почти нулевым. За период стабилизации инфляционных процессов в Саратовской области уровень рентабельности производителей молока вырос и составил в 2007 г. 20%, а доля убыточных хозяйств сократилась до 10%.

Производство цельного молока имеет ряд сезонных закономерностей, связанных с изменяющейся в течение года продуктивностью животных, себестоимостью и структурой кормов, особенностями спроса на молочную продукцию. Для исследования был взят период стабилизации инфляционных процессов 2002-2007 гг. В предмодельном анализе была выдвинута гипотеза и сформулированы основные допущения. В теоретическом плане при росте цен на заготавливаемое молоко цена на готовую продукцию переработки (молоко пакетное 2,5 и 3,2% жирности) увеличивается. Однако нет жесткой функциональной зависимости между ценами на издержки производства (в данном случае закупочной цены молока цельного) и ценой готовой продукции, так как производитель имеет возможность регулировать прибыль, заложенную в составе цены. Поэтому зависимость результативного признака от факторного является стохастической. Предполагаем, что данная связь является линейной. В качестве допущений было положено, что основное влияние на решение переработчика поднять цену на готовую продукцию оказал рост цен на сырье, что подтверждается типовой структурой себестоимости молока для перерабатывающих отраслей промышленности.

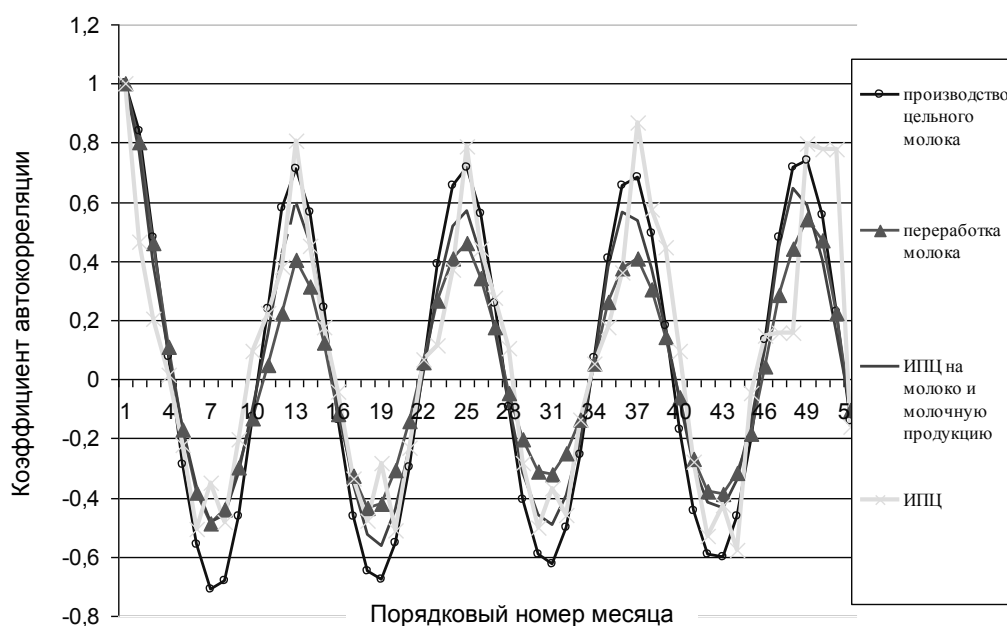


Рис. 3. Автокоррелограмма индексов цен сельскохозяйственного производства цельного молока, его промышленной переработки, индекса потребительских цен на молочную продукцию и индекса инфляции в целом по РФ

При помощи построения автокоррелограммы исследуемых показателей, мы выявили наличие годичных циклических колебаний, по характеру сходных с колебаниями индекса инфляции (рис. 3). В качестве инструмента исследования была предложена авторегрессионная модель с распределительным лагом:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p a_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^q b_i X_{t-i} + e_t,$$

где Y_t – временная последовательность индексов цен промышленной переработки молока; Y_{t-1} – временная последовательность индексов цен промышленной переработки молока, смещенная на 1 лаг назад; X_{t-1} – временная последовательность индексов цен сельскохозяйственного производства молока, смещенная на 1 лаг назад; a_i и b_i – коэффициенты авторегрессии; e_t – случайное возмущение в остатках модели.

Проведенный анализ показал, что на удорожание сырья переработчики реагируют одновременно. В свою очередь, на удорожание готовой продукции молкомбинатов торговая инфраструктура в целом реагирует также одновременно. Для определения влияния ценовой политики предприятий АПК на общий индекс инфляции в качестве факторного признака был взят временной ряд индексов цен на молоко цельное, а в качестве результативного – индекс потребительских цен.

Корреляционно-регрессионный анализ временных рядов интерпретировать довольно сложно. Сам знак коэффициентов не говорит о направлении связи между факторным и результативным признаками. Для оценки полученных результатов и правильной формулировки выводов необходимо исследование самой структуры каждого ряда, которое мы провели в самом начале моделирования.

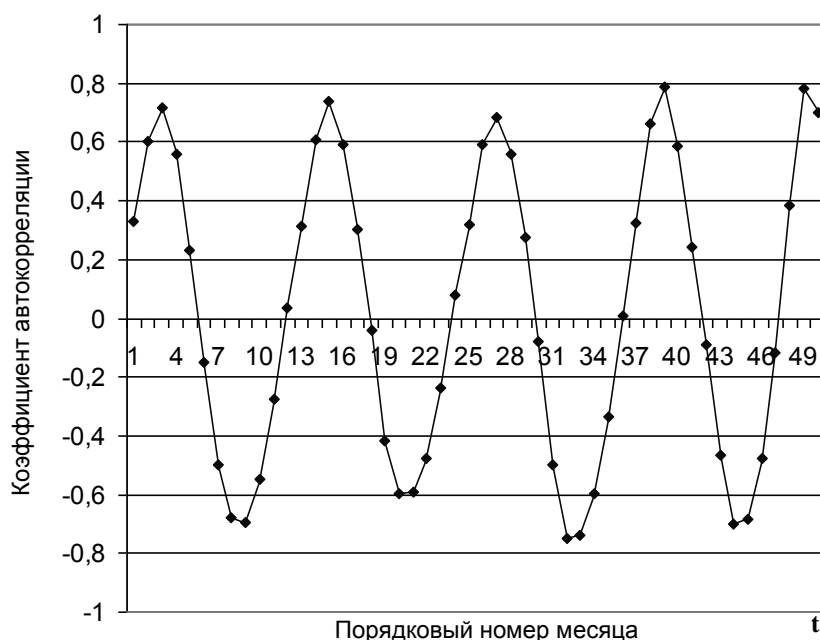


Рис. 4. Динамика показателей авторегрессии для зависимости индекса инфляции от стоимости молочного сырья

Реакция торговой инфраструктуры складывается из многих факторов, как ценовых, так и неценовых. К последним мы относим инфляционные ожидания, экономическую конъюнктуру рынка, политику государства. Следует также напомнить, что в состав индекса инфляции входят ценовые изменения непродовольственной сферы и косвенно, через платные услуги населения, ценовые колебания естественных монополий. Коэффициент авторегрессии между ценами сельхозтоваропроизводителей и индексом инфляции находится в пределах 0,7-0,8, что говорит о сильной линейной зависимости между признаками. Относительно выявленного временного лага можно сказать, что реакция потребительских цен на изменение цен предприятий АПК до апреля месяца по характеру совпадает, а начиная с апреля и до сентября, идет в разных направлениях. С начала года до середины стоимость молока цельного и молочной продукции переработки либо снижается, либо растет низкими тем-

пами, в то время как за этот же период производство непродовольственных товаров и торговля толкают инфляцию вверх более высокими темпами. Это дает возможность определить периоды, когда производственная сфера АПК фактически кредитует торговую инфраструктуру и непищевую промышленность. В такие периоды для отечественного сельхозтоваро-производителя особенно важна поддержка государства, которое с помощью рыночных и административных механизмов поможет распределить ценовой паритет на продукцию АПК равномерно в течение всего года.

Какие же практические результаты дало проведенное нами исследование?

1. В теоретическом плане изучен процесс инфляции и обоснована необходимость ее учета для конечного потребителя и товаропроизводителя, выявлены основные недостатки существующей системы прогнозирования инфляции и индексации. Если в настоящее время подавляющая часть предприятий не занимается индексацией своих денежных потоков и баланса, то в перспективе переход на отчетность МСФО потребует приведения бухгалтерской отчетности в сопоставимый с инфляционными процессами вид. Использование определенных статистических методов позволило расширить прогноз инфляционных процессов в экономике. Прогнозная оценка общего индекса инфляции, изменения цен на отдельные продукты и ресурсы на определенный период необходима, в частности, для анализа реализации инвестиционных проектов [2, 3].

Как известно, основным критерием любого плана развития предприятия является чистый дисконтированный доход, который получается путем индексации денежных потоков предприятия на прогнозный коэффициент инфляции. Показатель инфляции в пределах от 5 до 15% в течение 5 лет дает отрицательный ЧДД для инвестиционных проектов, поэтому рекомендуем для анализа хозяйственной деятельности и бизнес-планирования на предприятиях индексировать соответствующие статьи баланса на прогнозные показатели инфляции.

2. Определена функциональная форма модели, наиболее четко описывающая динамику рассматриваемых рядов. Предприятие молочно-продуктового подкомплекса, особенно его производящей сферы, вышедшее на определенный уровень безубыточности, может координировать свою ценовую и маркетинговую политику в соответствии с инфляционными процессами, поддерживая тем самым свой достигнутый реальный уровень рентабельности.

3. Рассчитан временной лаг реакции инфляции на рост цен в молочно-продуктовом подкомплексе АПК.

4. В рамках законодательной и методической базы использование выявленного ценового лага между ростом инфляции и ростом цен в сфере молочно-продуктового комплекса АПК внутри календарного года позволяет расширить и уточнить методические рекомендации по определению паритета и индексации цен и дотаций в сельском хозяйстве, а также дополнить методику расчета компенсации потерь сельскохозяйственными товаропроизводителями в связи с нарушением сложившегося паритета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Налоговый кодекс. Ч. 2. Ст. 251 п.1.
2. Приказ Минэкономразвития РФ и Минфина РФ от 23 мая 2006 г. № 139/82н «Об утверждении Методики расчета показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов, претендующих на получение государственной поддержки за счет средств Инвестиционного фонда Российской Федерации»
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция, исправленная и дополненная). Утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477.
4. Бузулукская В.А. Оптимизация инвестиционной деятельности сельскохозяйственных предприятий на региональном уровне / В.А. Бузулукская. Майкоп, 2001. 45 с.

5. Гареев Т.Ф. Применение теории нечетких множеств при анализе инвестиционных проектов / Т.Ф. Гареев // Общество, государство, личность: проблемы взаимодействия в условиях рыночной экономики: материалы VI межвуз. науч.-практ. конф. Казань: Академия управления «ТИСБИ», 2006. С. 203-206.
6. Пучкова С.И. Инфляция и отчетность / С.И. Пучкова // Бухгалтерский учет. 2003. № 8. С. 32-34.
7. Пятов М.Л. Границы возможности двойной записи / М.Л. Пятов // БУХ. 1С. 2006. № 2. С. 5-8.
8. Российский статистический ежегодник. 2007: стат. сб. М.: Росстат, 2007. 825 с.
9. Тихомиров Н.П. Эконометрика / Н.П. Тихомиров, Е.Ю. Дорохина. М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2002. 640 с.
10. Фетисова Т.В. Особенности инфляции в России и прогноз ее последствий в 2008-2010 годах / Т.В. Фетисова, Н.И. Яшина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. № 5. С. 177-185.
11. Цыплаков А.А. Означает ли более низкая инфляция меньшую неопределенность / А.А. Цыплаков. М.: РПЭИ, 2000. 35 с.

Бородянский Геннадий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информатика» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

Borodyansky Gennady Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Applied Mathematics and Informatics» of Saratov State Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

Игнатьева Светлана Сергеевна – аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

Ignatyeva Svetlana Sergeevna – Post-graduate student of the Department of «Applied Mathematics and Informatics» of Saratov State Agrarian University in the name of N.I. Vavilov

Статья поступила в редакцию 04.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 630.68

В.М. Бугаков

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СУММ КРАТКОСРОЧНЫХ КРЕДИТОВ МАЛЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены механизмы формирования сумм краткосрочных кредитов для малых производственных предприятий в двух вариантах: предприятия на начало календарного периода не имеет свободных финансовых средств, сумм дебиторской и кредиторской задолженностей и второй вариант, когда предприятие на начало периода имеет свободные финансовые средства, суммы дебиторской и кредиторской задолженностей.

Малые предприятия, краткосрочные кредиты.

V.M. Bugakov

MECHANISMS OF GENERATION OF SHORT-TERM CREDITS OF SMALL ENTERPRISES

The article gives mechanisms of generation of short-term credits for small enterprises in two variants: an enterprise at the beginning of a calendar period doesn't have free financial resources, accounts receivable and bills payable; and the second variant is when the enterprise at the beginning of a year has free financial resources, accounts receivable and bills payable.

Small enterprises, short-term credits.

Для многих малых предприятий производственного бизнеса эффективное развитие экономики невозможно без использования заемных средств, в виде краткосрочных кредитов с приемлемыми процентами. Потребности в заемных средствах возникают при увеличении спроса на выпускаемые изделия, при повышении тарифов на энергоносители и цен на сырье, материалы, комплектующие и при других ситуациях внешней и внутренней производственно-экономической среды малого промышленного бизнеса.

Интенсивно развивающееся малое производственное предприятие обычно заинтересовано в использовании краткосрочных обязательств, краткосрочных кредитов, так как проценты по обслуживанию заемного капитала рассматриваются как расходы и не включаются в налогооблагаемую прибыль, а расходы на выплату процентов обычно значительно ниже прибыли, полученной от заемных средств предприятия, в результате чего повышается рентабельность собственного капитала [1].

В рыночной экономике большая и все увеличивающаяся доля собственного капитала еще не означает улучшения положения малого предприятия и возможности быстрого реагирования на изменение делового климата. Наоборот, использование заемных средств свидетельствует о гибкости экономики предприятия малого бизнеса, его способности находить заемные средства и своевременно возвращать их, т.е. о доверии к нему в деловом мире.

В этих условиях необходимо использовать механизмы оперативных расчетов обоснования, формирования необходимых сумм заемных средств на тот или иной период года (месяц, квартал).

На малых предприятиях многономенклатурного промышленного производства капитал оборачивается сравнительно быстро, поэтому доля основного капитала не очень велика, следовательно, использование краткосрочных кредитов при росте заказов на изготавливаемую продукцию и в других ситуациях вполне обоснованно повышает уровень финансового рычага [2].

Однако излишние суммы краткосрочных кредитов негативно влияют на экономику предприятия и в конечном счете снижают объем прибыли. Поэтому в управлении экономической системой малого предприятия необходимо использовать адекватные ситуации недостатка средств управление по формированию действительно необходимой суммы краткосрочных обязательств.

На продукцию производственных предприятий, в частности предприятий малого бизнеса, возникают например, сезонные скачки увеличения спроса на период (n) . $x(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n)$ – общее возросшее количество спроса i -х единиц j -х видов промышленных изделий на период (n) . За этот период суммарные переменные затраты $U(n)$ составят сумму

$$U(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n) U_j(n), \quad (1)$$

где $U_j(n)$ – переменные затраты на производство и реализацию i -й единицы j -го вида изделий на период (n) .

Кроме того, на период (n) будут постоянные затраты $Z(n)$, не связанные с объемом производства промышленной продукции. Валовые затраты на этот период $B_3(n)$ составят

$$B_3(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n)U_j(n) + Z(n). \quad (2)$$

За рассматриваемый период поступит выручка от реализации выпущенной в этот период продукции в сумме $\sum_{ij} x_{ij}(n)a_0 \Pi_j$ и выручка от реализации продукции, выпущенной в предыдущие периоды $(n-r)$, т.е.

$$\sum_{ijr} \sum_{r=1}^m x_{ij}(n-r)a_r \Pi_j.$$

Суммарная выручка $B_B(n)$ за период (n) составит

$$B_B(n) = \sum_{ij} x_{ij}(n)a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ij}(n-r)a_r \Pi_j, \quad (3)$$

где a_0 – доля реализации выпущенной продукции в период (n) (меньше единицы); a_r – доля реализации промышленной продукции в период (n) , выпущенной в предыдущие периоды $(n-r)$; Π_j – цена единицы изделий j -го вида; m – время производства и реализации продукции.

Так как спрос на продукцию в период (n) значительно возрос, то за этот период валовые затраты $B_3(n)$ могут быть больше суммы валовой выручки $B_B(n)$, поступившей в этот период, $B_3(n) > B_B(n)$, так как основная выручка поступит в следующие периоды $n + 1, n + 2, \dots$

Малому производственному предприятию нужно своевременно получить обоснованную сумму краткосрочных заемных средств для пополнения оборотных средств и для выполнения обязательных платежей на этот период.

Рассмотрим ограничения:

$\Pi_{j\min} \leq \Pi_j \leq \Pi_{j\max}$, $\Pi_{j\min}, \Pi_{j\max}$ – минимальная, максимальная цена единицы j -го вида

изделий на период n , которая определяется договорами на поставку.

Величины $\sum x_{ij}$, a_0 , $\sum x_{ij}(n-r)$, a_r , $U_j(n)$, m , $Z(n)$ на период n известны;

$U_j(n) \geq U_{j\min}(n)$, здесь $U_{j\min}(n)$ – предельно допустимые минимальные переменные затраты на выпуск единицы j -го вида изделий на период n . Определим сумму краткосрочных кредитов на период n при отсутствии свободных финансовых средств предприятия и сумм дебиторской и кредиторской задолженностей.

$$C_{кр}(n) = B_3(n) - B_B(n)$$

или

$$C_{кр}(n) = \left[\sum_{ij} x_{ij}(n)U_j(n) + Z(n) \right] - \left[\sum_{ij} x_{ij}(n)a_0 \Pi_j + \sum_{ij} \sum_{r=1}^m x_{ij}(n-r)a_r \Pi_j \right]. \quad (4)$$

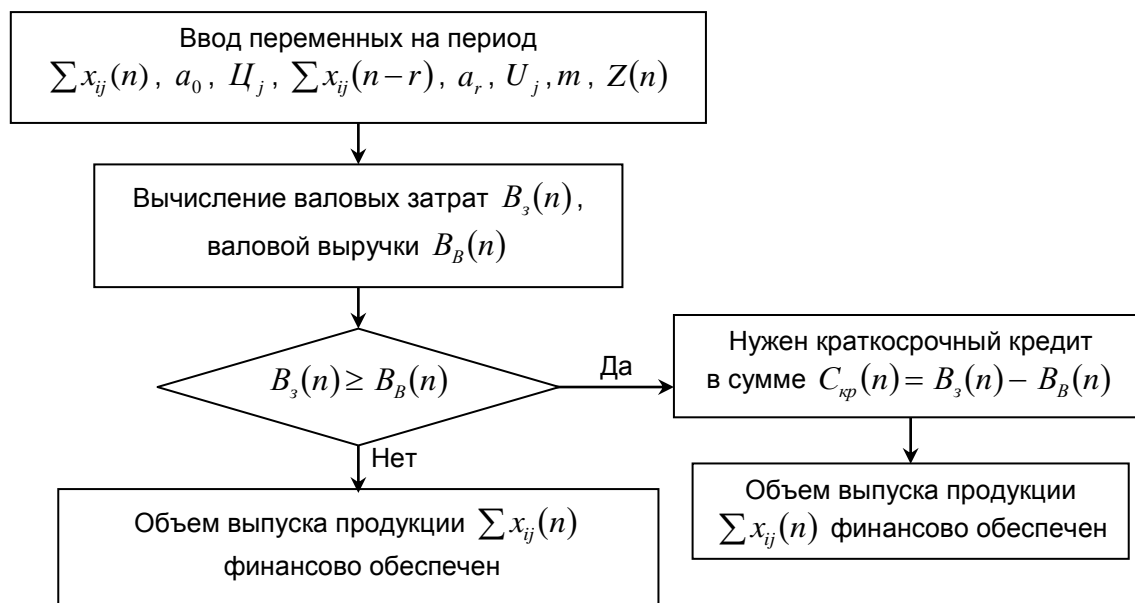
Если $B_B(n) > B_3(n)$, то краткосрочные обязательства не нужны.

Такие расчеты, очевидно, следует проводить перед каждым очередным периодом времени, когда спрос на продукцию известен.

Структура механизма обоснованного формирования объема краткосрочных обязательств предприятия на очередной период года для рассмотренных условий представлена на рисунке.

Этот механизм численной оценки финансового состояния предприятия и выработки управленческих решений перед наступлением очередного периода (n) обеспечит нормальную работу предприятия с получением обоснованных заемных средств или предприятию они будут совершенно не нужны.

Финансовые потоки малых производственных предприятий состоят из двух комплексных, противоположно направленных частей притока и оттока денежных средств.



Структура механизма формирования сумм краткосрочных обязательств предприятия на очередной период года

Приток финансовых средств на начало периода может состоять из сумм свободных финансовых средств $C_B(n)$, сумм дебиторской задолженности $D(n)$ на начало периода, а также валовой выручки $B_B(n)$ на весь рассматриваемый период.

Отток финансовых средств состоит из валовых затрат $B_B(n)$ за период (n) , возможной кредиторской задолженности $3C_{кр}(n)$, которую нужно погасить в период (n) .

Тогда сумма краткосрочного кредита формируется решением уравнения (5)

$$C_{кр}(n) = [C_B(n) + D(n) + B_B(n)] - [B_з(n) + 3C_{кр}(n)]. \quad (5)$$

Если получается $C_{кр}(n) < 0$, то краткосрочный кредит на период (n) малому производственному предприятию не нужен. В уравнении (5) механизм вычисления валовой выручки $B_B(n)$, валовых затрат $B_з(n)$ рассмотрен выше.

Таким образом, использование рассмотренных механизмов расчета показателей финансового состояния малых производственных предприятий на очередной календарный период года (месяц, квартал) дает возможность малому промышленному бизнесу обоснованно формировать суммы краткосрочных кредитов, обеспечивая эффективное функционирование экономики предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савицкая Г.В. Экономический анализ / Г.В. Савицкая. М.: Новое знание, 2004. 640 с.

2. Бугаков В.М. Менеджмент на предприятиях лесного комплекса / В.М. Бугаков. Воронеж: ВГЛТА, 2008. 267 с.

Бугаков Владимир Михайлович – кандидат технических наук, доцент, ректор Воронежской государственной лесотехнической академии

Bugakov Vladimir Mikhaylovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Rector of Voronezh State Technical Academy of Forestry

Статья поступила в редакцию 16.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

И.В. Волков

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Рассматриваются тенденции изменения показателя стоимости предприятия в процессе осуществления структурных преобразований. Особое внимание уделено проблемам чувствительности стоимости предприятия к формирующим ее факторам. Обращается внимание на выбор критериев, в соответствии с которыми определяется величина стоимости предприятия в процессе достижения целей реорганизации.

Стоимость, оценка стоимости, доходный подход, рыночный подход, затратный подход, структурные преобразования.

I.V. Volkov

ENTERPRISE COST ESTIMATION IN THE PROCESS OF STRUCTURAL CONVERSIONS

The tendencies of a change of the index of the cost of enterprises in the process of the realization of structural conversions are examined. Special attention is given to the problems of the sensitivity of the cost of enterprises to its forming factors. Certain attention is paid to the selection of the criteria, in accordance with which is determined the measure of the cost of enterprises in the process of the achievement of the objective of reorganization.

Cost, cost estimation, profitable approach, market approach, expensive approach, structural conversions.

В настоящее время весьма актуальным в научном плане является направление, в соответствии с которым осуществляется поиск показателей и критериев эффективности функционирования предприятия. Проблема заключается в том, что значительное количество предприятий осуществляют организационно-правовые преобразования и поэтому эффективность их функционирования во многом затушевывается многообразием сопутствующих реорганизации процессам, как негативного, так и позитивного плана. Поэтому исследователи данного направления в качестве объекта изучения называют показатель стоимости предприятия, находящегося в процессе реорганизации. В практическом смысле не имеет значения, в каком экономическом состоянии находится в данный момент предприятие, так как собственника интересует рост его стоимости, как условие его личного благосостояния. Между тем для научных исследований важно, при каких обстоятельствах происходит рост стоимости активов предприятия и какие действия предпринимает высший менеджмент для реализации данной цели.

В целях модернизации деятельности предприятий достаточно часто используется такой метод, как реструктуризация. Осуществление эффективной реструктуризации предполагает проведение оценки стоимости бизнеса одним из трех известных подходов. При этом для нормально функционирующего предприятия использование доходного подхода является предпочтительным, так как использование дисконтированного денежного потока в полной мере отражает внутреннюю экономическую стоимость предприятия. Для кризисного предприятия оценку стоимости предприятия целесообразно осуществлять на основе имущественного метода. В данном случае это важно для формирования представлений специалистов о реальной стоимости предприятия, проводящих мероприятия кризисной реструктуризации.

В процессе оценки исходного уровня стоимости предприятия проводятся оценочные процедуры в отношении производственных инвестиционных и финансовых факторов. Существенно важным моментом является методическое обеспечение оценки, позволяющее учитывать чувствительность стоимости предприятия к формирующим ее факторам. Коэффициент чувствительности каждого фактора будет показывать реакцию рыночной стоимости объекта на изменение значения данного фактора. К факторам, определяющим величину стоимости производственного комплекса предприятия, следует отнести: стоимость имущества производственного комплекса предприятия, ликвидность его активов, заработную плату персонала, осуществляющего производственные функции, и уровень его квалификации, длительность производственного цикла, диверсифицированность производства, стоимость произведенной продукции, стоимость приобретенных для производственной деятельности материальных ресурсов, стоимость долга за предоставленные инвестиции, издержки на управление производственным комплексом.

Известно, что на максимальный размер требований к бизнесу со стороны поставщиков, работников, кредиторов и государства наложены ограничения, и только требования собственников, возникающие по остаточному принципу, не ограничены сверху. Требования поставщиков ограничены суммами, согласованными в договорах поставки и оказания услуг: требования работников – заработной платой, оговоренной трудовым договором (контрактом); требования кредиторов – процентными ставками и суммами, подлежащими возврату по кредитным договорам; требования государства устанавливаются законодательно и измеряются налоговыми ставками. Такой порядок расчетов обеспечивает заинтересованность в бизнесе как в инструменте достижения индивидуальных целей всех сторон, и в первую очередь собственников.

Можно утверждать, что при сложившихся ограничениях на размер требований к бизнесу со стороны участников и при существующей очередности их удовлетворения собственник, будучи последним в этой очереди, автоматически становится самой заинтересованной стороной в здоровье производственного комплекса, поскольку при плохом ведении дел от бизнеса ничего не останется.

Определив характер взаимодействия отдельных элементов в системе и описав связи бизнеса с внешней средой, рассмотрим существующие критерии оценки близости текущего состояния бизнеса к его целевому состоянию. Прежде всего, рассмотрим следующий ряд показателей: выручка-прибыль, рентабельность активов и продаж, их временные ряды и стоимость бизнеса.

Для выявления преимуществ и недостатков использования отдельных показателей в качестве критериев, сравним их друг с другом. Основная цель подобного сравнения – демонстрация еще одного преимущества использования стоимости в качестве объекта управления теперь уже с точки зрения взгляда на нее как на критерий системы бизнеса. Сравни-

вая, будем следовать следующей схеме. Из всего перечня показателей выбираются два, после чего второй показатель выражается через первый. Фактически это означает, что любое изменение в системе бизнеса, улавливаемое первым показателем, воспринимается и вторым. Напротив, для доказательства того, что обратное неверно, будет приводиться опровергающий пример двух бизнесов, разница в состоянии которых улавливается только вторым показателем и не улавливается первым. Отсюда будет делаться вывод, что в качестве критерия второй показатель предпочтительнее, поскольку он охватывает большую область состояний бизнеса и позволяет воспринимать то, что не доступно первому.

Следует сделать важное замечание. Приводимые доказательства не опираются исключительно на математические выкладки, а имеют в своей основе экономическую взаимосвязь между показателями. С точки зрения математики для большинства функций, выражающих экономические зависимости, существуют обратные функции. Однако если, например, определение прибыли на основе выручки выглядит вполне логично, то расчет выручки по прибыли невозможен из-за того, что в первую очередь измеряется именно выручка, а только потом выводится прибыль. Следовательно, в приведенном примере говорить об обратной функции, выражающей выручку через прибыль, с точки зрения экономики не совсем корректно.

Для того чтобы оценить, движется ли система в необходимом направлении или направление нуждается в корректировке, пользуются определенным критерием. В теории и на практике критерием измеряется расстояние от исходного состояния, в котором находится система, до состояния или состояний, выбранных в качестве цели.

Именно благодаря наличию критерия у специалиста появляется возможность оценить степень достижения цели в каждый конкретный момент и при необходимости из всего множества управляющих воздействий выбрать именно то, которое позволит достичь желаемого состояния и удовлетворить критерию. Как правило, критерий – это показатель, сконструированный или выбранный из показателей, характеризующих функционирование системы, для оценки ее состояния и служащий целям управления ею [1]. Обязательным условием существования любого показателя, в том числе критериального, является требование его наблюдаемости, что дает возможность измерить его величину и включить, например, в расчет других комплексных показателей.

К показателям, характеризующим деятельность конкретного предприятия, можно отнести следующие: размеры прибыли и убытков, количество проданного товара, величину дохода, уровень заработной платы, сумму налогов, состояние балансовых счетов и т.д. Все они имеют конкретное количественное выражение и, как правило, строятся на базе других показателей. Например, доход от продаж выводится из количества продаваемых товаров, цен на них и уплачиваемых налогов.

В современном финансовом анализе для оценки состояния бизнеса как системы применяется множество комплексных относительных и аддитивных показателей: рентабельность продаж и активов, прибыльность, стоимость и т.д. Каждый из них может быть положен в основу критерия. Выбор его полностью зависит от решаемой задачи.

Рассмотрим подробнее структуру стоимости предприятия. Денежные средства в виде чистой прибыли, остающиеся в распоряжении предприятия (фактически у акционеров), формируются по остаточному принципу. Поступающая в бизнес выручка расходует в первую очередь на оплату счетов поставщиков за используемые в производственном процессе материалы и энергию. Сюда же относятся и амортизационные отчисления, цель которых – возместить расходы предприятия за приобретенное ранее оборудование и производственную недвижимость.

Далее бизнес рассчитывается с работниками за уже выполненную работу, тем самым позволяя персоналу достичь их материальных целей. Затем возмещение получают кредиторы: им выплачиваются проценты за предоставленные финансовые ресурсы. В предпоследнюю очередь денежные средства направляются государству, которое собирает налоги с прибыли бизнеса. Оставшиеся средства поступают в распоряжение собственников, которые используют их для выплаты дивидендов или в качестве дополнительных денежных ресурсов для расширения производства.

Определим последствия снятия ограничений на размер требований любого из участников при сохранении существующей очередности платежей. Предположим, что вопреки условиям договора поставщики начинают требовать платеж произвольного размера. В этом случае ни работникам, ни кредиторам, ни государству, ни тем более собственникам ничего не остается, их цели не будут достигаться и бизнес как центр соединения интересов сторон перестанет существовать. Если теперь снять ограничения на максимальную величину заработной платы, то неудовлетворенными останутся требования кредиторов, государства и собственников. В этих условиях кредиторы перестают кредитовать, государство не имеет средств для выполнения своих функций, а собственники не заинтересованы в развитии производства. Отсутствие ограничений на обязательства перед кредиторами делает невозможным достижение государством и собственниками их целей, лишает их важного источника денежных средств. И, наконец, снятие ограничений с требований государства полностью уничтожает интерес со стороны собственников к поддержанию производства в работоспособном состоянии и к его дальнейшему расширению. Установление государством завышенных налоговых ставок, штрафов и пеней, преследующее цель максимального наполнения бюджета, приводит к угасанию интереса со стороны собственников к развитию бизнеса.

Цель существования имущественного комплекса формулируется в терминах наибольшего удовлетворения интересов собственников при существующих ограничениях на максимальный размер требований, предъявляемых к бизнесу другими заинтересованными сторонами.

Специалист в области оценочной деятельности В. Григорьев считает, что объектом оценки на всех этапах арбитражного процесса банкротства несостоятельных предприятий могут быть отдельные активы предприятия, либо его имущественный комплекс, либо предприятие как бизнес [2].

По мнению специалистов, модель оценки бизнеса зависит от перспектив развития данного предприятия, спада или подъема отрасли в рамках национальной экономики, состояния макроэкономической конъюнктуры. Если вероятность банкротства велика и реструктурировать предприятие бесполезно, то основная задача оценки – определить рыночную стоимость активов с учетом использования активов в новом бизнесе. Если предприятие может быть реструктурировано и приносить прибыль (настоящую или будущую), то механизм оценки приобретает новую форму [3].

Более четкую позицию в этом вопросе можно найти у Ф.Б. Риполь-Сарагоси. Он, в частности, считает, что при выборе модели оценки объект оценки должен быть четко идентифицирован, то есть должны быть определены его содержание, функции, составные части, границы, отделяющие его от других имущественных объектов [4].

Правовой основой оценки предприятий в процессе кризисной реструктуризации являются несколько сотен правовых положений, сформулированных в различных законодательных и нормативных документах [5].

Исходя из учета данных условий необходимо оценить целесообразность применяемого подхода на том или ином этапе управления микроэкономической системой предприятия.

В издании российской гильдии профессиональных антикризисных управляющих дается следующее обоснование: на этапах досудебной санации, наблюдения и внешнего управления оценивается, как правило, рыночная стоимость предприятия, а на этапе конкурсного производства – ликвидационная стоимость (хотя могут быть использованы и другие виды стоимости). Причем и тот и другой виды стоимости имеют свои особенности и разновидности. Они различаются в зависимости от объекта оценки.

Цель оценки определяется видом стоимости, который требуется определить, и выбором метода оценки стоимости предприятия.

Наиболее распространенный вид стоимости при оценке предприятий – его обоснованная рыночная стоимость. Данный вид стоимости применяется в западных странах в сфере антикризисного управления, а также при исчислении налогов, таких, как налоги на дарение и наследство, на имущество, при кредитовании предприятия, при его продаже и в других случаях.

Обоснованная рыночная стоимость предприятия – это его наиболее вероятная цена, выраженная в денежных единицах или в денежном эквиваленте, по которой предприятие перешло бы из рук продавца в руки покупателя при их взаимном желании купить или продать, достаточной информированности о всех имеющих отношение к сделке фактах, причем ни одна из сторон сделки не была бы принуждена к покупке или продаже. Если при сделке купли-продажи имеется влияние интересов, не характерных для типичного покупателя или продавца, то цена не может отражать обоснованную рыночную стоимость. И тогда вместо термина «обоснованная рыночная стоимость» специалисты употребляют понятие «рыночная стоимость».

Обоснованная стоимость предприятия – стоимость акций неконтрольного пакета. В США обоснованная стоимость определена как установленный законом стандарт стоимости, используемый в делах по защите интересов мелких акционеров, имеющих на руках неконтрольные пакеты акций. Различие между обоснованной стоимостью и обоснованной рыночной стоимостью состоит в учете скидки на неконтрольный пакет акций.

Инвестиционная стоимость – это стоимость предприятия для одного конкретного покупателя (инвестора или владельца). Инвестиционная стоимость отличается от обоснованной рыночной стоимости предприятия по ряду причин, в том числе в прогнозных оценках будущей доходности, степени риска, ставках налогообложения (если инвестор имеет льготы по налогам) и пр. Эти различия обусловлены индивидуальными целями конкретного инвестора.

При определении инвестиционной стоимости предприятия рассчитывают также и обоснованную рыночную стоимость с тем, чтобы облегчить инвестору принятие окончательного решения. Как правило, инвестиционная стоимость предприятия выше обоснованной рыночной стоимости.

Внутренняя, или фундаментальная, стоимость предприятия представляет собой аналитическую оценку стоимости предприятия, основанную на глубоком анализе существующего финансового и технико-экономического состояния предприятия и предполагаемых внутренних возможностях его развития в будущем. Определение внутренней стоимости предполагает учет благоприятных (или неблагоприятных) перспектив развития предприятия и эффекта целостности системы, когда ценность целого обычно выше, чем простая сумма стоимостей отдельных элементов. Таким образом, внутренняя стоимость зависит не

от целей конкретного инвестора, как при определении инвестиционной стоимости, а от субъективных аналитических заключений независимого эксперта-оценщика.

На развитом цивилизованном фондовом рынке специалисты различают курсовую и внутреннюю стоимость акций. Внутренняя, или реальная, стоимость акции определяется внутренней (фундаментальной) стоимостью предприятия. Внутренняя стоимость акции – это та ее стоимость, которой она должна и будет обладать, когда другие инвесторы получают ту информацию о предприятии, которую имеет эксперт-оценщик, исследующий данное предприятие.

Внутренняя стоимость предприятия определяется исходя из следующих основных факторов:

1. Стоимость активов предприятия. Материальные активы предприятия обладают определенной рыночной стоимостью и обычно при оценке действующего предприятия активы отдельно не оцениваются. Они оцениваются отдельно, как правило, при определении ликвидационной стоимости предприятия.

2. Наиболее вероятный будущий денежный поток предприятия в прогнозном периоде. При прогнозировании будущих доходов предприятия эксперт-оценщик получает несколько вариантов чистого дохода предприятия, из которых для оценки необходимо выбрать вариант с наибольшей степенью вероятности.

3. Вероятные будущие темпы роста чистого дохода предприятия в остаточный пост-прогнозный период, определить которые – наиболее трудная задача, решаемая также при прогнозировании развития предприятия.

Рассмотрение вышеназванных факторов осуществляется в процессе так называемого фундаментального анализа, в рамках которого определяется самый важный показатель – ожидаемый денежный поток предприятия, а также анализируются такие факторы, как структура капитала, качество управления, квалификация рабочих и пр. На основе анализа этих факторов эксперт-оценщик определяет внутреннюю стоимость предприятия (или внутреннюю стоимость акций этого предприятия).

Если при анализе внутренней стоимости акции предприятия выявится, что рыночная (т.е. курсовая) стоимость ее оказывается ниже уровня внутренней стоимости, то эксперт-оценщик делает вывод о том, что данные акции выгодно покупать. Если рыночная (курсовая) стоимость акций выше предполагаемой (ожидаемой) внутренней стоимости акций, определяемой исходя из внутренней стоимости предприятия, то эксперт-оценщик делает вывод, что эти акции необходимо продавать. Итак, в связи с тем, что внутренняя стоимость предприятия определяется при глубоком анализе предыстории и перспектив его развития, считается, что это наиболее реальная и наиболее точная (естественная) оценка стоимости предприятия.

Стоимость действующего предприятия – это стоимость жизнеспособного функционирующего предприятия, имеющего собственные активы, товарно-материальные запасы, постоянную рабочую силу, осуществляющего хозяйственные операции и не находящегося под непосредственной угрозой несостоятельности.

Стоимость действующего предприятия определяется стоимостью группы нематериальных активов (в совокупности или конкретных нематериальных активов), стоимость которых составляет превышение стоимости действующего предприятия над стоимостью только его материальных активов. При определении стоимости действующего предприятия для его купли-продажи из общей стоимости нематериальных активов предприятия вычитаются некоторые их виды, например гудвил, или те, для которых может быть выявлен особый поток доходов и которые продавец не хочет продавать.

Ликвидационная стоимость представляет собой чистую сумму, которую собственник предприятия или арбитражный управляющий может получить при ликвидации этого предприятия и раздельной распродаже его активов. Существует принудительная и упорядоченная ликвидация. При упорядоченной ликвидации распродажа активов производится в течение разумного времени, с тем чтобы получить максимально возможную в этих случаях цену за каждый вид распродаваемого актива.

При определении ликвидационной стоимости необходимо учитывать все затраты, связанные с ликвидацией предприятия: административные издержки по поддержанию работы и охраны предприятия до его окончательной ликвидации, налоги, расходы оценочных, юридических и аудиторских фирм, комиссионные брокерам, осуществляющим продажу активов, и пр. Кроме того, при определении ликвидационной стоимости предприятия необходимо дисконтировать ожидаемую чистую выручку от продажи активов по ставке, учитывающей связанный с этим риск, с момента ожидаемого получения чистой выручки до даты оценки.

Балансовая стоимость предприятия определяется по балансовому отчету предприятия как сумма его активов за вычетом накопленных амортизационных отчислений, а также сумм кратко- и долгосрочных обязательств предприятия. При определении балансовой стоимости предприятия основные фонды оцениваются с учетом последней переоценки за вычетом также переоцененных амортизационных отчислений. При этом некоторые виды активов могут быть списаны. Обязательства оцениваются по номинальной стоимости с учетом условий кредитных договоров.

Восстановительная стоимость предприятия – это балансовая стоимость предприятия с учетом переоценки активов на дату оценки его стоимости. Восстановительная (текущая) стоимость предприятия часто используется экспертами-оценщиками в качестве предварительной оценки стоимости предприятия.

В плановой экономике наиболее часто при оценке использовалась балансовая стоимость. Однако при антикризисном управлении чаще требуется определять рыночную и ликвидационную стоимость.

Существует несколько десятков методик, методов и способов оценки стоимости предприятий. Они обычно классифицируются (группируются) специалистами в три подхода: сравнительный (или рыночный), доходный и имущественный (или затратный).

Широко известно также «золотое правило» оценки предприятий для некоторых промышленных отраслей экономики, которое гласит: покупатель не заплатит за предприятие более 4-кратной величины среднегодовой прибыли до налогообложения.

Методики оценки предприятий на основе доходного подхода базируются на определении текущей стоимости будущих доходов и используются тогда, когда можно обоснованно определить будущие денежные доходы оцениваемого предприятия.

Преимущества методик доходного подхода в том, что в них учитываются будущие условия деятельности предприятия: условия формирования цен на продукцию, будущие капитальные вложения, будущие условия рынка, на котором функционирует предприятие, экономическое устаревание и другие условия.

Главный недостаток этих методик – их умозрительный характер, поскольку при прогнозных расчетах денежных потоков или ставок дисконтирования приходится прибегать к предположениям и ограничениям, носящим условный характер.

Имущественный подход основан на анализе активов предприятия и включает следующие методики:

накопления активов предприятия;

скорректированной балансовой стоимости (методика чистых активов);
расчета стоимости замещения;
расчета восстановительной стоимости;
расчета ликвидационной стоимости.

Все методики имущественного подхода используются, как правило, для оценки контрольного пакета акций предприятия.

Основное преимущество методик имущественного подхода в том, что они базируются на реально существующих активах и затратах. В то же время эти методики «статичны», они не учитывают перспективы развития предприятия, его будущую доходность.

Перечисленные выше методики оценки стоимости предприятий не используются изолированно, а взаимно дополняют друг друга. Для оценки предприятия используются, как правило, несколько методик из разных подходов. Далее результаты оценок, полученные с их помощью, сопоставляются для определения окончательного уровня стоимости оцениваемого предприятия.

В чем состоит важность имущественного подхода к оценке стоимости предприятий? Имущественный подход к оценке предприятий объединяет следующие методики: накопления активов предприятия; скорректированной балансовой стоимости (методика чистых активов); замещения; ликвидационной стоимости предприятий. Все эти методики оценки объединены в имущественный подход по одному основному признаку: они основаны на определении в текущих ценах стоимости отдельных видов имущества или затрат на строительство аналогичного предприятия (методика замещения). Все методики имущественного подхода базируются на одной информационной базе – балансе предприятия и позволяют рассчитать различные виды стоимости предприятия: методика накопления активов – рыночную стоимость.

Имущественный подход к оценке предприятия в условиях кризисной реструктуризации наиболее актуален (по сравнению с доходным и сравнительным подходами). Это обусловлено в первую очередь наличием, как правило, достоверной исходной информации для расчетов, а также использованием в определенной мере известных, традиционных для отечественной экономики затратных (или имущественных) подходов к оценке стоимости предприятия.

Значимость доходного и имущественного подходов к оценке ограничена отсутствием достоверной информации по текущим и будущим доходам предприятия, а также отсутствием рыночных данных о фактических продажах предприятий (ввиду отсутствия рынка слияний и поглощений предприятий и слабости фондового рынка).

Таким образом, в условиях экономической нестабильности для оценки предприятий следует применять методики имущественного подхода, основанные на анализе стоимости имущества предприятий и их задолженности.

Базовая формула имущественного подхода оценки предприятия, по мнению М.А. Федотовой, может быть выражена следующим образом [7]:

$$K_{\text{собст}} = A_{I-II} - O,$$

где $K_{\text{собст}}$ – собственный капитал; A – активы предприятия; O – сумма обязательств предприятия.

Обратимся к возможностям данных методик в оценке имущества кризисных предприятий.

Методика скорректированной балансовой стоимости предполагает анализ и корректировку всех статей баланса предприятия, суммирование стоимости активов и вычитание

из полученной суммы скорректированной суммы статей пассива баланса в части долгосрочной и текущей задолженностей. Эта методика расчета стоимости предприятий соответствует международным принципам бухгалтерского учета и широко используется в настоящее время в так называемой нормативной оценке при определении стоимости чистых активов акционерных обществ и в процессе приватизации государственных или муниципальных предприятий, т.е. в тех случаях, когда речь идет о сделках с государственным или муниципальным имуществом.

Методика замещения заключается в определении расходов в текущих ценах на строительство предприятия, имеющего с оцениваемым аналогичную полезность, но построенного в новом, современном стиле, с использованием прогрессивных проектных и технологических нормативов, с применением прогрессивных материалов, конструкций и оборудования. При реализации методики замещения вносятся поправки на физический, функциональный и экономический износ оцениваемого предприятия.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При проведении реорганизации предприятий наиболее сложно определить выбор методов оценки стоимости предприятия и осуществить ее измерение. Поэтому необходима разработка методики оценки предприятий, позволяющая определить стоимость субъекта с учетом чувствительности факторов, влияющих на ее величину.

2. Методика расчета стоимости предприятия должна использоваться в практике технико-экономических обоснований реорганизации объекта. В настоящее время эксперты-оценщики могут использовать ее для приблизительных расчетов рыночной стоимости предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Могилевский В.Д. Методология систем / В.Д. Могилевский. М.: Экономика, 1999. 285 с.
2. Григорьев В. Особенности оценки несостоятельных предприятий / В. Григорьев // Антикризисное управление. 2000. № 1-2. С. 36-40.
3. Теория и практика антикризисного управления: учебник для вузов / Г.З. Базаров, С.Г. Беляев, Л.П. Белых и др. М.: Закон и право. ЮНИТИ, 1996. 310 с.
4. Риполь-Сарагоси Ф.Б. Основы оценочной деятельности / Ф.Б. Риполь-Сарагоси. М.: ПРИОР, 2001. 158 с.
5. Федеральные законы «Об оценочной деятельности в Российской Федерации», «О несостоятельности (банкротстве)», а также Государственные стандарты РФ ГОСТ Р 51195 002.98 «Единая система оценки имущества. Основные положения».
6. Григорьев В.В. Оценка предприятий: имущественный подход / В.В. Григорьев, И.М. Островкин. М.: Дело, 2000. 340 с.
7. Федотова М.А. Оценка бизнеса / М.А. Федотова, А.Г. Грязнова. М.: Финансы и статистика, 1999. 153 с.

Волков Игорь Васильевич –
аспирант кафедры
«Экономика труда и управления персоналом»
Саратовского государственного
социально-экономического университета

Volkov Igor Vasilyevich –
Post-graduate student
of the Department of «Economics of Labor
and Personnel Management»
of Saratov State Social Economic University

Статья поступила в редакцию 13.11.08, принята к опубликованию 25.02.09

И.Ю. Квятковская

**ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ
В УСЛОВИЯХ СЛАБОЙ СТРУКТУРИРОВАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ**

В процессе функционирования регионального экономического кластера возникают проблемы принятия решения, связанные со слабой структурированностью. Предлагается механизм формирования управленческих решений, основанный на корпоративном знании о предметных областях, интегрированных в кластере. Рассмотрена семантическая модель знаний, объединяющая процедурные и декларативные знания. Разработана информационная технология принятия управленческих решений.

Кластер, корпоративное знание, онтология, проблема.

I.Yu. Kvyatkovskaya

**ADMINISTRATIVE DECISIONS FORMATION FOR SOCIAL AND ECONOMIC
SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF WEAK STRUCTURE OF THE PROBLEM**

The author focuses on the problems of the regional economic cluster where there are problems of decision-making connected with its weak structure. The mechanism of formation of the administrative decisions, based on corporate knowledge of the subject domains integrated in cluster. The semantic model of knowledge, uniting procedural and declarative knowledge is considered here. The information technology of acceptance of administrative decisions is developed.

Cluster, corporate knowledge, ontology, problem.

Управленческие решения для социально-экономической системы должны приниматься в соответствии с четко выверенными критериями, на основании достоверной и всесторонней информации об исследуемом объекте, тенденциях развития экономических явлений и процессов в нем. Различают несколько видов возможных решений: статические решения, обеспечивающие нормальный баланс в функционировании; инновационные решения, направленные на совершенствование экономической системы, ее качественное развитие; исследовательские решения, направленные на глобальные инновационные изменения. Формирование и принятие управленческих решений для социально-экономической системы в методологическом плане связано с тремя типами проблем принятия решений [1]:

1) структурированными проблемами, имеющими количественные оценки факторов, четко определенную цель, связанную с достижением наилучшего эффекта от функционирования, наличием структурно выраженных зависимостей;

2) слабоструктурированными проблемами, имеющими качественные оценки факторов, характеризующимися отсутствием четко выраженной цели, либо представлением ее в виде группы локальных, конкурирующих целей, отсутствием устойчивых закономерностей;

3) неструктурированными проблемами, где оценки факторов выполняют эксперты, отсутствуют структурно выраженные закономерности, решение проблемы зависит скорее от опыта и знаний эксперта, чем от сочетания количественных признаков проблемы.

В настоящий момент активно развиваются методы анализа социально-экономических систем (см. таблицу).

Виды анализа социально-экономических систем

Предпроектный анализ [2]	Проблемно-целевой анализ [3]	Структурно-целевой анализ [4]	Системный анализ		Кластерный анализ
			по Ю.И. Черняку [5]	по С.Л. Оптнеру [6]	
<p>1. Целеполагание. 2. Факторное моделирование. 3. Операционное моделирование. 4. Потокное моделирование.</p>	<p>1. Формулирование проблемы. 2. Сбор и агрегирование информации. 3. Формирование целей системы. 4. Определение критериев. 5. Формализация состояния системы. 6. Построение проблемно-целевой модели системы. 7. Построение оценочной модели системы. 8. Построение модели управления. 9. Решение обратной задачи.</p>	<p>1. Формулирование проблемы. 2. Формирование вектора целей. 3. Определение базисных факторов. 4. Выбор вектора управляющих воздействий. 5. Выбор наблюдаемых факторов. 6. Построение структурно-целевой модели системы. 7. Структурно-целевой анализ. 8. Решение прямой задачи – моделирование при заданном векторе управления. 9. Решение обратной задачи – поиск векторов управлений для достижимости вектора целей.</p>	<p>1. Анализ проблемы. 2. Определение системы. 3. Анализ структуры системы. 4. Формулирование общей цели и критериев. 5. Декомпозиция цели. 6. Выявление ресурсов, композиция цели. 7. Прогноз и анализ. 8. Оценка целей и средств. 9. Выбор вариантов. 10. Диагноз существующей системы. 11. Построение комплексной программы развития. 11. Проектирование организации.</p>	<p>1. Идентификация симптомов. 2. Определение актуальности проблемы. 3. Формирование целей. 4. Определение структуры системы. 5. Определение возможностей. 6. Генерирование и оценка альтернатив. 7. Выработка решения. 8. Признание решения. 9. Запуск процесса решения. 10. Управление процессом реализации решения. 11. Оценка реализации и ее последствий.</p>	<p>1. Определение основных направлений развития кластера: основные и поддерживающие отрасли. 2. Структуризация ресурсов. 3. Определение внутренней структуры кластера. 4. Определение внешней среды прямого и косвенного взаимодействия. 5. Определение стратегии развития кластера.</p>

Все они ориентированы на формализацию процесса выработки решения, но не детализируют сам процесс в зависимости от типа проблемы, не используют корпоративную память социально-экономической системы как инструмент для систематизации и сохранения методов решения проблемы, в результате многие решения носят эвристический характер.

В связи с этим необходима разработка методологии, позволяющей управлять решением слабоструктурированных проблем, возникающих в деятельности социально-экономических систем, опирающейся на когнитивный фундамент – декларативные и процедурные знания, генерируемые в субъектах хозяйствования.

В качестве объекта исследования предлагается региональный промышленный кластер, обладающий множеством участников, неоднородной информационной средой, наличием различных предметных областей, экспертов, владеющих частными компетенциями в данной предметной области. Проблема создания корпоративного знания для кластера является институциональной стратегией, имеющей инновационную направленность.

Значительным количеством видов участников обладает транспортный кластер, созданный для логистической координации участников процессов грузоперевалки. Анализируя информационные ресурсы и системы этого кластера, следует отметить семантическую неоднородность, затрудняющую интероперабельность информационных систем. Например, для единой сущности «груз» определено множество бизнес-процессов, характерных для различных предметных областей, отраженных в информационных системах с неодинаковым тезаурусом. Характеризуя структуру знаний кластера, необходимых для управления и координации его деятельности, следует отметить, что помимо наличия традиционного представления знаний в процедурной и декларативной формах, наличествуют инвариантная и вариативная части знаний. Инвариантная часть присуща типовым процессам, решаемым всеми субъектами кластера по единой технологии, либо по заранее выбранному регламенту. Вариативная часть сохраняет индивидуальность различных предметных областей.

Предлагается разделить представление объектов кластера на три составляющих уровня: физический уровень, в котором взаимодействуют реально существующие материальные, информационные, энергетические, финансовые потоки; информационный уровень, в котором взаимодействуют информационные образы объектов в рамках регламентированных информационных процессов; когнитивный уровень, элементами которого являются декларативные и процедурные образы объектов и процессов.

Для описания сущностей на информационном уровне используется множество тезаурусов $Tez = \{\alpha, \beta, \gamma, \dots\}$, каждый из которых отождествлен с системой понятий, характерных для различных предметных областей $\alpha(PrO_1)$, $\beta(PrO_2)$, Информационным представлением элементов кластера на информационном уровне является отображение сущности физического объекта Obj посредством его представления в тезаурусе α предметной области (пользователя) PrO :

$$Obj \xrightarrow{\alpha(PrO)} \langle Obj \rangle_{\alpha}$$

либо дальнейшее преобразование информационного объекта в тезаурусе информационной системы $ИС1$:

$$\langle Obj \rangle_{\alpha} \xrightarrow{\beta(ИС1)} \langle Obj \rangle_{\alpha,\beta}$$

Формирование корпоративного уровня происходит от следующих участников физического уровня:

$\overline{\mathfrak{Z}}_i, i = \overline{1, J}$ – эксперты, инженеры по знаниям, когнитологи;

$\overline{\mathfrak{R}}_j, j = \overline{1, R}$ – ЛПР, в отдельных случаях отождествляемые с владельцами проблемы;

$\overline{\mathfrak{D}}_k, k = \overline{1, S}$ – субъекты, владельцы проблемы физического домена.

Из информационного уровня знания поступают в виде аналитической, отчетной, агрегированной информации.

Знания когнитивного уровня представимы в виде следующих образов:

– образы физических объектов $\langle Obj \rangle_\alpha$ и процессов $\langle Proc \rangle_\alpha$ в тезаурусе предметной области $\alpha(PrO)$, используемые для принятия решения $Decision: \langle Dec\{\langle Obj \rangle_\alpha, \langle Proc \rangle_\alpha\} \rangle$ (декларативные знания);

– образы информационных объектов $\langle Obj \rangle_{\alpha,\beta}$ и процессов $\langle Proc \rangle_{\alpha,\beta}$ в тезаурусе информационной системы ИС: $\beta(ИС)$, используемые для принятия решения: $\langle Dec\langle Obj \rangle_{\alpha,\beta} \rangle$ (декларативные знания);

– образы процессов $\langle Proc \rangle$, связанных с объектами $\langle Obj \rangle$ в тезаурусе i -го эксперта \mathfrak{T}_i , используемые для принятия решения: $\langle Dec\{\langle Obj \rangle, \langle Proc \rangle\}^{\mathfrak{T}_i} \rangle$, к которым могут относиться алгоритмы, методы, процедуры, когнитивные приемы управления эксперта (процедурные знания).

Структура знаний когнитивного уровня представима в виде онтологии:

$$\Theta = (O_{Main}, O_{PR}, O_z, O_{proc}),$$

где

- O_{Main} – метаонтология кластера, инвариантная относительно предметных областей, его составляющих;

- $O_{PR} = \{KO_{PrO}, RO_{PrO}, D_{PrO}, SL_{PrO}\}$ – совокупность предметных онтологий, где KO – набор концептов предметной области PrO , RO – семантически значимые отношения, D – декларативные интерпретации понятий и отношений, SL – набор слотов для каждого концепта;

- $O_z = \{KOZ, ROZ, DZ\}$ – онтологии задач, включающие процедурные онтологии, где KOZ – множество задач, характерных для i -й предметной области, ROZ – спецификация декомпозиции подзадач, DZ – декларативные интерпретации декомпозиции;

- O_{proc} – онтология методов решения задач, слотами которой могут быть фрагменты базы знаний, выражающие любым формальным способом порядок переноса и агрегирования информации, структурированное представление входной информации, тип входных данных, множество алгоритмов, процедур, способов анализа, агрегирования, категоризации индикаторов, расчета интегрального показателя.

Рассмотрим процессы обмена знаниями в ходе решения слабоструктурированной проблемы принятия решения.

1. Сформулируем проблему в виде совокупности :

$$S = (Metr, Ind, Alg, I_S, \aleph),$$

где $Metr$ – множество шкал, используемых для оценивания;

$Ind = \{Ind_1, Ind_2, \dots, Ind_K\}$ – множество показателей оценивания, определенных на множестве $Metr$; $Alg = \{f_1(Ind_1, Ind_2, \dots, Ind_K), \dots, f_F(Ind_1, Ind_2, \dots, Ind_K)\}$ – множество алгоритмов, процедур, способов анализа, агрегирования, категоризации индикаторов; I_S – показатель, выражающий эффект достижения цели; \aleph – структура проблемы, выражающая любым формальным способом порядок переноса и агрегирования информации, необходимой для оценивания.

Будем считать, что структура проблемы \aleph , выражающая любым формальным способом порядок переноса и агрегирования информации, необходимой для оценивания, неизвестна, что и затрудняет решение задачи.

2. Проведем семантический анализ проблемы, используя онтологический подход к описанию когнитивного уровня, т.е. анализ онтологии предметной области $O_{PR} = \langle KO, RO, D, SL \rangle$,

анализ онтологии задач $O_z = \{KOZ, ROZ, DZ\}$, анализ методов решения подобных задач O_{proc} . Результатом анализа является формирование терминологической базы проблемы.

3. Построим теоретико-множественную модель проблемы, содержащую многоуровневую структуру, сопровождающую оценивание индикаторов проблемы:

$$TMM = \langle \mathfrak{S}, Metr, Z, Alg, \mathfrak{N} \rangle,$$

где \mathfrak{S} – множество экспертов, участвующих в оценке; $Metr$ – множество шкал оценивания индикаторов; Z – множество целей, обеспечивающих достижение наилучших значений индикаторов качества элементов системы; Alg – совокупность алгоритмов и методов оценивания; \mathfrak{N} – структура элементов модели.

Возможны следующие случаи:

– иерархическая структура модели $\mathfrak{N} = \{A, P_A, Rel, M\}$, где $A = \{a_{ij}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, l_i}$ – структура элементов модели (i – глубина уровня элемента, j – порядковый номер элемента на уровне); $P_A = \{p_{ij}(Metr)\}$ – множество индикаторов оценки элементов системы, определенных по шкале из множества шкал $Metr$; $Rel = \{R, M\}$ – где $R = \{r_{jl}^i\}$ – множество связей (отношений) между j -ми элементами системы i -го уровня и нижележащего уровня (l – номер элемента $i+1$ уровня); $M = \{m_{jl}^i\}$ – множество мощностей связей, оценивающих степень влияния индикатора p_{ij} на индикатор $p_{i+1,l}$;

– сетевая структура модели $\mathfrak{N} = \{H, h, B, BK\}$, где $H = \{H_i\}, i = \overline{1, Kl}$ – множество кластеров; h_{ij} – элементы кластеров, где $i = \overline{1, Kl}, j = \overline{1, Kl}$, Kl – количество кластеров, BK – совокупность из KL матриц оценки влияния элементов одного кластера на другой, $B = \{b_{ij}\}$ – бинарная матрица влияний кластеров:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } H_i \text{ влияет на } H_j \\ 0, & \text{если } H_i \text{ не влияет на } H_j. \end{cases} \quad (1)$$

4. Проведем анализ структуры \mathfrak{N} модели в целях определения n_1 уровней инвариантной – процедурной части, представляющей алгоритмы *агрегирования* показателей и n_2 уровней, относящихся к вариативной – предметной части, для которой характерно *формирование* показателей оценивания – индикаторов проблемы. Следствием слабой структурированности проблемы является присущий уровню формирования показателей субъективизм, выраженный в вербальном характере процедуры формирования показателей. Он проявляется в информационной избыточности структуры и устраняется путем анализа четких и нечетких когнитивных карт, определяющих силу и направление влияния.

Для учета взаимовлияния между индикаторами, используемыми для оценивания объекта R , и устранения избыточности разработана *методика устранения информационной избыточности*, позволяющая определять минимальный информативный набор показателей с помощью определения сбалансированных когнитивных структур. Оно основано на процедуре вычисления совместного влияния – сравнения контуров, образованных из концептов по критерию «Сила влияния».

Для каждого объекта оценивания R формируется когнитивная карта, включающая базовое множество измеряемых показателей P^{BAZ} , которое сводится к минимальному информативному множеству $P^{МИН}$ (рис. 4): $P^{МИН} \subset P^{BAZ} : |P^{МИН}| \ll |P^{BAZ}|$. Мощность связи определяется в интервале $[-1; 1]$ (рис. 1).

Методика построения и анализа когнитивной карты включает этапы:

4.1. Определение топологии для m показателей, влияющих на достижение цели, либо системы индикаторов, необходимых для оценивания объекта в виде ориентированного графа $G(e, s)$, описывающего субъективное восприятие экспертом взаимовлияния элементов системы.

- 4.2. Определение списка вершин графа каждой подсистемы (концептов e_i).
- 4.3. Определение силы отношений влияния между каждой парой вершин ($s \in [-1, 1]$).
- 4.4. Формирование нечеткой матрицы r для определения взаимовлияния концептов $r = [w(e_i, e_j)]_{2m \times 2m}$ и набора положительно-отрицательных пар элементов (vp_{ij}, vm_{ij}).

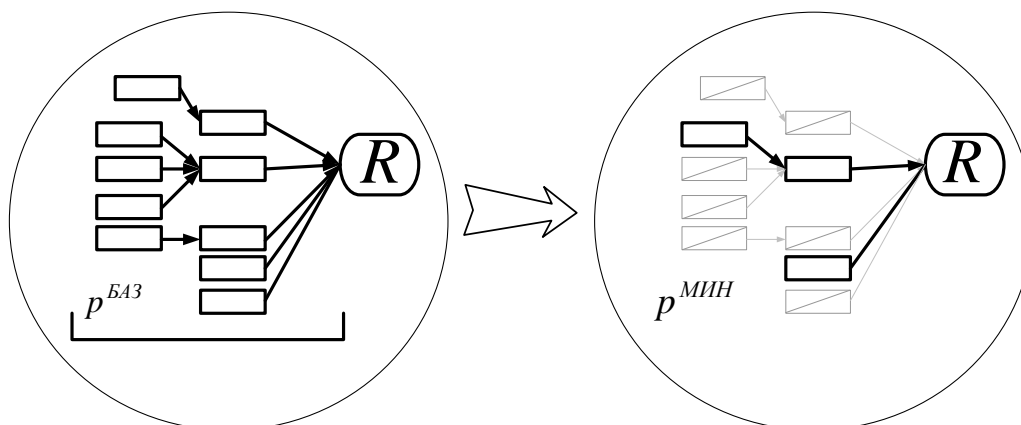


Рис. 1. Схема обработки когнитивной карты

- 4.5. Расчет влияния n концептов на систему.

$$\bar{P}_i = \sum_{j=1}^m (\text{sign}(vp_{ij} + vm_{ij}) \max(|vp_{ij}|, |vm_{ij}|)) / m.$$

4.6. Анализ когнитивной карты: построение на заданном множестве концептов P^{BAZ} отношения линейного порядка. Анализ линейно упорядоченного множества концептов в целях отбора множества меньшей мощности P^{MIN} путем решения задачи сегментации концептов.

5. Анализ свойств модели в целях выбора предпочтительного алгоритма формирования агрегированного показателя по характеристикам: тип структуры \aleph , шкала оценки факторов $Metr$, вид системы отношения предпочтения между факторами Φ (рис. 2).

6. Построение агрегированного показателя для 0-го уровня модели – скалярного, для 1-го уровня модели – векторного показателя. При агрегировании показателей для системы иерархической структуры применим общеизвестный метод анализа иерархий [7], в котором влияние объектов на элементы вышележащих уровней оценивается с помощью метода парных сравнений, а предпочтения факторов выражаются количественно на интервале $[0, 1]$. Метод аналитических сетей [8] является развитием метода анализа иерархий. Он позволяет учитывать взаимное влияние элементов модели относительно выбранной цели, причем ограничения на виды зависимостей между элементами модели не накладываются. Метод аналитических сетей основан на построении управляющей иерархии или сети, представимой в виде группы кластеров, содержащих однородные элементы; выборе управляющих критериев; оценке взаимного влияния элементов и кластеров сети для каждого управляющего критерия.

При нечетком оценивании на нижнем уровне иерархии находятся k частных целей, отождествляемых с k элементарными критериями q_i , которые позволяют оценить альтернативы p_i . Цель выражена в виде лингвистической переменной, базовое множество которой $\Theta_1 \times \Theta_2 \times \dots \times \Theta_k$. Нечеткое множество объектов, совместимое с глобальной целью, получено путем свертки нечетких множеств с функциями принадлежности μ_i . Для поиска глобальной цели используется минимум, соответствующий пересечению целей.

Анализ результирующего показателя может быть проведен путем сегментации его на уровни, свидетельствующие о количественном достижении цели.

Данная методика может быть применена к решению слабоструктурированных проблем оценки эффективности или качества бизнес-процесса (группы бизнес-процессов, сквозного бизнес-процесса) на основе мониторинга данных, поступающих из корпоративных информационных систем предприятий (информационный уровень) и внешних экспертов (физический уровень). Интерпретация результатов в виде административных директив может быть передана на физический уровень (рис. 3).

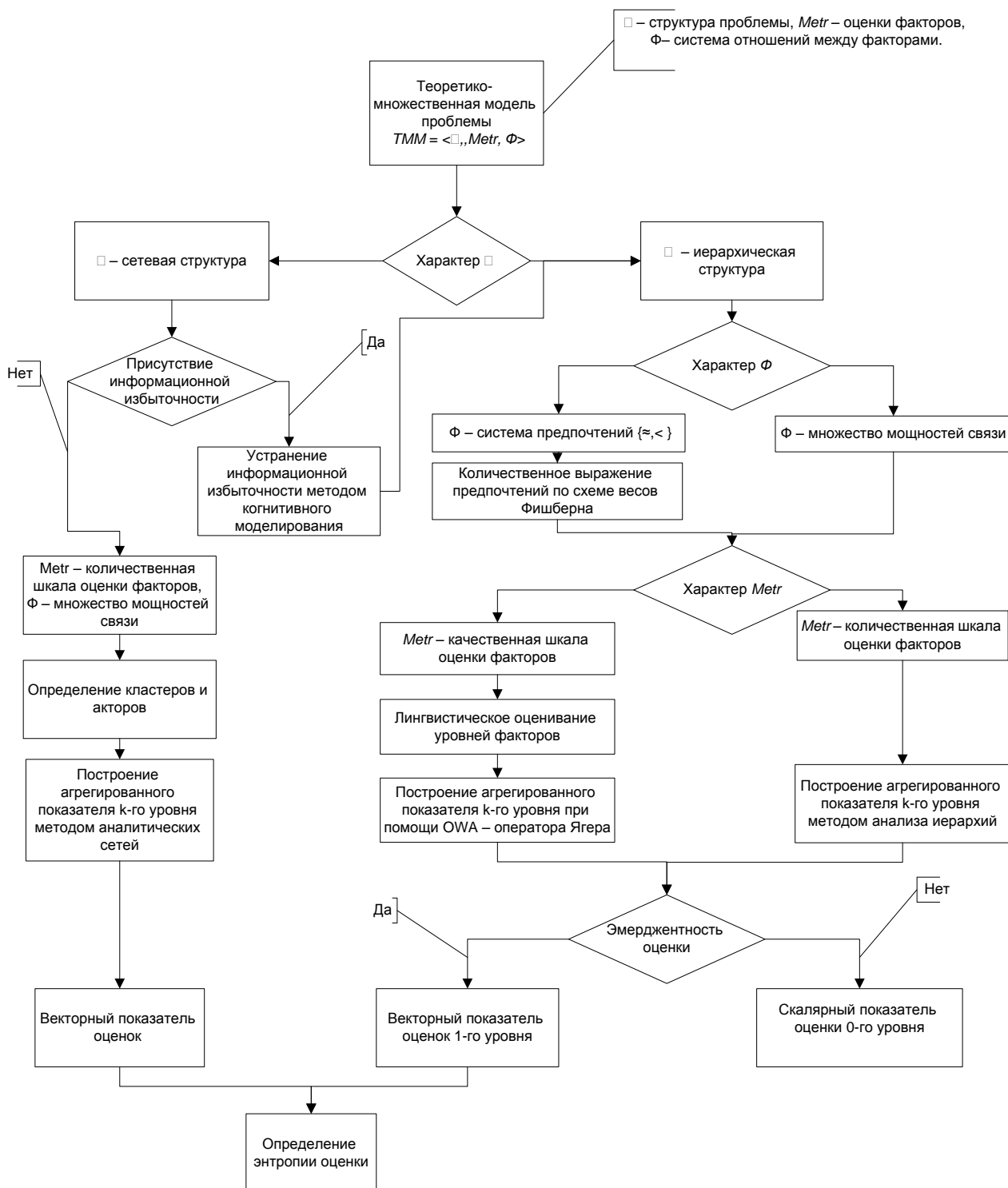


Рис. 2. Алгоритм формирования агрегированного показателя

Информационная технология формирования управленческих решений для слабоструктурированной проблемы

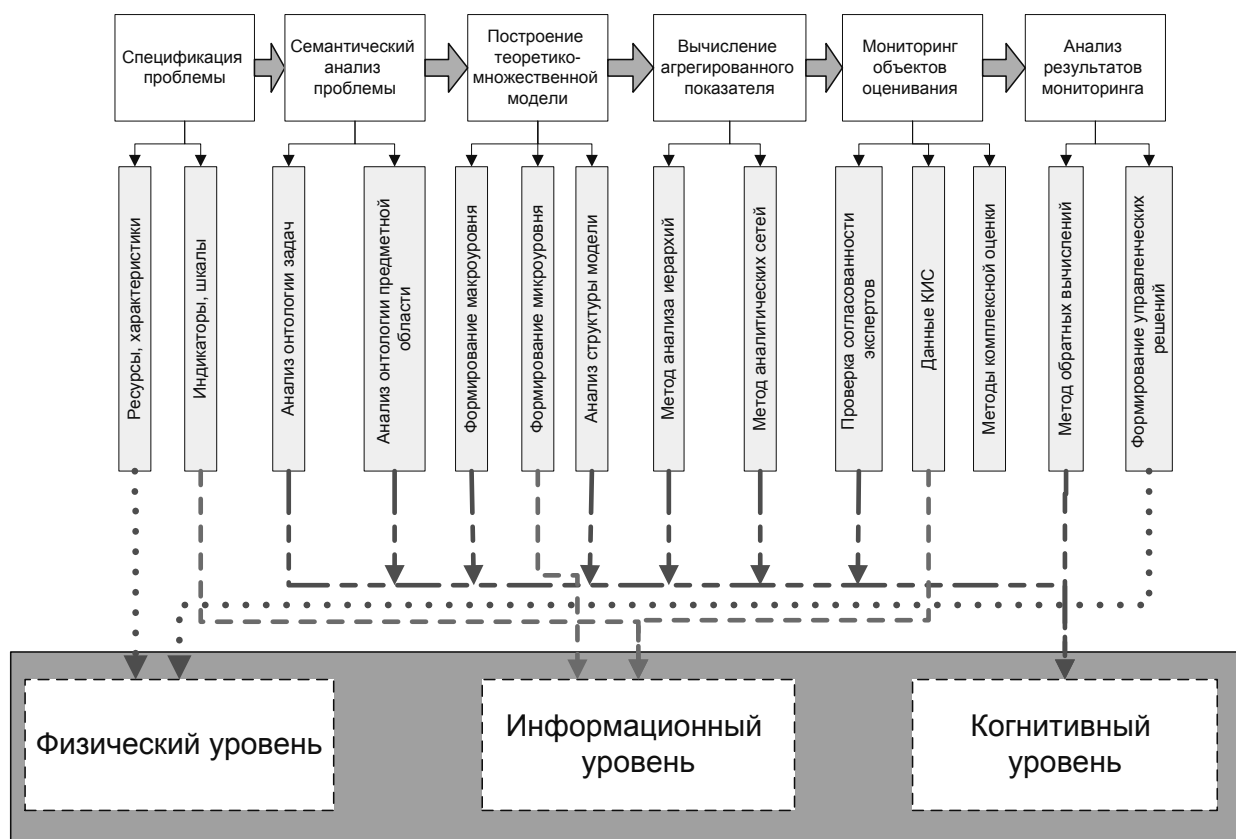


Рис. 3. Процедура формирования управленческих решений

Разработка теоретико-множественной модели позволит приблизиться к определению концептуальной модели знаний, поскольку инвариантные знания о процессе, соответствующие верхним уровням модели, и вариативные знания о различных предметных областях возможно хранить в виде распределенной базы данных. Фрагментами декларативного знания будет являться WEB-онтология, спроектированная на базе расширенной онтологии, позволяющей устранить семантическую неопределенность. Процессы формирования управленческих решений для участников кластера также будут основаны на интегрированных процедурных и декларативных знаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларичев О.И. Некоторые проблемы искусственного интеллекта / О.И. Ларичев // Сборник трудов ВНИИСИ. 1990. № 10. С. 3-9.
2. Юдицкий С.А. Основы предпроектного анализа организационных систем: учеб. пособие / С.А. Юдицкий, П.Н. Владиславлев. М: Финансы и статистика, 2005. 144 с.
3. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов, И.А. Бычков, А.В. Дементьев и др. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 154 с.
4. Максимов В.И. Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций: автореф. дис. ... доктора экон. наук / В.И. Максимов. М., 2002. 36 с.
5. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. М.: Экономика, 1971. 270 с.
6. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С.Л. Оптнер. М.: Сов. радио, 1969. 240 с.

7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. 180 с.

8. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: учебник / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова; 2-е изд., доп. и перераб. М.: Финансы и статистика, 2004. 464 с.

Квятковская Ирина Юрьевна –
кандидат технических наук, профессор,
директор Института информационных
технологий и коммуникаций
Астраханского государственного
технического университета

Kvyatkovskaya Irina Yurievna –
Candidate of Technical Sciences,
Professor, Dean of the Institute
of Information Technology & Communication
of Astrakhan State Technical University

Статья поступила в редакцию 05.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 330.341.2:339.92

А.А. Кузнецова

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ СУЩНОСТИ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНЫХ КОРПОРАЦИЙ

Статья посвящена институциональному аспекту исследования сущности транснациональных корпораций (ТНК), поскольку современное развитие экономической науки позволяет взглянуть на ТНК именно с институциональной точки зрения. В целях определения институциональной сущности корпорации, автор рассматривает подходы традиционного институционализма и институционализма современного в определении понятия «институт» и природы его возникновения.

Транснациональная корпорация, институционализм, формальные и неформальные институты, институциональная среда, институциональная структура.

A.A. Kuznetsova

INSTITUTIONAL ASPECT OF TNC'S ESSENCE RESEARCHING

The article is dedicated to institutional aspect of researching TNC's essence since contemporaneous development of economic science allow looking at TNC from institutional point of view. For defining institutional essence of corporation, author inspects ways of traditional institutionalism and modern institutionalism for defining conception institute and the nature of its becoming.

Transnational corporation, institutionalism, formal and informal institutes, institutional environment, institutional structure.

Современная эпоха – это эпоха глобализации. Процессы транснационализации производства и капитала являются основной движущей силой глобализации мировой экономики. Усиление экономической взаимозависимости государств постепенно ведет к разрушению национального экономического государственного суверенитета и появлению новых наднациональных экономических образований – глобальных корпораций – транснациональных управленческих структур [1, с.12]. В экономической литературе корпорация определяется как объединение производственных, проектных, торгово-сбытовых, финансовых предприятий и организаций для совместной хозяйственной деятельности, уменьшения возможного риска при осуществлении капиталоемких направлений промышленной и коммерческой деятельности за счет концентрации капитала, централизации функций обеспечения ресурсами, сбыта продукции, овладения новыми рынками, реализации более экономически целесообразной стратегии развития входящих в корпорацию хозяйственных единиц [2, с.145]. Тем не менее, данное определение не учитывает институционального аспекта корпорации, а современное развитие экономической науки позволяет взглянуть на ТНК именно с институциональной точки зрения. Для понимания особенностей функционирования ТНК необходимо учитывать сложные взаимосвязи, как во внутренней, так и во внешней среде корпорации. Эти непростые взаимоотношения определяются набором институциональных ограничений, которые и определяют специфику функционирования ТНК. В этой связи корпорацию можно рассматривать как в качестве уникального института, так и в качестве самобытной институциональной среды.

Само понятие «институт» представляется достаточно размытым, что, собственно, отражает многообразие мнений академического сообщества по поводу его определения. Наиболее разнятся подходы традиционного институционализма и институционализма современного. Понятие экономического института встречается уже в первых работах традиционных институционалистов по классической политической экономии. В частности, Томас Гоббс в своем знаменитом труде «Левиафан» трактует формирование базовых политических институтов как результат заключения социального контракта между людьми, которые жили в обществе без государства и наносили в погоне за выгодой ущерб друг другу [3]. В отличие от Гоббса, Густав Шмоллер двояко трактует понятие «институт». С одной стороны, он говорит об институтах как об обычных формах хозяйствования (к примеру, рынок, предприятие, государство), отождествляя, в этом случае, их с организациями. С другой стороны, Шмоллер говорит о соглашениях и других стереотипах поведения, которые он рассматривает в контексте существующих идей, моральных норм и законов. В этом случае Шмоллер отождествляет институты с правилами [4]. Т. Веблен трактует институты как «установившиеся обычаи мышления, общие для заданной общности людей» [5, с.201-202]. Также под институтами Т. Веблен понимал привычные способы реагирования на стимулы, структуру производственного или экономического механизма, принятую в настоящее время систему общественной жизни. Таким образом, для традиционных институционалистов было свойственно отождествлять институты с организационными формами деятельности людей – индивидуальной (в виде привычных стереотипов поведения) и коллективной (в виде разного рода организаций).

Современные институционалисты рассматривают институт не как организацию, а как нечто высшее отдельных участников взаимодействия. Однако среди современных институционалистов также нет единого представления об институте. Одни рассматривают его как правила, другие – как равновесия. Подход к институтам как к правилам находит свое отображение в работах В. Хофелда и Дж. Коммонса. В работах Дж. Коммонса понятие института, организации и правила тесно связаны и имеют универсальное значение применительно к разным уровням социальной и экономической жизни. Дж. Коммонс определяет институт как «коллективную деятельность, призванную контролировать индивидуальную деятельность» [6, с.16]. Таким образом, институты представляют собой правила игры, а не конкретных игроков. Этим же позиций придерживался и Д. Норт.

Согласно Дугласу Норту, любой институт – экономический, социальный, культурный – есть правило игры в обществе, дополненное механизмом принуждения к его исполнению. Согласно его точке зрения, «институты включают в себя как формальные, так и неформальные ограничения (общепризнанные нормы поведения, достигнутые соглашения, внутренние ограничения деятельности), так и определенные характеристики принуждения к выполнению тех и других» [7, с.7]. Тем не менее, существует и еще один подход к анализу институтов. Эндрю Шоттер рассматривает институты как равновесия, что, по его мнению, позволяет выявить потенциальные источники институциональных изменений. По Шоттеру, институты – это равновесия в стандартной повторяющейся координационной игре. «... То, что мы называем социальными институтами, – это не правила игры, а скорее альтернативные нормы поведения, или условности, сформировавшиеся вокруг некой игры с определенными правилами. Другими словами, для нас институты – это свойства равновесного состояния игры, а не свойства самой игры. Нам важно не содержание правил, а то, как их выполняют игроки» [8, с.155].

Однако, возвращаясь к рассмотрению институтов с точки зрения совокупности ролей и статусов, предназначенных для удовлетворения определенной потребности, можно разделить их в качестве господствующих и стандартизированных общественных привычек. Помимо привычек важную роль играют правила, то есть совокупность общепризнанных предписаний. Природа же правил, составляющих существо институтов, по мнению современных институционалистов, позволяет разделить их на формальные и неформальные. Формальным институтам соответствуют формальные правила, санкции за нарушение которых носят организованный характер. Напротив, неформальным институтам соответствуют правила неформальные, и наказание за отклонение от них реализуется спонтанным образом [9, с.102].

Неформальные институты возникают из информации, передаваемой посредством социальных механизмов, и в большинстве случаев являются культурой. Возникая как средство координации человеческого взаимодействия, неформальные ограничения являются продолжением и развитием формальных правил, социально санкционированными нормами поведения, а также внутренними, обязательными для исполнения стандартами поведения. Формальные институты рассматриваются чаще всего в одном контексте с правами собственности. Формальные институты могут быть внешними, устанавливающими в хозяйственной системе основные правила, например, институт собственности, и внутренними, которые делают возможными сделки между субъектами, снижают степень неопределенности и риска, уменьшают трансакционные издержки (например, договора, платежные или кредитные средства). Более подробно сущностные характеристики институтов представлены в таблице.

Исходя из приведенных характеристик института, можно определить и основные институциональные функции, которые заключаются, главным образом, в координации, кооперации, дележе и распределении издержек и выгод. Согласно Д. Норту, «главная роль, которую институты играют в обществе, заключается в уменьшении неопределенности путем установления устойчивой (хотя и не обязательно эффективной) структуры взаимодействия между людьми» [10, с.21]. Все вышеперечисленные институциональные характеристики и функции свойственны транснациональной корпорации, следовательно, целью корпорации как института является упорядочение взаимоотношений между хозяйствующими единицами, составляющими корпорацию, а также между участниками деятельности корпорации. Крупная корпорация является гарантом стабильности и безопасности рынка (снижения рисков, связанных с его непредсказуемостью). Рынок – это стихия, он не контролируем, подвержен переменам. Когда на рынке хозяйствуют несколько крупных корпораций, рынок становится более управляемым и предсказуемым. Крупные корпорации диктуют моду, новые тенденции, управляют развитием НТП, а значит, и спросом на новую продукцию. И хотя это влияние неоднонаправленное и существуют риски неприятия потребителями новых товаров и технологий, все же они существенно ниже, чем в случае осуществления аналогичной дея-

тельности мелкими компаниями на свободном рынке. Детальный анализ функционирования крупных корпораций приводит к важному выводу: свободный рынок, понимаемый как стихийное взаимодействие спроса и предложения и установление равновесной цены, не выгоден никому. Даже потребители предпочли бы плановый механизм свободному рынку. Плановость – значит предсказуемость. На предсказуемом рынке легче жить и планировать свое будущее. Государство тем более заинтересовано в стабильном и плановом характере рынка, гарантирующем выполнение обязательств перед обществом [11, с.15].

Компаративная характеристика формальных и неформальных институтов¹

Основная классификация	Формальные институты	Неформальные институты
Видовое содержание	– политические (конституция, законы, правовые нормы, распоряжения, постановления) – экономические (права собственности) – системы контракции (способы и порядок заключения контрактов, регулируемые правовыми нормами и законами)	– социальные (образование, религия, семья) – культурные (традиции, обычаи, системы ценностей, формирующие ментальные модели поведения, экономическую культуру, хозяйственную этику)
Природа возникновения	возникают на базе существующих неформальных правил и механизмов, трансформируясь со временем в установление их узаконенных прототипов; возникают путем импортирования новых институтов	возникают из информации, передаваемой посредством социальных механизмов
Особенности становления	могут иметь как экзогенный (внешний), так и эндогенный (внутренний) характер становления. Экзогенный характер проявляется в процессе импортирования новых институтов, эндогенный – в процессе узаконивания неформальных правил и ограничений. Могут быть приняты принудительно, иметь спонтанный характер	как правило, доминирует эндогенный (внутренний) характер становления, поскольку неформальные правила и ограничения возникают внутри относительно замкнутых социокультурных общностей на базе культурных ценностей, традиций и обычаев. Не могут быть приняты спонтанно
Сущностные характеристики	являются обязательными к исполнению, легко воспринимаемыми и понятными по содержанию. Тяготеют к унификации	для них характерна некая статичность и устойчивость, противостояние трансформациям, тяготеют к персонификации и уникальности, могут быть трудно воспринимаемыми и осмысляемыми
Механизмы принуждения	осуществляются на основе применения системы права	осуществляются на основе внутренних ограничений, самоконтроля, социально санкционированных норм поведения
Санкции	государственная система всеобщего принуждения	внутренние санкции (самобичевание, угрызение совести); социальное осуждение (потеря уважения, порча репутации); исключение из группы (социальный остракизм)

¹ Таблица разработана автором.

Исходя из подхода к институту, корпорации, как совокупности правил игры, а не конкретных игроков, следует привести одну из попыток классификации данных правил, лежащих в основе институтов, предложенную Э. Остром. Согласно Остром, правила определяют, какие действия или ситуации для участников взаимоотношений являются необходимыми, запрещенными или разрешенными. Цель правил – упорядочить конкретные взаимоотношения и сделать их предсказуемыми [12].

По классификации правила включают:

– возможные позиции участников или роли участников (в корпорации данные роли и позиции могут быть представлены в качестве служебной иерархии, в основе которой лежит организационная и функциональная субординация);

– порядок занятия и оставления участниками этих позиций (в корпорации данный порядок регулируется решениями собраний акционеров и совета директоров, а также должностными инструкциями и трудовыми соглашениями);

– действия, которые сотрудники организации могут, должны и не должны предпринимать, и результаты, которых могут, должны и не должны добиваться (в корпорации действия сотрудников определяются не только формальными должностными инструкциями, но и такими неформальными механизмами принуждения как миссия организации, кодекс корпоративного поведения, составляющими сущность корпоративной культуры организации, которую можно определить в качестве системы общих ценностей и убеждений, позволяющей членам организации понимать ее задачи и порождающей правила поведения в ней.) При этом необходимо отметить, что эти правила задают лишь рамки, в которых участники делают выбор, а не предписывают, какой именно выбор они должны сделать (т.е. их поведение).

Также ТНК можно представить и в качестве своеобразной институциональной системы, которая имеет специфическую структуру, включающую в себя различные институты (формальные и неформальные). Напомним, что формальными институтами во внутренней среде корпорации являются документы, определяющие основные цели и формы деятельности сотрудников корпорации; неформальные институты представляют собой недокументарные правила поведения, традиции и формы взаимоотношений во внутренней и внешней среде корпорации; а механизмами по соблюдению правил являются службы организации, в функции которых входит регламентация поведения и контроль за соблюдением правил в корпорации.

В то же время корпорация как целостная институциональная система и как часть экономической системы функционирует в определенной институциональной среде. В институциональной теории до сих пор не сложилось единого мнения по поводу точности определений «институциональная структура» и «институциональная среда». Часто эти понятия отождествляются. Д. Норт использует понятие «институциональная структура» в рамках анализа процесса институциональных изменений и трансформации институциональной структуры [7]. С.А. Кузьминов рассматривает «институциональную структуру» как множество институтов, регулирующих отдельные аспекты жизнедеятельности общества [13]. С. Кирдина отождествляет институциональную структуру с институциональным порядком и определяет ее как совокупность взаимосвязанных институтов [14].

Более точное разграничение понятий «институциональная структура» и «институциональная среда» представлено в работе В.В. Вольчика. Автор считает институциональной структурой определенный набор институтов, создающих матрицы экономического поведения, определяющих ограничения для хозяйствующих субъектов, которые формируются в рамках той или иной системы координации хозяйственной деятельности [15]. Под институциональной средой В.В. Вольчик понимает особого рода институт (матрицу развития) высшего порядка. Она в его представлении определяет основное направление развития системы, а также ориентиры, на основе которых происходит формирование и отбор наиболее эффективных экономических и социальных институтов. Институциональная среда не является простым набором соответствующих ее типу институтов. Она определяет направление и

быстроту институциональных изменений, выступая в качестве вектора развития высшего порядка. Институциональная структура является результатом метаконкуренции, институциональная среда создает условия и ориентиры отбора эффективных элементов институциональной структуры из альтернативных форм экономической координации.

Все вышеперечисленные институциональные признаки характерны для транснациональной корпорации. В сущности, термин «транснациональный» отражает главное изменение в структуре мирового рынка товаров и услуг – переход к новой стадии конкуренции, которая влияет на функционирование практически всех отраслей экономики. Особенно следует обратить внимание на то, что в настоящее время ТНК превращается в институт, лоббирующий интересы глобальной экономики, получив возможность определять развитие важнейших отраслей мирового хозяйства, а также способствовать серьезным институциональным трансформациям в структуре национальных экономик принимающих стран. Это стало следствием того, что сама мировая экономика превращается в самостоятельный субъект, действующий на поле национальных государств. В результате проникновения глобальной корпорации на национальный рынок принимающей страны осуществляется импорт институтов – тех «правил игры» (норм трудового и антимонопольного законодательства, принципов налогообложения, принципов маркетинга и менеджмента, практик заключения контрактов и т.д.), которые сформировались в развитых странах. Меняется и сама институциональная среда, в которую ТНК привносят новую систему права, морали, этики и соответствующих им непротиворечивых формальных и неформальных институтов. Таким образом, правомерно заключить, что глобальные корпорации как экономико-политические институты являются главными носителями и инициаторами институциональных трансформаций в структуре национальных экономик принимающих стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бортова М.П. Современные проблемы транснационализации производства и капитала / М.П. Бортова // Менеджмент в России и за рубежом. 2000. № 3. С. 8-15.
2. Денисов А.Ю. Экономическое управление предприятием и корпорацией / А.Ю. Денисов, С.А. Жданов. М.: ДИС, 2002. 356 с.
3. Hobbs T. Leviathan / T. Hobbs. Harmondsworth: Penguin Books, 1968 (в рус. пер. см., например: Гоббс Т. Левиафан // Т. Гоббс. Избр. произведения: в 2 т. М.: Мысль, 1964. Т. 2. 320 р.
4. Schmoller G. Grundriss der Allgemeinen Volkswirtschaftslehre: 2 Bd. / G. Schmoller. Berlin: Duncker & Humblot, 1923. Bd. 1. 420 p.
5. Веблен Т. Теория праздного класса / Т. Веблен. М.: Прогресс, 1984. 300 с.
6. Шаванс Б. Типы и уровни правил в организациях, институтах и системах / Б. Шаванс // Вопросы экономики. 2003. № 6. С. 4-22.
7. Норт Д. Институциональные изменения: рамки анализа / Д. Норт // Вопросы экономики. 1997. № 3. С. 6-17.
8. Schotter A. The Economic Theory of Social Institutions / A. Schotter. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 512 p.
9. Кузьминов Я.И. Курс институциональной экономики: институты, сети, трансакционные издержки, контракты / Я.И. Кузьминов, К.А. Бендукидзе, М.М. Юдкевич. М.: ГУ ВШЭ, 2006. 442 с.
10. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / Д. Норт. М.: Начала, 1997. 250 с.
11. Бекетов К.В. Институциональный подход к теории современной корпорации / К.В. Бекетов // Экономический анализ: теория и практика. 2008. № 21(126). С. 13-16.
12. Ostrom E. An Agenda for the Study of Institutions / E. Ostrom // Public Choice. 1986. Vol. 48. P. 3-25.

13. Кузьминов С.А. К реформированию институциональных структур в России / С.А. Кузьминов // Экономическая наука современной России. 2003. № 1. С. 99-111.

14. Кирдина С. Институциональная структура современной России: эволюционная модернизация / С. Кирдина // Вопросы экономики. 2004. № 10. С. 89-99.

15. Вольчик В.В. Курс по институциональной экономике / В.В. Вольчик. Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2000. 386 с.

Кузнецова Анна Александровна –
аспирант кафедры
«Туризм и культурное наследие»
Саратовского государственного университета
им. Н.Г. Чернышевского

Kuznetsova Anna Aleksandrovna –
Post-graduate student of the Department
of «Tourism and Cultural Heritage»
of Saratov State University
in the name of N.G. Chernyshevsky

Статья поступила в редакцию 12.01.09, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 33

С.А. Мироседи

МАЛОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Обоснована необходимость использования малого предпринимательства, как стратегического ресурса, способного обеспечить достижение социально-экономического благосостояния нации. Рассматриваются этапы и условия его формирования, меры поддержки со стороны государства. Выявлены факторы конкурентного преимущества малого предпринимательства и перспективы взаимодействия малого и крупного бизнеса. Определены основные условия дальнейшего развития малого предпринимательства в России.

Малое предпринимательство, условия формирования.

S.A. Miroseydy

SMALL BUSINESSES – A STRATEGIC RESOURCE OF THE RUSSIAN ECONOMY

The article considers the need for small businesses as a strategic resource that can achieve the social welfare state of the nation. It considers the steps and conditions of its formation, the measures of support for settings of the state. The author identifies the factors of competitive advantage of small business and prospects for interaction between small and large businesses. She determines the basic conditions for the further development of small businesses in Russia.

Small business, formation condition.

Финансовый кризис, ввергнувший российский бизнес в тяжелое экономическое состояние, повлек за собой резкое снижение объемов производства, сокращение численности работающих, переход на сокращенную рабочую неделю, отправку работников в вынужденные отпуска. Как следствие – увеличение безработицы, падение жизненного уровня населения. Все эти симптомы, знакомые каждому россиянину по постперестроечному периоду, вызывают массу поводов для размышления на актуальную тему: как стабилизировать экономическую систему страны, улучшить показатели ее деятельности, повысить жизненный уровень народа.

Все надежды возлагаются на стабилизационный фонд, который должен помочь пережить трудные времена. Однако все более очевидным становится тот факт, что одними вливаниями из стабилизационного фонда нарастающие как снежный ком проблемы не решить. Латание дыр в экономике страны приводит к появлению новых. В кризисной ситуации все ждут от правительства решительных мер по стабилизации экономики, поскольку традиционно регулирование кризисов осуществлялось вначале на макроуровне через государственные институты. Затем затрагивался мезоуровень, и только после этого подключалась микроэкономика, выработывающая на основе государственных мер по ее регулированию и поддержке, свои механизмы реорганизации, реструктуризации, диверсификации и т.п., позволяющие отдельно взятому предприятию адаптироваться к новым условиям, выжить, и затем развиваться далее.

Сегодня, имея за плечами почти 20-летний опыт выживания в условиях нестабильной и большей частью кризисной ситуации, можно предложить подход к решению проблемы, основанный не на макроэкономическом регулировании, а на массовом развитии предпринимательства. Мировой опыт свидетельствует, что основная масса валового продукта создается в малых и средних предприятиях. В таких развитых странах как Великобритания, Германия, США, Италия, Франция и Япония эта доля превышает 50%-ный уровень. Вклад в ВВП российского малого бизнеса, составивший в 2008 году около 17%, несомненно, недостаточен. По мнению Б.З. Мильнера, ни один из факторов экономического роста и существенного увеличения ВВП по своей значимости и масштабу не может сравниться с развитием малого предпринимательства [1, с.204].

В развитии российского предпринимательства можно выделить пять этапов, связанных с развитием макроэкономических процессов:

1-й этап (1989-1991 гг.) – связан с процессом либерализации и спонтанной приватизации, отсутствием институциональной поддержки малого предпринимательства. Именно этот период отмечен быстрым ростом числа малых предприятий. Связано это, скорее всего, с энтузиазмом, который в россиянах поддерживался надеждами на улучшение жизни за счет своих предпринимательских возможностей. А также тем, что начинающему бизнесу предоставлялись значительные налоговые льготы, и имелась возможность приобрести оборудование приватизируемых предприятий по остаточной стоимости, что являлось существенным стимулом, в условиях, когда стартовый капитал у предпринимателей практически отсутствовал.

2-й этап (1992-1994 гг.) – связан с экономической либерализацией на макроуровне и обязательной приватизацией малых предприятий муниципалитетами. Отличается замедлением роста числа малых предприятий. Обещанная в тот период государством помощь в развитии малого предпринимательства, в основном, носила декларативный характер, что не способствовало росту числа малых предприятий.

3-й этап (1995-1997 гг.) – период относительной макроэкономической стабильности и формирования институциональной базы развития малого предпринимательства. Роста числа малых предприятий при этом не наблюдалось. Недостаток оборотных средств у предприятий, взаимные неплатежи в этот период привели к развалу и банкротству многие крупные предприятия. Малые предприятия, примерно в одинаковой пропорции как образовывались, так и закрывались, не выдерживая жестких экономических условий.

4-й этап (1998-2000 гг.) – связан с финансовым кризисом 1998 г., изменением рынков в результате девальвации, значительным сокращением программ поддержки малого пред-

принимательства, снижением инвестиций в основной капитал. При этом отмечается увеличение доли среднесписочной численности работников малых предприятий. Это говорит о том, что именно малые предприятия на этом этапе взяли на себя функцию снижения уровня безработицы.

5-й этап (2001-2008 гг.) – период роста экономики. С 2003 г. введена упрощенная система налогообложения, стимулирующая крупные предприятия к проведению реорганизации в форме выделения малых предприятий с целью снижения налоговой нагрузки. Вводятся реальные меры государственной поддержки малого предпринимательства. Наблюдается незначительный рост развития предпринимательства.

Анализ основных тенденций в развитии малого предпринимательства дает основание сделать вывод о том, что наиболее активными являются 1-й, 4-й и 5-й периоды. Периоды 1-й и 4-й связаны с кризисной ситуацией в экономике, которая, как стимул к выживанию, подталкивала малый бизнес к активным действиям. Период 5-й демонстрирует реальные результаты усилий государства.

Недооценка роли и социально-экономического потенциала малого предпринимательства, недостаточное внимание к проблемам его развития можно охарактеризовать как стратегический просчет и одновременно как неиспользованный до сих пор в полной мере резерв. То есть, в нынешней ситуации малое и среднее предпринимательство можно рассматривать как потенциальный стратегический ресурс, способный быстро сформировать новые рабочие места, снизить безработицу, решить вопрос бедности большей части населения России. Для этого необходимо в корне изменить отношение к малому предпринимательству, как со стороны государства, так и со стороны крупного бизнеса.

В рамках реализации курса по активизации социально-экономического развития страны в последние годы повышенное внимание уделялось мерам по стимулированию малого бизнеса. Это дало свои результаты, и количество малых предприятий в России за период с 2000 года по 2008 год возросло с 891 тыс. до 1136,2 тыс. единиц, что дало прирост 27,5%. В среднем ежегодный прирост составил 3,4%, однако необходимо отметить, что основной прирост был получен в 2006 году – 5,5% и 2007 году – 10%. Доля занятых на малых предприятиях в период с 2000 года по 2008 год соответственно изменилась с 10 до 18,8% в общей среднесписочной численности занятых в РФ, что дало среднегодовой прирост – 1,1%. Структура занятости свидетельствует, что в России обеспечение рабочими местами на 81,2% происходит за счет крупных предприятий. Европейские корпорации обеспечивают занятость только на 34,2%.

Принимая во внимание слова президента о том, что к 2020 году средний класс России должен составить 60-70% населения, с целью обеспечения в стране стабильности, экономической самостоятельности, законопослушности и лояльности по отношению к существующему социальному порядку, необходимо отметить, что существующие тенденции развития малого бизнеса не позволят этого достичь. Если к тому же учесть, что указанные положительные тенденции начинают снижаться под воздействием факторов, обусловленных кризисными явлениями, набирающими силу со второй половины 2008 года, то становится ясно, что решить эту проблему можно только при условии создания беспрецедентно льготных условий для развития малого бизнеса.

С 1 января 2008 года вступил в силу Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации», внесший определенность в отношении субъектов малого предпринимательства и определивший его категории, исходя из средней численности. Предприятия с численностью до 100 человек – это малые предприятия, внутри которых выделяются микропредприятия, имеющие численность до 15 человек, от 101 до 250 человек – средние предприятия. Это позволит обеспечить сопоставимость критериев отнесения малых и средних предприятий с показателями развитых стран ЕС и установить упрощенные административные процедуры для микропредприятий. Изменились критерии доли участия в уставном (складочном) капитале (паевом фонде). Субъектами малого предприни-

мательства не смогут стать юридические лица, у которых доля участия иностранных граждан и иностранных юридических лиц в уставном капитале превышает 25%, а также суммарная доля участия субъектов РФ, общественных и религиозных организаций, благотворительных и иных фондов превышает 25%. Новым является критерий, ограничивающий сумму выручки от реализации товаров (работ, услуг) без учета НДС или балансовую стоимость активов (остаточную стоимость основных средств и нематериальных активов) за предшествующий календарный год. Эти предельные значения будут устанавливаться Правительством РФ для каждой категории малого и среднего предпринимательства один раз в пять лет. Сейчас к микропредприятию относится фирма с годовым оборотом до 60 млн. руб., к малому предприятию – до 400 млн. руб., к среднему – до 1000 млн. руб. Все эти ограничения не позволят крупному бизнесу воспользоваться льготами, предусмотренными для малых и средних предприятий, а также обеспечат некоторую стабильность развития малого и среднего бизнеса и поддержку со стороны государственных и муниципальных образований.

В соответствии с проводимой в последние годы Правительством Российской Федерации реформой бюджетного процесса и реформой государственного управления, было принято решение о возобновлении программ поддержки малого предпринимательства за счет средств федерального бюджета. С 2005 года начата полномасштабная программа финансовой поддержки. На эти цели в бюджете Российской Федерации было предусмотрено на 2005 год 1,5 млрд. руб., 2006 – 2,5 млрд. руб., 2007 – 3,5 млрд. руб., 2008 – 3,5 млрд. руб. на реализацию первоочередных мер по стимулированию роста субъектов малого предпринимательства, включая крестьянские (фермерские) хозяйства. На 2008-2010 годы предполагалось выделить 12,6 млрд. рублей средств федерального бюджета.

По оценкам специалистов, в ближайшие годы в России должна сформироваться венчурная индустрия, позволяющая привлечь дополнительный стартовый капитал на ранних стадиях жизненного цикла предприятия, являющихся, в основном, малыми. Начало этому процессу положило государство, учредив в 2006 году Российскую венчурную компанию. Сейчас создается сеть из 10-15 венчурных фондов с совокупным капиталом в 30 млрд. руб. Суммарный объем государственной поддержки составит около 15 млрд. рублей.

Для инвестирования компаний ранних стадий в секторе информационных технологий в 2006 году было создано ОАО «Российский инвестиционный фонд информационно-коммуникационных технологий», капитал которого сформирован в размере 1,5 млрд. руб., объем инвестиций достиг \$ 2-3 млн.

Для развития малых форм предприятий в научно-технической сфере Правительством Российской Федерации создан Фонд, в который из бюджета выделено на 2008 г. – 1,6 млрд. руб., 2009 г. – 2,1 млрд. руб., 2010 г. – 2,5 млрд. руб.

Кроме того, при финансовой поддержке Министерства экономического развития РФ и региональных органов власти, создан Российский ЕвроИнфоКорреспондентский Центр на базе Российского агентства поддержки малого и среднего бизнеса в соответствии с соглашением между Генеральным директоратом по предпринимательству и промышленности Европейской Комиссии и Российским агентством поддержки малого и среднего бизнеса. В его функции входит распространение информации о Евросоюзе, содействие в установлении деловых связей и продвижение российских предприятий на европейский рынок, предоставление информации о требованиях и возможностях рынков Евросоюза и России, о программах и проектах поддержки предпринимательства, финансируемых Евросоюзом. С 01.01.07 в Евросоюзе начата реализация новой программы – «Программа конкурентоспособности и инноваций». Программа рассчитана на 2007-2013 гг. с бюджетом € 3,6 млрд. Ее цель – повышение конкурентоспособности европейских малых и средних предприятий, в том числе посредством использования инноваций и интернационализации. Российский малый и средний бизнес теперь также имеет возможность участвовать в этой программе.

Внимание развитию малого бизнеса определяется тем, что малый бизнес:

– является важным элементом, способствующим развитию конкуренции и обеспечивающим необходимую гибкость экономике, быстро реагируя на появление новых потребностей;

– эта та среда, в которой формируются и впоследствии «вырастают» средние предприятия и крупные корпорации;

– это своеобразный «полигон» для инноваций, что является особенно важным для успеха инновационного развития экономики;

– это база для формирования среднего класса, а значит, для создания в стране социального общества, заинтересованного в политической стабильности, развитии демократических основ, повышении качества человеческого капитала.

В настоящее время правительством реализуется масса национальных проектов и программ, которые имеют разнонаправленный характер, но в условиях кризиса это вряд ли сможет привести экономическую систему в целом к высокоэффективному развитию.

Если говорить об оценке эффективности любой системы, то главным будет являться результат, который по отношению к социально-экономической системе представляет собой сложное понятие, определяющееся факторами деятельности конкретной системы.

В нынешнем состоянии российской экономики важно определить цель в форме будущего результата, к которому стремились бы все и который объединил бы всех участников этой системы. Такой целью могла бы стать предпринимательская деятельность, поддержанная адресными кредитами из стабилизационного фонда любому гражданину РФ, пожелавшему заняться бизнесом и обеспечить себя и свою семью средствами к существованию в условиях спада производства и нарастающей безработицы. Это также позволит привлечь и реализовать один из важнейших факторов развития экономики – человеческий капитал, инновационную активность и ответственность людей, вовлекаемых в предпринимательскую деятельность, что послужило бы мощнейшим толчком к переходу на новый уровень развития, как малого предпринимательства, так и экономики в целом.

Пока основной составляющей российской экономики являются крупные корпоративные образования, которые в условиях кризиса теряют свое главное качество, определяющее их жизнеспособность в окружающей среде – конкурентоспособность.

В связи с этим исключительную актуальность приобретает интеграция малого и крупного бизнеса, которая сегодня является одним из наиболее перспективных направлений рыночных преобразований в России. Актуальность интеграции определяется возможностью нивелировать недостатки крупных корпораций за счет их взаимодействия с малым бизнесом, обладающим определенными конкурентными преимуществами в рыночных условиях. К факторам конкурентных преимуществ малого бизнеса можно отнести:

– отсутствие традиционного для крупных предприятий разделения прав и функций между собственниками и наемными менеджерами;

– способность быстро адаптироваться к изменяющейся конъюнктуре рынка, осваивать новые виды продукции, переориентироваться на другие категории клиентуры, а при необходимости осуществить полное репрофилирование уставной деятельности;

– лучшие возможности в инновационном проектировании и экспериментальном внедрении инноваций;

– более высокую скорость обновления технологий;

– способность оперативно «заполнять» рыночные ниши, в которых крупный бизнес малоэффективен;

– возможность индивидуального подхода к обслуживанию клиента;

– более низкую стоимость создания рабочих мест;

– способность брать на себя риск, от которого предпочитают уклоняться крупные предприятия;

– вовлечение в производство материальных и финансовых средств населения;

– возможность вовлечения в общественное воспроизводство дополнительных трудовых ресурсов (пенсионеров, несовершеннолетних, многодетных матерей и т.п.), которых большинство работодателей не может обеспечить постоянной работой и даже пополняет их ряды, путем сокращения работников предпенсионного возраста;

– способность формировать «средний класс» и «вырастить» до размеров крупных корпораций.

В формировании российской модели взаимодействия малого и крупного бизнеса важную роль сыграли способы и экономические механизмы образования малых предприятий. На начальном этапе становления рыночных отношений малые предприятия образовывались в результате:

– непосредственного дробления крупных предприятий (более 30%);

– создания дочерних фирм при крупном предприятии для решения конкретных задач, функционирования «материнского» предприятия;

– создания автономных фирм, которые впоследствии становились аффилированными структурами крупных предприятий;

– консолидации физических лиц (предпринимателей, объединявших свои капиталы для совместной деятельности).

На этом этапе формирования взаимоотношений крупного и малого бизнеса, малые предприятия выполняли особые функции. В большинстве своем они становились «серыми» структурами, позволяющими крупным фирмам лучше приспособиться к сложным условиям переходного периода и решать такие проблемы как: скупка приватизационных чеков и акций приватизируемого предприятия; накопление капиталов с использованием экономических механизмов трансфертных цен; проблемы неплатежей и т.п.

Основываясь на опыте прошлых лет, можно сказать, что развитие малого предпринимательства было и остается особенно актуальным для малых и средних городов России. Крупные предприятия в период экономических реформ оказались в кризисном состоянии, а некоторые вообще обанкротились, что осложнило процесс выживания городов. Резко сократились источники пополнения доходной части их бюджетов, увеличилась безработица. В этих условиях малое предпринимательство сыграло роль амортизатора, позволившего уменьшить социальное напряжение в обществе. Инициатива людей, влившихся в сферу малого предпринимательства, помогла не только выжить им самим, но и уменьшить зависимость городских бюджетов от поступлений градообразующих предприятий.

Испытывающие серьезные экономические трудности крупные предприятия проводили реструктуризацию имущественного комплекса, путем вывода неиспользованных основных фондов за пределы баланса с целью дальнейшей их сдачи в аренду, продажи, создания самостоятельных структурных подразделений и т.п. Часть этих основных фондов попала к предпринимателям, что позволило развивать такие производственные отрасли предпринимательства, как машиностроение, строительство, транспорт и др. Необходимо обратить внимание на тот факт, что степень износа выбывавших в процессе реструктуризации основных фондов (особенно активной их части), составляла более 50%. Тем не менее, они эффективно использовались в сфере малого предпринимательства. Данный феномен объясняется тем, что предприниматели модернизировали основные фонды, внедряли инновации, создавали различные приспособления и т.п. Это позволило им какое-то время выпускать конкурентоспособную продукцию. Однако в дальнейшем их потенциал окажется исчерпанным, и предприятия столкнутся с необходимостью технологического перевооружения.

Малые предприятия помогают функционировать крупным предприятиям в эффективном режиме, т.к. благодаря своей гибкости и возможности быстрее адаптироваться к изменениям, они выполняют функцию «разведки» товарных рынков с последующим их освоением. Во всех развитых странах мелкие фирмы вовлечены в орбиту предприятий-гигантов. Такое сотрудничество позволяет восполнить пробелы в деятельности как малых, так и крупных

предприятий. Малое предпринимательство нуждается в поддержке крупных предприятий, т.к. именно они могут стать реальными источниками вложений, рынком сбыта продукции, а также поставщиками предпринимателей-лидеров.

Сфера малого предпринимательства ориентирована преимущественно на нужды своего региона, приоритеты которого находятся в сфере производства, инновационной деятельности, строительства, социальных услуг. Его развитие позволит диверсифицировать структуру экономики городов, ориентированную на удовлетворение потребностей населения, и сделать ее более эффективной и устойчивой.

В современной мировой практике мелкие предприятия, сохраняя свою экономическую и юридическую самостоятельность, успешно взаимодействуют с представителями крупного бизнеса, рассматривая их как стратегических партнеров. Причем последние часто сами инициируют образование мелких фирм, особенно на новых научно-технологических направлениях, оказывая им всестороннюю поддержку. Такие действия поощряются государством путем льготного налогообложения капитала, вкладываемого крупными фирмами в развитие малых предпринимательских структур.

Малое предпринимательство освобождает крупные фирмы от мелкосерийной продукции, занимается поиском, доработкой и пробным освоением новых изделий. Крупные корпорации заинтересованы в использовании технического и квалификационного потенциала малых фирм, в то время как малые фирмы в свою очередь нуждаются в финансовой поддержке корпораций. Например, кооперация в сфере НИОКР позволяет крупным предприятиям значительно сократить период разработки принципиально новых видов продукции (нередко с 10-15 до 4-6 лет) и увеличить долю новых товаров в общем объеме продаж. Частный сектор инвестирует в инновационные предприятия малого бизнеса огромные средства: ежегодный объем капиталовложений венчурных фондов США оценивается в 3-4 млрд. долларов.

В экономически развитых странах предприятия малого бизнеса не просто охвачены системой кооперационных связей с крупным бизнесом: они – неотъемлемая часть производственной структуры крупных корпораций. Кооперация крупного и малого предпринимательства как главная составляющая этого процесса в настоящее время охватывает все области их экономической деятельности: производственную (субподряд), производственно-сбытовую (франчайзинг), инновационную (венчурное финансирование), производственно-финансовую (лизинг).

Одной из форм интеграции крупного и малого бизнеса является формирование так называемой подсистемы «планетарного типа», когда вокруг крупнейшего партнера возникает «гравитационное поле» в виде заказов, кредитов, инвестиций и других ресурсов, притягивающее малые предприятия, стремящиеся интегрироваться в это поле. Нередко за этим этапом наступает другой, предполагающий полное поглощение, скупку и даже прекращение самостоятельного существования малых компаний. В российской практике это достаточно распространенное явление, что вызывает негативные ассоциации у предпринимателей и недоверие как к кооперации с крупными предприятиями, так и к венчурным фондам.

Опираясь на зарубежные источники, можно отметить, что поглощение мелких фирм дает корпорациям все меньший экономический эффект. Крупные фирмы стараются восполнить отрицательные стороны своей деятельности, связанные с недостатком гибкости и мобильности, окостенением производственной структуры, при помощи постоянных связей с малым бизнесом, на основе кооперации, а не конкуренции. Конкурентная борьба и стремление к большей эффективности побуждает малые фирмы использовать достижения и возможности крупного капитала, оба сектора экономики сближаются друг с другом.

Такую тенденцию можно прогнозировать и в России. Однако для создания эффективных форм кооперации необходимо развитие франчайзинга, холдинговых структур, предпри-

нимательских союзов и ассоциаций, усиление роли базовых корпораций, координирующих единый научно-производственный цикл и способных предложить для коммерческой реализации законченный проект.

Особые перспективы имеет развитие предпринимательских сетей. Это альянсы малых и крупных предприятий, которые совместно, на основе долгосрочных контрактов организуют разработку, производство, сбыт, а также послепродажное обслуживание сложной продукции. Они не теряют своей независимости, не создают сложных структур управления, ограничиваясь логистическими центрами.

Для более эффективной работы крупных предпринимательских структур необходимо постоянное «дыхание в спину» со стороны вновь создаваемых энергичных и активных высокотехнологичных предприятий, которые на начальном этапе своего развития только и могут быть малыми или средними.

Какие бы проблемы взаимодействия крупного и малого бизнеса ни рассматривались, какие бы передовые технологии ни внедрялись, в конечном счете, речь идет о кооперации, о достижении большей эффективности за счет сложения потенциалов и более разумном их использовании.

Мировой опыт показывает, что рациональное соотношение между крупным и малым предпринимательством зависит от целого ряда факторов, включая культурно-исторические традиции, правовую основу, менталитет общества, природно-климатические особенности и др.

К факторам, сдерживающим процесс интеграции малого и крупного предпринимательства в России, можно отнести:

- спад производства в сфере крупного бизнеса, т.к. крупный бизнес создает условия для функционирования малого бизнеса;
- несовершенство нормативно-правовой базы;
- противопоставление малого и крупного бизнеса как конкурентов, а не компаньонов по бизнесу;
- паразитирование крупных предприятий на малых (владея недвижимостью, крупные компании сдают малым предприятиям площади в аренду по высокой стоимости; несвоевременно осуществляют расчеты за выполненные работы и др.);
- отстранение государства от участия в формировании местных и центральных органов (союзов, ассоциаций и т.п.), координирующих работу отдельных групп крупных и мелких предприятий и др.

Различные меры поддержки, постоянно осуществляемые Правительством Российской Федерации, пока не смогли обеспечить качественную динамику роста общего числа субъектов малого предпринимательства и увеличения их вклада в экономику страны. Очевидно, что для ускорения темпов экономического роста, развития инноваций, ликвидации дисбаланса в развитии территорий, в борьбе с бедностью, необходимо стимулировать создание новых малых предприятий, повышать их конкурентоспособность, увеличивать занятость работников в данном секторе экономики. Решение этой проблемы видится в создании следующих основных условий для развития малого бизнеса:

- на период становления (2-3 года), а также внедрения инновационных проектов, предоставление безналогового режима функционирования;
- в первый год работы предоставление льготных условий аренды помещений, находящихся в муниципальной собственности;
- льготный налоговый режим для инновационных и работающих в слабо развитых отраслях промышленности предприятий;
- создание благоприятных возможностей получения кредитов;
- формирование инфраструктуры специальных услуг для оказания помощи в организационных, консультационных и других аспектах.

Несомненно, наличие таких условий вызовет мощный приток предпринимателей и позволит значительно увеличить их долю в ВВП.

Основанием к этому выводу могут служить результаты исследований, проведенные российской национальной командой, работавшей в рамках проекта Международного научно-исследовательского Консорциума GEM. По их данным, Россию, несмотря на наличие ряда неблагоприятных для развития предпринимательской активности средовых ограничений, можно охарактеризовать как страну со средним, по сравнению с другими странами мира, уровнем предпринимательской активности населения. При этом самооценка инновационности предпринимательства оказалась достаточно высокой, что говорит о желании работать в новой сфере деятельности, выпускать новые виды продукции и т.п. [2, с.35].

Необходимо также уделить внимание совершенствованию методов взаимодействия малого и крупного бизнеса в России на основе взаимовыгодного сотрудничества, изучения и распространения передового как российского, так и зарубежного опыта. Все это позволит изменить соотношение малого и крупного бизнеса в структуре российской экономики, выйти на новый уровень социально-экономического развития и, наконец-то, достичь тех целей, ради которых была затеяна перестройка всей экономической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегический ответ России на вызовы нового века / под общ. ред. Л.И. Абалкина. М.: Экзамен, 2004. 360 с.

2. Образцова О.И. Предпринимательский потенциал российского общества: Россия в global entrepreneurship monitor / О.И. Образцова // Вопросы статистики. 2007. № 7. С. 31-38.

Мироседи Светлана Андреевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и менеджмент» Волжского политехнического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета

Mirosedi Svetlana Andreyevna – Candidate of Sciences in Economics, Assistant Professor of the Department of «Economics and Management» of Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 658.1:658.52

О.Л. Морозова, И.Ю. Куприянова

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАЛОГО БИЗНЕСА

На базе SWOT-анализа исследована внешняя и внутренняя среда малых предприятий, выявлены конкурирующие преимущества, дающие малым предприятиям возможность более эффективного функционирования по сравнению с крупными. Структурированы особенности функционирования малого предприятия.

Малые предприятия, управление, анализ, внешняя и внутренняя среда.

O.L. Morozova, I.Yu. Kupriyanova

THE ANALYSIS OF FUNCTIONING FEATURES OF THE SMALL BUSINESS ENTERPRISES

This is the research of small enterprises' external and internal environment on the basis of the SWOT-analysis. The competing advantages which give the chance to small enterprises of more effective functioning in comparison with the large are revealed. The features of the small enterprise functioning are structured.

Small enterprises, management, the analysis, the external and internal environment.

Малый бизнес находится в центре интересов современного общества, затрагивает жизнь всего населения. В системе экономических и социальных отношений большинства государств малое предпринимательство выполняет сегодня важнейшие функции. В производстве товаров народного потребления, а также пищевой промышленности все сильнее акцент смещается на малые предприятия. В этой сфере производится основная часть валового внутреннего продукта, обеспечивается занятость большинства работающего населения. Благодаря ему возник и приобрел свой современный вид так называемый «средний класс» – важнейший фактор социально-политической стабильности современного общества.

В работе сделана попытка определения влияния на функционирование малых предприятий внешней и внутренней среды.

Источником жизненной силы любой организации является её внутренняя среда. Она включает в себе потенциал, который даёт возможность организации функционировать, а, следовательно, существовать и выживать. Но внутренняя среда может также быть и источником проблем и даже гибели организации в том случае, если она не обеспечивает необходимого функционирования организации. Это особенно важно ввиду сложившегося в настоящее время финансового кризиса. Малый бизнес в этой ситуации оказывается в двойственном положении: с одной стороны, кризис больше всего бьет именно по небольшим компаниям, у которых нет резервов, а с другой – в отличие от «монстров» малые предприниматели более гибко ведут себя на рынке, а многие ниши, в которых они работают, востребованы и во время кризиса. Выживет небольшая компания или нет – зависит от многих факторов, в частности, от качества работы в докризисное время и от гибкости действий руководителя, и от вовремя проведенного анализа состояния предприятия.

Источником, питающим организацию ресурсами, необходимыми для поддержания её потенциала на должном уровне, является внешняя среда, с которой организация находится в состоянии постоянного обмена, обеспечивая тем самым себе возможность выживания. Но ресурсы внешней среды не безграничны, и на них претендуют многие другие организации, находящиеся в этой же среде. Поэтому всегда существует возможность того, что организация не сможет получить нужные ресурсы из внешней среды. Это может ослабить её потенциал и привести ко многим негативным для организации последствиям. Задача стратегического управления состоит в обеспечении такого взаимодействия организации со средой, которое позволяло бы ей поддерживать её потенциал на уровне, необходимом для достижения её целей, и тем самым давало бы ей возможность выжить в долгосрочной перспективе.

Для того, чтобы определить стратегию поведения организации и реализовать эту стратегию, руководство должно иметь углублённое представление как о внутренней среде организации, её потенциале и тенденциях развития, так и о внешней среде, тенденциях её развития и месте, занимаемом в ней организацией. При этом внутренняя среда изучается для того, чтобы вскрыть сильные и слабые стороны организации, а внешнее окружение изучается

стратегическим управлением, в первую очередь для того, чтобы вскрыть те угрозы и возможности, которые организация должна учитывать при определении своих целей и при их достижении.

Изучение внутренней среды направлено на уяснение того, какими сильными и слабыми сторонами обладает организация. Сильные стороны служат базой, на которую организация опирается в конкурентной борьбе и которую она должна стремиться расширять и укреплять. Слабые стороны – это предмет пристального внимания со стороны руководства, которое должно делать всё возможное, чтобы избавиться от них.

Учитывая все «плюсы» и «минусы» малых предприятий, для определения перспектив развития организации воспользуемся SWOT-анализом (анализом сильных и слабых сторон, возможностей и угроз), который поможет структурировать имеющуюся информацию о данной форме экономической деятельности и рынке и по-новому взглянуть на текущую ситуацию и определить перспективы развития малых предприятий (см. таблицу).

SWOT-анализ малого бизнеса как модели экономической самостоятельности

Сильные стороны	Слабые стороны
Гибкая реакция на быстро меняющийся спрос Небольшой стартовый капитал Более короткие сроки капитального строительства Быстрая оборачиваемость средств Оперативный режим управления Быстрая адаптация к внешним воздействиям и местным условиям Снижение уровня безработицы Трудоустройство представителей социально уязвимых групп населения Надежный источник бюджетных поступлений Осуществление инновационных проектов Создание конкурентной среды	Недостаток финансовых ресурсов Отсутствие кадров, специально подготовленных для МБ Часто низкая квалификация кадров Ограниченный (локально) рынок Ограниченные перспективы роста Высокая зависимость от превратностей конъюнктуры Отсутствие влиятельной поддержки Нестабильность малого предприятия по сравнению с крупными предприятиями
Возможности	Угрозы
Рост до уровня крупного бизнеса Прочная ниша на «своем» рынке Творческая самореализация	Быстрота полного разорения Легкость проникновения конкурента в выбранную нишу Уязвимость перед попытками силового давления Авторитарный менеджмент

Проведенный анализ показал, что, во-первых, малый бизнес обеспечивает необходимую мобильность в условиях рынка, создает глубокую специализацию и кооперацию, без которых немислима его высокая эффективность. Во-вторых, он способен не только быстро заполнять ниши, образующиеся в потребительской сфере, но и сравнительно быстро окупаться. В-третьих, – создавать атмосферу конкуренции. В-четвертых, он создает ту среду и дух предпринимательства, без которых рыночная экономика невозможна. К тому же малое производство экономичнее за счет более эффективного использования следующих внутренних факторов:

– *Производственный фактор.* У малых предприятий, по сравнению с крупными, короче сроки капитального строительства, для их создания нужен относительно меньший стартовый капитал. Оборачиваемость средств у них в два-два с половиной раза выше, что обеспечивает достаточно высокую норму прибыли. Эти предприятия обычно лучше используют свой капитал, оборудование и производственные площади, не держат крупных запасов;

– *Организационно-управленческий фактор*. Малые предприятия успешнее экономят на административно-управленческих расходах благодаря простоте и гибкости процедуры управления; способны к быстрым и эффективным переменам в производственном аспекте; оперативно реагируют на изменения рыночной конъюнктуры;

– *Личностный фактор внутренней эффективности малого предприятия*. Вследствие объединения в одном лице собственника и управленца руководители малых предприятий имеют более высокий, чем руководители крупных предприятий, уровень личной мотивации в повышении эффективности работы предприятия, более заинтересованы в главном результате деятельности своей фирмы, а именно, в максимизации прибыли.

Возможность эффективного функционирования малых форм производства определяется рядом их преимуществ по сравнению с крупным производством:

– формирование конкурентных, цивилизованных рыночных отношений, способствующих лучшему удовлетворению потребностей населения и общества;

– расширение ассортимента и повышение качества товаров, работ, услуг. Стремясь к удовлетворению запросов потребителей, малый бизнес способствует повышению качества товаров, работ, услуг и культуры обслуживания;

– приближение производства товаров и услуг к конкретным потребителям;

– содействие структурной перестройке экономики. Малое предпринимательство придает экономике гибкость, мобильность, маневренность;

– привлечение личных средств населения на развитие производства. Партнеры в малых предприятиях вкладывают свои капиталы в дело с большей заинтересованностью, чем в крупных;

– создание дополнительных рабочих мест, сокращение уровня безработицы;

– содействие более эффективному использованию творческих возможностей людей, раскрытию их талантов, развитию различных видов ремесел, народных промыслов;

– вовлечение в трудовую деятельность отдельных групп населения, для которых крупное производство налагает определенные ограничения (домохозяйки, пенсионеры, инвалиды, учащиеся);

– формирование социального слоя собственников, владельцев, предпринимателей;

– активизация научно-технического прогресса;

– освоение и использование местных источников сырья и отходов крупных производств;

– производство малыми партиями, что невыгодно крупным фирмам;

– содействие крупным предприятиям путем изготовления и поставки комплектующих изделий и оснастки, создание вспомогательных и обслуживающих производств;

– освобождение государства от низкорентабельных и убыточных предприятий за счет их аренды и выкупа.

Кроме того, небольшое предприятие обладает рядом управленческих преимуществ, например:

– возможностью гибкой корректировки целей ведения бизнеса и оперативного перераспределения сфер ответственности;

– исключением лишних звеньев управления;

– неразвитостью иерархических структур, и, следовательно, отсутствием множества бюрократических процедур, свойственных крупному предприятию;

– информационной целостностью, что объясняется относительно небольшими потоками информации, в которых нет запутанности и дублирования, присущих крупным предприятиям;

– более тесной связью каждого работника с конечными результатами своего труда.

На основании вышеизложенного была разработана структура особенностей функционирования малого предприятия, представленная на рисунке.

Особенности малых предприятий

Не связаны обширной производственной программой

Не обременены многочисленным персоналом

Способны перестраивать рыночную стратегию

Оперативный режим управления

Освоение научно-технических новшеств, оригинальных нововведений

Гибкость приспособления к рыночной конъюнктуре

Мгновенная реакция на изменение спроса

Активное внедрение новых технологий

Способность рисковать

Детальное знание своей клиентуры

Модернизация оборудования

Региональная дифференциация производства

Повышение социальной роли

Формирование среднего класса

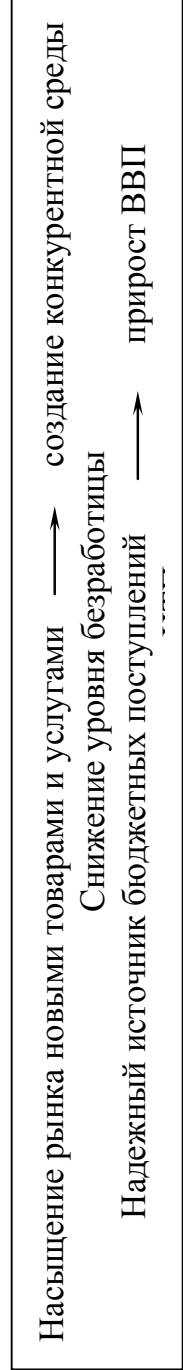
Меньшая стойкость создания рабочих мест

Трудоустройство социально уязвимых групп населения

Отношения по принципу «большой семьи»

Быстрое привлечение новых клиентов и способность удерживать уже существующих

Создание дополнительных рабочих мест
Высокая интенсивность трудового процесса



Особенности функционирования малых предприятий

Морозова Ольга Леонидовна –
преподаватель кафедры
«Метрология и сертификация»
Курского государственного
технического университета

Morozova Olga Leonidovna –
Lecturer of the Department
of «Metallurgy and Certification»
of Kursk State Technical University

Куприянова Ирина Юрьевна –
кандидат технических наук, доцент,
заведующая кафедрой
«Метрология и сертификация»
Курского государственного
технического университета

Kupriyanova Irina Yuryevna –
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, Head of the Department
of «Metallurgy and Certification»
of Kursk State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 656.13

И.М. Попова

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АУТСОРСИНГ КАК МЕХАНИЗМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Рассматривается система городских пассажирских перевозок. Исследуются организационно-экономические, административные взаимосвязи и отношения участников системы городских пассажирских перевозок. Особое внимание уделяется логистическому аутсорсингу как элементу гармонизации работы городских пассажирских перевозок.

Логистический аутсорсинг, логистический центр, гармонизация, энтропия, городские пассажирские перевозки, муниципальные власти, региональные власти.

I.M. Popova

LOGISTICAL OUTSOURCING AS AN IMPROVEMENT MECHANISM OF A CITY PASSENGER CARRIAGE

The article describes systems of city passenger carriage. Organizational and economic and administrative relationships of the participants of city passenger carriage are researched here. Certain attention is given to logistical outsourcing as to the element of stabilization of city passenger carriage.

Logistical outsourcing, logistical center, harmony, entropy, city passenger carriage, municipal authorities, regional authorities.

Сфера городских пассажирских перевозок (ГПП) имеет социально значимый характер, прежде всего связанный с обеспечением перевозок населения города, в том числе и выполнением социального заказа местных и региональных властей по перевозке льготных категорий граждан. ГПП формируются на основе регионального и местного законодательства, в соответствии с которым организуется процесс допуска предприятий к перевозке, осуществляются контроль и возмещение потерь от перевозки льготных категорий граждан. По существующему законодательству региональные власти отвечают за финансирование работы городского пассажирского транспорта, а муниципальные – за организацию маршрутов и их распределение между перевозчиками. В некоторых ситуациях муниципальные и региональные власти работают несогласованно, что приводит к неэффективной организации городских пассажирских перевозок. Современное состояние системы ГПП с учетом произошедших на рынке транспортных услуг (РТУ) преобразований характеризуется наличием реальных проблем, и в первую очередь, – это отсутствие единой системы управления ГПП, что приводит к неэффективной работе подвижного состава, повышенной загрузке транспортной сети города, что в целом неблагоприятно сказывается на качестве обслуживания пассажиров. Эффективность функционирования системы ГПП во многом будет зависеть от гармоничной работы региональных и муниципальных властей города, реализуемой единым центром управления. Под гармонизацией, таким образом, понимается процесс, который позволяет интегрировать возможности муниципальных и региональных властей для эффективного функционирования системы ГПП.

Гармонизация ГПП, обеспечивающая требования, предъявляемые пассажирами, возможна при наличии комплексного, постоянно действующего мониторинга рынка и адаптации системы управления ГПП к изменяющимся условиям.

При росте подвижности внешней среды и усилении конкуренции, роль гармонизации в работе муниципальных и региональных властей будет возрастать.

Ряд авторов определяют гармонизацию функционирования системы как процесс достижения поставленной цели при наличии энергоресурсов, организационных структур технологических процессов, системы управления, с одной стороны, и возмущающих воздействий, оказываемых окружающей средой, с другой стороны.

Механизм гармонизации может осуществляться различными способами в зависимости от средств реализации.

Существующая система ГПП проявляет черты разобщенности между участниками и не имеет тенденций к гармоничному сочетанию механизмов управления. Обособленность перевозчиков и органов управления отрицательно сказывается на качестве обслуживания пассажиров. Таким образом, для преодоления создавшейся ситуации нужен поиск механизмов, обеспечивающих необходимый уровень гармонизации взаимодействия муниципальных и региональных властей при организации и управлении ГПП. Современные подходы располагают обширным набором моделей.

Для гармонизации взаимоотношений муниципальных и региональных властей в сфере управления ГПП наиболее перспективным является использование концепции логистического аутсорсинга.

Внедрение стратегии логистического аутсорсинга требует оценки степени технического оснащения предприятия, его организационной структуры и психологической готовности непосредственных исполнителей к переходу на новую модель функционирования.

Применительно к системе ГПП логистический аутсорсинг следует рассматривать как приобретение у третьей стороны услуг по управлению городскими пассажирскими перевозками в составе пассажиропотоков, а также и информационными потоками, потоками движения материальных, финансовых и трудовых ресурсов.

В данном случае в качестве аутсорсера будет выступать логистический центр управления ГПП (ЛЦ).

Для успешного внедрения стратегии логистического аутсорсинга необходимо, прежде всего, четко сформулировать задачи, которые будут решаться логистическим центром. На основании поставленных целей должны быть выработаны критерии оценки успешности функционирования логистического центра. Применение стратегии логистического аутсорсинга позволяет перевозчикам сконцентрировать финансовые потоки и управление на основных видах деятельности, не отвлекаясь на второстепенные функции. Прежде всего, это координация и регулирование работы всех видов общественного транспорта: муниципального и частного, городских и пригородных автобусов, троллейбусов, трамваев, маршрутных такси, а также постоянный мониторинг пассажиропотоков, унификация тарифов и билетов на проезд в разных видах транспорта.

Кроме того, ЛЦ должен разработать программу повышения эффективности проводимых конкурсов для муниципального и областного бюджетов, прозрачности финансовых потоков, качества обслуживания пассажиров и следить за её реализацией. Наконец, он должен осуществлять перспективное планирование развития транспорта и контроль за его работой. Контроль касается, прежде всего, типажа (количества, конфигурации, характеристик – числа стоящих и сидячих мест, экологических параметров) автобусов на каждом маршруте, графиков движения, дислокации остановок, тарифов.

Таким образом, ЛЦ является структурой, которая осуществляет сугубо технологические (с точки зрения организации перевозочного процесса), управленческие функции и функции контроля. Структурно ЛЦ состоит из следующих элементов: отдела маркетинговых исследований, центральной диспетчерской службы, юридического, финансового отделов, контрольно-ревизионного и отдела организации перевозок, службы персонала, бухгалтерии, отдела логистики (рис. 1).

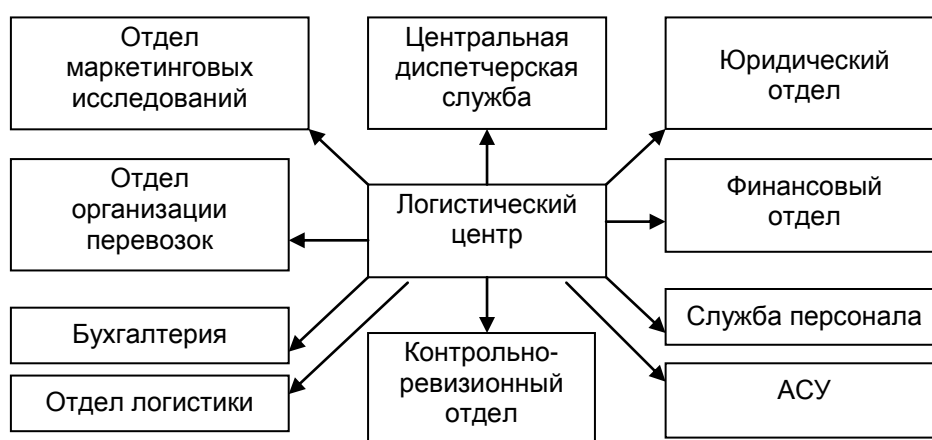


Рис. 1. Структура логистического центра

Непосредственно выполнение перевозок становится целью работы компаний перевозчиков. При функционировании системы перевозчики взаимодействуют с логистическим центром и передают ему несвойственные виды работ, выполнение которых происходит с участием специалистов центра. Логистический центр, оказывая услуги, отличные от основного профиля, должен координировать работу между перевозчиками посредством центральной диспетчерской службы.

Реализация предложенного подхода рассматривается на примере системы ГПП г. Саратова. Основными участниками процесса оказания услуг ГПП являются следующие компании: Кировское трамвайное депо, Заводское трамвайное депо, Ленинское троллейбусное депо, Кировское троллейбусное депо, ОАО САП, ОАО Межгородтранс, ОАО СГАТП 6, ООО «Альянс-авто», частные коммерческие перевозчики.

При использовании математического аппарата расчета энтропии определялась целевая, максимальная энтропия и, в целом, организованность системы управления городскими пассажирскими перевозками. Гармонизация системы ГПП характеризуется изменением уровня организованности при использовании стратегии аутсорсинга.

Взаимодействия и установившиеся связи между участниками системы городских пассажирских перевозок показаны на рис. 2.

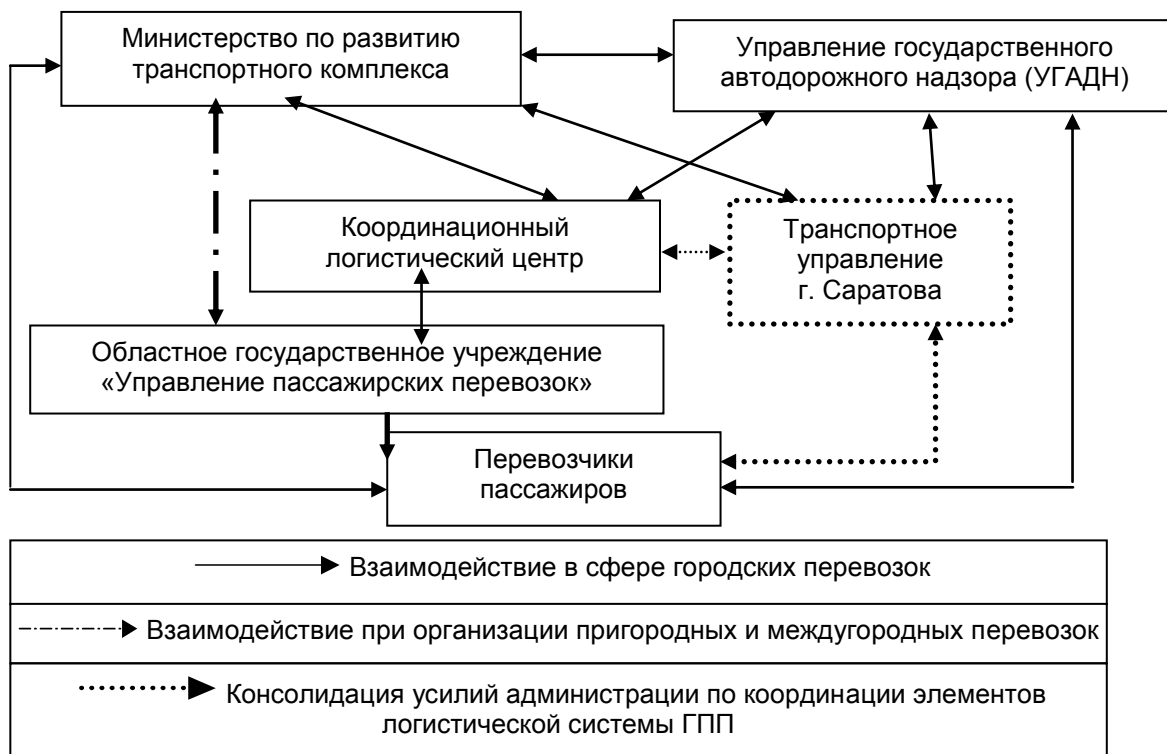


Рис. 2. Схема взаимодействия между участниками ГПП

Преимущества использования логистического аутсорсинга выражаются увеличением показателей организованности при передаче только одной функции на аутсорсинг с 0,26 до 0,51. Графически изменение показателей организованности функционирования системы ГПП в целом представлено на рис. 3.

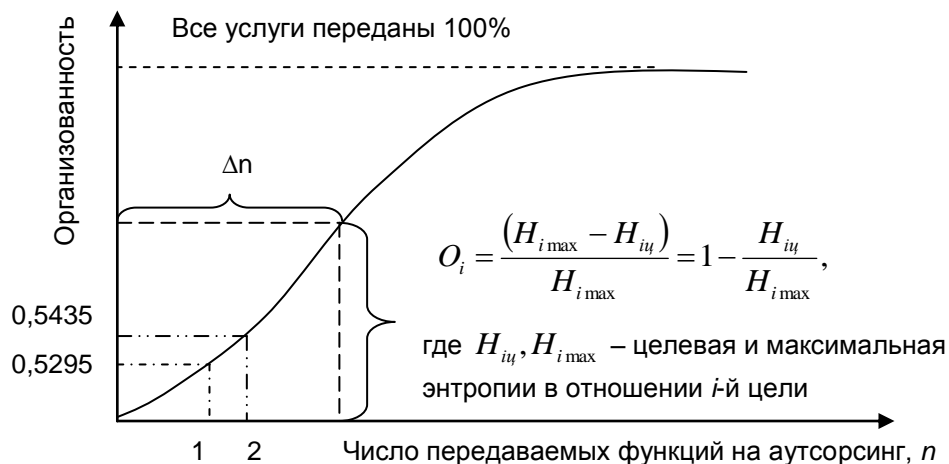


Рис. 3

В соответствии с выработанными рекомендациями не только происходит адаптация системы ГПП к изменениям внешней среды, но и соответствующим образом осуществляются изменения внутри самой системы. Таким образом, делегирование прав и обязанностей для взаимодействия различных органов организационной структуры и распределение задач позволит гармонизировать отношения между субъектами системы ГПП и повысить уровень организованности системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клочков В.Н. Адаптация и конкурентоспособность автотранспортных систем в рыночных условиях / В.Н. Клочков. СПб.: СПбГИЭА, 1999. 215 с.

2. Лукинский В.С. Логистика автомобильного транспорта: концепции, методы и модели / В.С. Лукинский, В.И. Бережной. М.: Финансы и статистика, 2004. 280 с.

Попова Ирина Михайловна –
ассистент кафедры «Организация перевозок
и управление на транспорте»
Саратовского государственного
технического университета

Popova Irina Mikhaylovna –
Assistant of the Department
of «Organization of the Carriage
and Management on Transport»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 11.02.09, принята к опубликованию 11.03.09

СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

УДК 36+316.35

А.В. Галахова

СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ СЕМЕЙ С ДЕТЬМИ-ИНВАЛИДАМИ В СВЕТЕ КЛЮЧЕВЫХ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

Социальный капитал является важным ресурсом индивидов и групп. Автор рассматривает особенности социального капитала социально уязвимой группы – семьи, воспитывающей ребёнка с ограниченными возможностями – в рамках основных социологических парадигм. Анализируются факторы, препятствующие накоплению социального капитала семьи ребёнка-инвалида, и обозначаются перспективы его укрепления.

Дети-инвалиды, семья, социальный капитал.

A.V. Galahova

THE SOCIAL CAPITAL OF FAMILIES WITH HANDICAPPED CHILDREN THROUGH SOCIOLOGICAL THEORIES

The social capital is the important resource of individuals and groups. The author considers features of the social capital of socially vulnerable group - families, bringing up a child with the limited opportunities within the framework of the basic sociological paradigms. The factors interfering accumulation of the social capital of family of the children with disorders are analyzed in the article, and prospects of its strengthening are designated.

Handicapped children, family, social capital.

В сложившейся в настоящее время социально-экономической ситуации в нашей стране в фокусе интересов государства оказывается социальная сфера. Институту семьи, который за последние десятилетия претерпел значительные изменения, отводится особая роль в системе социальных институтов. Мы можем отметить позитивные изменения, произошедшие за последние годы в социальной сфере, в том числе в вопросах, касающихся семьи и детства. Однако часть граждан нашего государства не смогли адаптироваться к новым условиям и влиться в контекст современного устройства общества. В том числе социально и экономически дезадаптированными остаются семьи, воспитывающие ребёнка с ограниченными возможностями (ОВ). Особые условия, в которых оказались такие семьи, во многом опреде-

ляют специфичность их существования в различных сферах: бытовой, социальной, трудовой, экономической. В каждой из этих сфер обнаруживается особая уязвимость семьи ребёнка-инвалида.

Семья, в которой рождается ребёнок с ОВ или, в силу определённых обстоятельств, получает инвалидность, сталкивается с множеством трудностей и проблем. Несомненно, инвалидность ребёнка является стрессом для семьи, порой сила эмоциональных переживаний побуждает к резкому ограничению социальных контактов, изоляции от внешнего мира, т. е. происходит разрыв даже существующих социальных связей. Необходимость постоянного ухода за особым ребёнком создаёт трудности социально-экономической адаптации семьи, члены которой зачастую вынуждены изменить образ жизни, привычки, сменить сферу занятости или оставить работу. Таким образом, значительно ограничивается взаимодействие ребёнка-инвалида и его семьи с окружающим миром, происходит разрыв части социальных связей, поддержание социального капитала семьи и тем более его накопление становится затруднительным.

Социальный капитал является достаточно сложным понятием, которое ввёл П. Бурдье для обозначения социальных связей, выступающих ресурсом получения выгод [11]. В социологической литературе ключевые позиции при рассмотрении социального капитала занимают доверие, взаимная ответственность, общие системы норм и ценностей, гражданская вовлечённость. Одним из первых типологию социального капитала предложил Дж. Коулман, определив его составляющие: социальные сети, социальные нормы, доверие, общие ожидания, взаимопонимание и альтруизм. Он понимал социальный капитал как форму социальной организации, при которой структура отношений между людьми облегчает действия по достижению определенных результатов, целей [4].

Рассматривая социальный капитал в аспекте инвалидности, мы обнаруживаем особую роль обозначенных Коулманом составляющих: «социальные сети», «взаимопонимание», «доверие» и считаем важным продолжить этот ряд понятиями «социальные связи», «социальная активность», «социальные (общественные) представления, установки». Последний термин достаточно близок к предложенной Коулманом составляющей «социальные нормы», однако необходимо отметить следующее: то, что является принятой социальной нормой в конкретном обществе, не всегда находит прямое отражение (проекцию) в реальных жизненных практиках представителей данного общества. Именно в аспекте инвалидности обнаруживается существенное расхождение между заявленными нормами (уважение личности инвалида и его семьи, признание и обеспечение равных прав и возможностей) и жизненными реалиями (нарушение прав, сегрегация, стигматизация).

Рассмотрим социальный капитал семей, воспитывающих детей-инвалидов с точки зрения основных теоретических концепций.

Функционалистский подход. Социальные связи выполняют функцию каналов, с помощью которых ребёнок с ОВ и его семья могут включаться в социум, участвовать в общественной жизни и, наконец, просто общаться. Социальный капитал семьи является ресурсом, открывающим доступ к определённым возможностям и благам: поддержка, финансовые средства и т.д. и может быть использован для достижения определённых целей.

Важнейшими функциями социального капитала являются: обеспечение индивиду или группе людей ряда преимуществ в разных сферах жизнедеятельности: преимущества в достижении жизненных целей, расширение доступа к информации, повышение шансов трудоустройства и карьерного роста, широкие возможности получения образования, доступ к получению разнообразных услуг, доступ к материальным ресурсам, возможность решения части проблем индивида другими лицами; защита себя, семьи, имущества; обеспечение более обширного доступа к разнообразным благам; расширение возможностей социальной идентификации; предоставление шансов достижения результатов, невозможных при его отсутствии.

Как правило, явные функции социального капитала отражают его позитивные стороны (характеристики), однако социальный капитал может выступать средством манипулирования и достижения социально неодобряемых целей, таким образом, вскрываются латентные функции социального капитала [9]: использование людей как средства достижения цели, налаживание связи с определёнными лицами для решения социально негативных задач, манипулирование другими людьми средствами социального капитала (социальные связи как угроза), перекладывание ответственности на других лиц, уход от решения проблем.

Из социального капитала можно извлечь выгоду только в случае его активного использования, таким образом, важными становятся такие аспекты как социальная активность и субъективные установки индивида, от которых зависит, насколько социальный капитал будет «работать» на человека и его окружение (семью). Однако когда речь идёт о семье, воспитывающей ребёнка-инвалида, субъективная составляющая «социальная активность» оказывается в значительной степени зависимой от объективных факторов. Несмотря на тот факт, что в настоящее время «российская социальная политика ориентирует инвалидов на активную позицию в отношении занятости, независимой жизни» [7, с.17], семья ребёнка-инвалида становится объектом поддержки и заботы, остаются нерешёнными множество проблем, которые снижают социальную активность инвалидов, затрудняют формирование социальных связей: неприспособленность городских улиц и учреждений для безопасного и беспрепятственного перемещения, проблемы с техническими приспособлениями (плохое качество или отсутствие), зачастую недружественное отношение окружающих (непонимание, неприятие, насмешки), да и нередко просто страх, убеждённости, что дома безопаснее. Ситуацию непризнания «здоровыми» членами социума инвалидов как равноправных членов общества мы рассматриваем как аномию [6], которая наряду с вышеописанными проблемами препятствует формированию социальных связей.

Следует отметить, что существенная роль в накоплении социального капитала семьи принадлежит социальным институтам. Непосредственное и опосредованное участие в конструировании социальных связей ребёнка с ОВ и его семьи могут принимать государство, семья, трудовые организации, учреждения образования и воспитания, СМИ и т.д.

Институт государства призван обеспечить семье ребёнка-инвалида поддержку и защиту посредством государственных гарантий, законодательных механизмов, рычагов власти. Несомненно, проводимая государственная политика определяет возможности особой семьи и принимаемые на высшем уровне решения при их адекватной реализации способны внести существенные изменения в характер участия особой семьи в социальных сетях, в том числе в сфере социально-коммуникативных практик.

Социальный институт образования во всём мире является одним из главных каналов восходящего перемещения по социальной лестнице, посредством образования осуществляется организованная социализация индивидов. Априори доступ к данному социальному институту должен быть в равной степени обеспечен всем индивидам, однако, сегрегационные практики достаточно распространены и в сфере образования. Особенности развития ребёнка, инвалидность становятся индикатором его способностей, и образовательный маршрут немедленно сводится к специальному дошкольному учреждению, коррекционной школе или интернату. Однако именно институт образования имеет существенный потенциал для расширения возможностей социального взаимодействия индивида главным образом с помощью инклюзивных механизмов.

Институт рынка труда призван удовлетворить определённый спектр потребностей индивида и общества. Прежде всего, индивиды отдают предпочтение формам занятости, которые удовлетворяют их потребности в самореализации и/или материальные запросы. В случаях, когда речь идёт о семье ребёнка-инвалида, её члены оказываются в весьма затруднительном положении, т.к. собственные амбиции (самореализация) зачастую подавляются, отходят на второй план, а заработная плата в силу необходимости щадящих условий труда (гибкий

график, отгулы и больничные, дополнительные выходные дни), как правило, не соответствует реальным потребностям в финансовых ресурсах. Таким образом, трудовые организации и в целом данный институт призваны обеспечить, гарантировать условия занятости и оплаты труда, позволяющие членам семьи ребёнка-инвалида оставаться конкурентоспособными и довольно оплачиваемыми на рынке труда.

Немаловажное значение в конструировании социальных связей семьи ребёнка-инвалида и взрослых с инвалидностью принадлежит СМИ. Как известно, данный социальный институт имеет существенное влияние на общественность и обладает способностью проникновения в сознание граждан. В связи с этим, имея определённые рычаги влияния на общественность, СМИ могут «конструировать реальность», облачая конкретных персонажей в соответствующие образы и предлагая потребителю совершенно определённые сюжетные и информационные ряды. Позиционирование инвалидов как друзей, талантливых людей, хороших работников в определённых сферах, в том числе преуспевающих в бизнесе, женщин-инвалидов как объекта ухода, как хорошую, заботливую мать может ломать стереотипные представления о бесполезности и ущербности инвалидов, менять стигматизирующие установки в отношении инвалидов и их семей и способствовать расширению их социальных контактов.

Марксистский подход. В современном обществе, к сожалению, частично остаются представления буржуазного общества о ценности человека с точки зрения его полезности и, напротив, бесполезности для общества. В сознании людей прочно укрепились стереотипы: инвалид – значит бесполезный. В современной зарубежной литературе можно встретить так называемые «disablism» – подходы, условно переводимые как «инвалидизм», которые, по сути, дискриминируют людей с ОВ. «Инвалидизм» включает три основных положения: 1) человечество разделено на здоровых людей и людей с ОВ; 2) здоровые люди способнее людей с ОВ; 3) здоровые люди должны контролировать ресурсы и жизни людей с ОВ» [8, с.87]. Этот подход фактически лишает инвалидов возможности равноправного участия в социальной жизни.

В обществе инвалидам отводят статус больных или несчастных, которым необходимы исправление или изоляция – это так называемое медикалистское отношение. «Медицинская модель инвалидности достаточно распространена в обществе, она порождает множество мифов, которые выстраивают барьеры между инвалидами и другими людьми» [10, с.16], барьеры, в свою очередь, затрудняют возможность налаживания социальных связей людьми с ОВ и их семьями.

Недуги, несомненно, накладывают отпечаток на личность ребёнка, отражаются на его поведении, характере взаимодействия с окружающими, создавая определённые «барьеры» на пути детей-инвалидов и их семей к нормальной жизни, к их интеграции в общество. К возникновению барьеров, продуцирующих неравенство, уязвимость, препятствующих формированию социальных связей, приводят следующие факты:

1) люди с инвалидностью в силу особенностей здоровья (сенсорные нарушения, двигательные расстройства и т.п.) и ресурсных возможностей (доступ в Интернет, наличие качественных средств связи с внешним миром и т.п.) ограничены в получении информации (общей, о государственных социальных гарантиях и мерах поддержки инвалидов и т.д.);

2) специфика соматического и психического состояния взрослых и детей с инвалидностью зачастую приводит к расстройствам общения – так называемый коммуникативный барьер, что является одной из наиболее трудных социальных проблем, в особенности детей с инвалидностью;

3) дети-инвалиды имеют трудности с получением образования, их общение ограничивается рамками родительской семьи или ближайшего окружения (родственников); довольно часто школа ограничивает социальное взаимодействие, предписывая ребёнку-инвалиду домашнее обучение;

4) в современном российском обществе инвалидам и членам их семей всё труднее быть востребованными, конкурентоспособными на рынке труда; при трудоустройстве зачастую осуществляются попытки скрыть факт инвалидности; ограничение доступа к рынку труда трудоспособных членов семей инвалидов напрямую и косвенно ограничивает социальные связи семьи;

5) одним из наиболее труднопреодолимых барьеров является пространственно-средовой: множество преград ожидает людей с инвалидностью на улицах города, в общественном транспорте, люди с инвалидностью испытывают недостаток специальных качественных средств передвижения, информационных средств (необходимых детям и взрослым с сенсорными нарушениями), оборудования и приспособлений для бытовых процессов;

б) большое количество семей испытывают экономические трудности, а часть живут за чертой бедности; национальное обследование благосостояния и участия населения в социальных программах (НОБУС) отмечает, что следствием инвалидности является высокая концентрация бедности и уязвимости [1].

Проводя параллели с общими представлениями К. Маркса и его последователей о приоритете экономических мотивов и интересов, о преобладании материальных потребностей при организации поведения и деятельности людей, следует отметить, что семьи, воспитывающие ребёнка с ОВ, как правило, крайне нуждаются в финансовых средствах и согласно теории Маркса о том, что неудовлетворенные материальные потребности существенно стимулируют экономическую деятельность, побуждают людей к более интенсивному труду, перемене деятельности, дополнительной занятости [5], должны выбирать стратегии поведения, направленные на привлечение дополнительных финансовых средств за счёт занятости. Однако жизненные практики свидетельствуют о выборе иных стратегий. Необходимость постоянной заботы о ребёнке ограничивает возможности занятости, карьерного роста (зачастую матери меняют сферу занятости на менее престижную с соответствующим понижением уровня оплаты труда, либо уходят с работы, чтобы обеспечить ребёнку соответствующие уход и опеку); особая семья оказывается ограниченной в доступе к материальным ресурсам, в то же время, как правило, значительная доля семейного бюджета необходима для обеспечения ребёнка лекарственными средствами, лечения и т.п.

Таким образом, с одной стороны испытывая особую потребность в материальных ресурсах, семья ребёнка-инвалида оказывается ограниченной в доступе к этим ресурсам и имеет невысокие шансы на приумножение экономического капитала.

Интерпретативный подход. Рассматривая инвалидность как значимую проблему в масштабах всего человечества, которая имеет тенденцию укрупнения, т.к. в силу экологических и других причин число инвалидов во всём мире неуклонно растёт, мы не в праве не фокусироваться на микроконтекстах данного явления. Появление ребёнка-инвалида в семье, как правило, не может не сказаться на жизненном сценарии семьи, на семейном укладе, привычках, целях, мотивах и стратегиях социального поведения. С появлением ребёнка-инвалида семейные функции, в целом образ жизни часто деформируются. Многие родители испытывают подчас полное отчаяние, отгораживаются от окружающего мира. Такой ребёнок большую часть времени проводит дома. Известны факты практически полной изоляции таких семей, когда вследствие тяжёлого заболевания ребёнка семьи переезжают в отдалённые районы «подальше от глаз окружающих» и полностью посвящают себя больному ребёнку. Таким образом, в ряде случаев происходит практически полный разрыв социальных связей семьи. Тем не менее, жизненная практика свидетельствует об иных примерах, когда появление ребёнка-инвалида служит своего рода пусковым механизмом, побуждающим к определённой деятельности, приводит к активизации социального поведения членов семьи. Здесь существенную роль играют субъективные смыслы и практики. В этой связи следует обратиться к «понимающей социологии» М. Вебера, осуществляющего глубинный анализ практик и смыслов. Согласно его теории, «...специфически важным для понимающей социологии

является, прежде всего, поведение, которое, во-первых, по субъективно предполагаемому действующим лицом смыслу соотносено с поведением других людей, во-вторых, определено также этим его осмысленным соотношением и, в-третьих, может быть, исходя из этого (субъективно) предполагаемого смысла, понятно объяснено» [3, с.497]. Таким образом, характер социальных связей семьи ребёнка-инвалида обусловлен не только внешними факторами, но и внутренними мотивами и установками, которыми в большей степени и определяется стратегия поведения семьи. Среди субъективных факторов мы выделяем жизненные установки, воспитание, семейные традиции, влияние семьи, круг общения, внутренние побуждения, мотивацию. Проводя параллели с теорией М. Вебера, следует отметить, что стратегия поведения, с одной стороны, связана с внутренними мотивами и целями, с другой – соотносится с поведением других людей и определяется общественными установками (например, часть семей с детьми-инвалидами отрицают возможность обучения ребёнка в интернате лишь по причине боязни осуждения со стороны окружающих).

Важным аспектом накопления социального капитала является наличие стимула, мотивов. Как отмечает Г. Зиммель, взаимодействие складывается вследствие определённых влечений или целей [2], таким образом, стимулом для установления социальных связей должна стать возможность (перспектива) реализации конкретных целей. Как правило, в семьях, столкнувшихся с проблемой инвалидности ребёнка, важнейшим мотивом действий становится желание всевозможными способами помочь ребёнку, в большей степени все цели связаны с улучшением состояния ребёнка (общего и состояния здоровья), не менее значимы цели – удовлетворение его образовательных потребностей и обеспечение возможности его адаптации и социальной интеграции. Как правило, личные амбиции членов семьи и удовлетворение собственных потребностей отходят на второй план.

Заключение. Инвалидность ребёнка существенным образом сказывается на социальных связях семьи и её участии в социальных сетях и преимущественно негативно влияет на возможности накопления социального капитала. Предпринимаемые попытки по улучшению социально-экономического положения семей, воспитывающих детей с ОВ, не приводят к значительным положительным изменениям, социальная поддержка особой семьи остаётся недостаточной. Не решены множество проблем, которые практически исключают инвалидов и членов их семей из социального контекста: непригодность инфраструктуры городов для беспрепятственного перемещения людей с физическими ограничениями, экономические трудности, проблемы со специальными техническими средствами, дискриминационные общественные установки и стереотипы. Таким образом, достаточно обширный круг проблем остаётся нерешённым, очевидна необходимость разработки новых стратегий и подходов по созданию благоприятных условий особой семье. Рассмотрение социального капитала семей с детьми-инвалидами в свете ключевых социологических парадигм обеспечивает многоаспектное видение проблемы, позволяет выявить основные болевые точки и в перспективе наметить адекватные пути преодоления барьеров, которые препятствуют формированию социальных связей ребёнка-инвалида и его семьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доходы и социальные услуги: неравенство, уязвимость, бедность: кол. моногр. / рук. Л.Н. Овчарова. Независимый институт социальной политики. М.: ГУ-ВШЭ, 2005. 370 с.
2. Зиммель Г. Общение. Пример чистой или формальной социологии / Г. Зиммель // Избранное: в 2 т. Т. 2. Созерцание жизни. М.: Юрист, 1996. С. 486-500.
3. Избранные произведения / пер. с нем.; сост., общ. ред. и послесл. Ю.Н. Давыдова; предисл. П.П. Гайденко. М.: Прогресс, 1990. 808 с. (Социологич. мысль Запада).
4. Коулман Дж. Капитал социальный и человеческий / Дж. Коулман // Общественные науки и современность. 2001. № 3. С. 122-139.

5. Маркс К. Капитал / К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. 2-е изд. Т. 46. М.: Политиздат, 1960. 956 с.
6. Мертон Р.К. Социальная структура и аномия / Р.К. Мертон // Социс. 1992. № 2. С. 29-35.
7. Романов П.В. Политика инвалидности: социальное гражданство инвалидов в современной России / П.В. Романов, Е.Р. Ярская-Смирнова. Саратов: Научная книга, 2006. 260 с.
8. Социальная работа с инвалидами. Настольная книга специалиста / под ред. Е.И. Холостовой, А.И. Осадчих. М.: Ин-т соц. работы, 1996. 210 с.
9. Хрестоматия. Социология: классические и современные парадигмы. М.: АНКЦИЛ, 1998. 330 с.
10. Ярская-Смирнова Е.Р. Социальная работа с инвалидами / Е.Р. Ярская-Смирнова, Э.К. Наберушкина. СПб.: Питер, 2004. 316 с.
11. Bourdieu P. The forms of capital / P. Bourdieu // Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education / Ed. by J.G. Richardson. N.Y.: Greenwood Press, 1986. P. 241-258.

Галахова Анна Васильевна – аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета, ассистент кафедры «Логопедия и психолингвистика» Педагогического института Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

Galahova Anna Vasilyevna – Post-graduate student of the Department of «Social Anthropology and Social Work» of Saratov State Technical University, Assistant of the Department of «Logopedics and Psycho-Sociolinguistics» of the Pedagogical Institute of Saratov State University in the name of N.G. Chernyshevsky

Статья поступила в редакцию 18.11.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 008:316.722

Ю.Г. Едигарёва, С.М. Федюнина

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ / КОРПОРАТИВНАЯ КУЛЬТУРА В КОНТЕКСТЕ РАЗРЕШЕНИЯ ТРУДОВЫХ КОНФЛИКТОВ

Приведены результаты социологического исследования, отражающие экспликацию идеи Ж. Бодрийяра о том, что одним из истоков трудовых конфликтов является различное понимание сотрудниками содержания организационной / корпоративной культуры.

Корпоративная культура, организационная культура, трудовые конфликты.

Yu.G. Edigareva, S.M. Fedyunina

ORGANIZATIONAL / CORPORATE CULTURE IN THE CONTEXT OF LABOUR CONFLICTS SANCTION

In many working teams certain groups of the reasons, caused by the labor process, are the main source of disputed situations. The results of sociological research carried out by the focus-group method reflect an explication of Z. Bodrijja's idea that one of the sources of labor disputes is various understanding by the employees the organizational /corporate culture content.

Corporate culture, organizational culture, labor conflicts.

Изменение характера труда в постиндустриальном обществе может явиться предпосылкой возникновения трудовых конфликтов между старыми сотрудниками и «новичками» в ходе их совместной трудовой деятельности. Резкое ускорение темпов научного и технического развития обесценивает эмпирический опыт старших поколений и, тем самым, способствует перераспределению монополии на знание в пользу молодых, введению системы принудительного увольнения по возрасту [1, с.6]. Это связано, прежде всего, с тем, что основой постиндустриального общества выступает интеллектуальная технология, а его главными ресурсами – знания и информация. Трансформация индустриального общества в постиндустриальное знаменует переход от «экономики товаров» к «экономике информации».

Американский социальный философ Даниел Белл называет новое общество обществом знания, ключ к которому дает не трудовая теория стоимости, а теория стоимости, основанная на информации. В таком обществе сформировался и быстро растет особый слой носителей знания – класс профессионалов и технических специалистов. В его компетенции находится внедрение нововведений, инноваций, от которых полностью зависит рост производительности и конкурентоспособности. В постиндустриальном обществе складывается новая структура занятости, в которой доля лиц физического неквалифицированного труда существенно сокращается. Изменяются содержательность, масштаб и вектор направления духовной социализации как объективно необходимого условия группового бытия. Формирование личности требует от общества постоянного и сознательно организуемого совершенствования системы духовной социализации, преодоления застойных, традиционных, стихийно сложившихся ее форм, а также личностной мобильности конкретного индивида в отношении всего нового.

В этой ситуации мы считаем закономерным, что социальные конфликты сместятся из экономической сферы в сферу культуры. Поскольку «информированные люди» составят новый привилегированный слой; а те, кто останется «вне средств» информации, попадут в число «новых бедных», то и конфликт будет иметь актуальность между теми, кто укоренен в старой культуре, и представителями новой, информационной культуры.

Одна из причин возрастающего интереса к организационной / корпоративной культуре состоит в том, что ее анализ помогает понять процессы, происходящие внутри организации и объединяющие представителей различных субкультурных и профессиональных групп, имеющих нередко противоположные взгляды на социальные процессы как внутри организации, так и в обществе в целом.

На настоящий момент разработано множество подходов к осмыслению феномена социализации, нашедших свое отражение в трудах таких известных ученых, как Э. Дюркгейм, Ч. Кули, Дж. Мид, Ж. Пиаже, З. Фрейд, Э. Эриксон, Л. Выготский и др. Используемая нами в качестве методологии теория «симулякров» Жана Бодрийяра [2] по-новому и наиболее полным образом раскрывает природу трудовых конфликтов между старыми сотрудниками организаций и «новичками» как одной из главных проблем социальных связей.

Эксплицируя идею Бодрийяра, можно предположить следующее: природа трудовых конфликтов между старыми сотрудниками и «новичками» в ходе их совместной трудовой деятельности коренится в их фиксированности на разных стадиях симулякров: старые сотрудники (в основной своей массе) остановились в своем развитии на *производственной* стадии, в то время как «новички» – на стадии *симуляции*. Это ведет за собой различное понимание со стороны сотрудников основных составляющих следующей цепочки социально-трудовой сферы: *труд – заработная плата – профессионализм – образование – организационная / корпоративная культура*. Различие в смысловом содержании одного из составляющих звеньев этой цепи, сформированное у членов трудового коллектива, неизбежно становится условием возникновения конфликтной ситуации в формальной или неформальной системе взаимоотношений, влияющей на эффективность коммуникации между сотрудниками, как по горизонтальной, так и по вертикальной линии.

Рассмотрим подробнее различие в понимании старыми сотрудниками и «новичками» *организационной / корпоративной культуры* вышеупомянутой цепочки. Так же как и Ж. Бодрийяр, Д. Белл отмечает, что для постиндустриального общества характерны глубокие изменения в характере труда – люди общаются между собой, а не взаимодействуют с машиной. Для новых отношений характерны общение и диалог личностей, «игры между людьми», что создает новые причины для возникновения такого социального феномена как трудовые конфликты. Вместе с тем, неизбежным в складывающихся конфликтных ситуациях является лишь одно – неукоснительная обратимость отношений между старым сотрудником и «новичком» трудового коллектива, как в профессиональном, так и в культурном планах. И в этом случае основная нагрузка ложится на руководителя, способного вовремя прочувствовать и распознать накаляющуюся атмосферу конфликтности в подчиненном ему коллективе и умеющего сплотить коллектив при противоборстве с внешними трудностями при одновременном поддержании активности сотрудников.

Как отмечают Дж.В. Ньюстром и К. Дэвис, «Организационная культура – это набор допущений, убеждений, ценностей и норм, которые разделяются всеми членами организации» [3, с.98]. Культура организации может сознательно создаваться ее членами или формироваться с течением времени. Поскольку культура – динамическое системное понятие, она влияет практически на все происходящие в организации события, в том числе и на возникновение, развитие и формирование трудового конфликта. Хорошо отлаженная система организационной культуры снижает социальную напряженность в трудовом коллективе, способствует предотвращению и оптимальному регулированию социально-трудовых конфликтов, не допускает превращения их в постоянные коллизии.

В последнее время в теории и практике управления достаточно широко применяют еще один термин, отражающий специфику культуры организации – «корпоративная культура». Интересным является тот факт, что у данного термина отсутствуют четкие дефиниции, несмотря на общие понятия о культуре организации в контексте обсуждения тех составляющих, которые входят в организационную или корпоративную культуру. Оба термина используются обычно как синонимы.

В настоящее время к самому построению процесса организационной / корпоративной культуры привлекается множество групповых техник. Это и тренинги, имеющие целью изменение поведения или социальных установок людей (психологические тренинги), и терапевтические группы, и группы принятия решения (дельфийские группы, группы мозгового штурма), которые имеют свои особенности как в методике проведения, так и в конечном результате.

В данном контексте мы полагаем, что метод фокус-группы поможет выявить проблемы, установки, мотивацию, поведенческие практики внутри коллектива с целью оптимизации построения эффективной коммуникации в трудовом коллективе. Методика проведения фокус-групп, с нашей точки зрения, раскрывает главную цель ис-

следования: определить возможности и пути повышения эффективности воздействия организационной / корпоративной культуры на преодоление конфликтов в социально-трудовой сфере.

В ходе проведенной Ю.Г. Едигаревой фокус-группы предполагалось получить спектр мнений по следующим тематическим направлениям:

- выявление круга проблем, связанных с организационной / корпоративной культурой, наиболее актуальных для конкретного трудового коллектива;
- влияние специфики рода деятельности на организационную культуру и взаимоотношения в коллективе;
- анализ межличностного опыта взаимодействия в ходе трудовой деятельности;
- проблемы профессиональной адаптации работников;
- анализ ситуаций, вызывающих трудовые конфликты;
- оценка эффективности коммуникации в трудовом коллективе и выработка практических рекомендаций по избеганию конфликтных ситуаций в трудовом процессе.

Таким образом, в фокусе исследовательского интереса находились межличностные трудовые конфликты. Трудовые споры, имеющие выход на законодательную базу и на формальные практики их разрешения, остались за пределами обсуждения участников фокус-группы.

Наши информанты отмечали, что термин «организационная культура» является более универсальным, отражая тип управления, отношения в коллективе, которые зачастую складываются спонтанно. Если необходимость формирования и корректировки «спонтанной» организационной культуры признавали практически все участники беседы, подчеркивая, что определенные правила и нормы *«облегчают и упрощают»* как общение в коллективе, так и выполнение должностных обязанностей, то в отношении «корпоративной культуры» мнения разделились от признания значимости до полного отрицания необходимости ее построения.

Необходимо отметить, что участники фокус-группы, представляющие организацию так называемых *«офисных работников»*, имеющую четкую, иерархическую структуру, более лояльно относятся к корпоративной культуре, как «интегрирующему» и «упорядочивающему» фактору трудовой деятельности. Представители же *«творческого коллектива»*, напротив, видят определенную угрозу создания конфликта в ситуации введения особых правил, норм и порядков.

Результаты проведенного с помощью метода фокус-групп социологического исследования показали, что для успешной работы организации необходима хорошо продуманная, эффективная корпоративная культура, в основе которой должны быть проработанная стратегия подбора кадров и уважение к сотрудникам.

В процессе социологического исследования наши респонденты обозначили две основные функции корпоративной культуры:

- *внутреннюю*, призванную упорядочить работу коллектива, повысить эффективность трудового процесса, в том числе, исключить деструктивные конфликтные ситуации;
- *внешнюю* – направленную на создание имиджа организации.

Необходимо особо обратить внимание на то, что «старые» сотрудники, в основном, остаются приверженцами организационной культуры как некоего элемента авторитарного стиля руководства, в отличие от «новичков», предпочитающих корпоративную культуру.

Следует отметить, что создание успешной коммуникации на вертикальном и горизонтальном уровнях представляется самым важным условием для адаптации в коллективе. Ценность приобретает и возможность карьерного роста. Адаптация нового человека в коллективе зависит от субъективных и объективных обстоятельств: других людей / сотрудников; «от него самого»; от традиций, сложившихся в коллективе; от руководителя и стиля руководства, то есть от организационной культуры конкретного трудового коллектива.

Очевидным является тот факт, что стратегии управления организацией могут варьироваться от создания жесткой системы норм, правил, традиций и символики, до полного игнорирования таковых. Однако, согласно результатам социологического исследования с помощью используемого нами метода фокус-групп, недопустимым является насаждение элементов корпоративной культуры со стороны администрации без учета мнения работников.

Резюмируем вышесказанное. Обсуждая проблемы, связанные с причинами конфликтов в трудовом коллективе и способах их разрешения, необходимо отметить, прежде всего, внутренние конфликты, которые возникают в рамках организации и разрешаются, как правило, через существующие нормативы и соглашения. Это так называемые правила игры, которые действуют в конкретной организационной культуре, принятые на определенном уровне и между заинтересованными сторонами. Очень важно определить причины конфликта, так как, зная причины возникновения того или иного феномена, легче предпринять какие-то конкретные шаги по блокированию их (причин) действия, предотвращая тем самым вызываемый ими негативный эффект.

Для многих трудовых коллективов группа причин, порожденных трудовым процессом, является главным источником возникновения конфликтных ситуаций. Наряду с межличностными конфликтами, нередко конфликты возникают между подразделениями в процессе работы (сроки, качество работы). Актуальной причиной, вызывающей конфликтные ситуации на производстве, по нашему мнению, является невыполнение функциональных обязанностей в системе «руководства-подчинения».

Таким образом, результаты проведенного нами социологического исследования с помощью метода фокус-групп отражают экспликацию идеи «симулякров» Ж. Бодрийяра, а именно то, что одним из истоков трудовых конфликтов является различное смысловое содержание со стороны сотрудников, участвующих в совместном трудовом процессе, понимания организационной / корпоративной культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елютина М.Э. Мир старости как форма социокультурного текста: автореф. дис. ... доктора соц. наук / М.Э. Елютина. Саратов, 1999. 40 с.
2. Бодрийяр Ж. Символический обмен и смерть / Ж. Бодрийяр. М.: Добросвет, 2000. 387 с.
3. Ньюстром Дж.В. Организационное поведение / Дж.В. Ньюстром, К. Дэвис. СПб.: Питер, 2000. 256 с.

Едигарева Юлия Геннадьевна – старший преподаватель кафедры «Гуманитарные, социально-экономические и естественно-научные дисциплины» Саратовского юридического института адвокатуры, соискатель кафедры «Социальная антропология» Саратовского государственного технического университета

Edigareva Yulia Gennadyevna – Senior Lecturer of the Department of «The Humanities, Sociology, Economics and Natural-Scientific Disciplines» of Saratov Law Institute, post-graduate student of the Department of «Social Anthropology» of Saratov State Technical University

Федюнина Светлана Михайловна – доктор социологических наук, заведующая кафедрой «Русский язык, прикладная лингвистика и методика обучения» Саратовского государственного

Fedyunina Svetlana Mikhaylovna – Doctor of Sciences in Sociology, Professor, Head of the Department of «Russian Language, Applied Linguistics and Methodology of Teaching»

УДК 338.33

А.В. Кос**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЖИЗНИ НА ПСИХИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. САРАТОВА)**

Статья посвящена проблеме взаимосвязи социальных условий жизни, качества жизни и здоровья индивидов. Автор рассматривает концепции социальной обусловленности различий в здоровье, акцентирует внимание на такой составляющей здоровья, как психическое благополучие. Теоретические данные подкреплены результатами эмпирического исследования, проведенного методом полуструктурированного интервью экспертов в г. Саратове.

Качество жизни, различия в здоровье, психическое благополучие.

A.V. Kos**ANALYSIS OF INFLUENCE OF LIFE SOCIAL CONDITIONS ON POPULATION'S MENTAL HEALTH (ON THE EXAMPLE OF SARATOV)**

The article is devoted to a problem of interrelation of social conditions of life, quality of life and health of individuals. The author considers concepts of social conditionality of distinctions in health, brings to a focus to such component of health, as the mental health. Theoretical data are supported by results of the empirical research lead by the method of interview of experts in Saratov.

Quality of life, distinctions in health, mental health.

В настоящее время в России наблюдается не только экономическая поляризация, одна из форм неравенства, связанная с ростом дифференциации доходов населения, но и увеличение расслоения населения по состоянию здоровья. Это означает, что одни слои общества имеют значительно меньше шансов и возможностей для реализации своего потенциала здоровья, чем другие. Рассмотрим концепции социальной обусловленности нарушений здоровья.

Н.М. Римашевская и О.А. Кислицина разработали концепцию различий в состоянии здоровья на основе неравенства и несправедливости. Понятие «неравенство в здоровье» является общим термином и обычно используется для определения различий, изменений и диспропорций в состоянии здоровья индивидов и групп. Концепция несправедливости в состоянии здоровья фокусирует внимание на распределении ресурсов, которые, в конечном счете, воздействуют на неравенство в здоровье, то есть на неравенство в здоровье между социальными группами, находящимися в более и менее выгодном положении. Авторы выделяют семь основных детерминант неравенства в здоровье:

- биологические и генетические вариации;
- поведение, наносящее ущерб здоровью, выбранное самим индивидом (например, занятия определенными видами спорта с риском для здоровья);
- временное преимущество одной группы над другой;
- поведение, наносящее ущерб здоровью, когда выбор индивидом образа жизни существенно ограничен;
- подверженность нездоровым, стрессовым условиям дома в семье и на работе;
- неадекватный доступ к услугам здравоохранения;
- определяемая здоровьем социальная мобильность, включая тенденцию для больных людей сдвигаться вниз по социальной шкале [3, с.23-27].

Различия в здоровье, вызванные первыми тремя факторами, обычно не рассматриваются как несправедливость в здоровье, остальные факторы определяются в качестве устранимых и считаются несправедливыми. Например, из-за недостатка ресурсов беднейшие социальные группы имеют скромный выбор жизненных благ, живя в опасных и переуплотненных жилищах, работая во вредных условиях, часто оказываясь вовсе без работы. Таким образом, здоровье является не только делом персонального выбора, но детерминируется общими социальными условиями, в которых находится конкретный индивид или общество. Более того, даже персональный выбор тех или иных моделей поведения, наносящих вред здоровью, может быть обусловлен ограниченными и несправедливыми жизненными обстоятельствами, в которых находится человек.

Согласно концепции немецкого исследователя Г. Штайнкампа, социальный слой предполагает определенные объективные условия жизни, влияющие на предрасположенность к заболеваниям и продолжительность жизни [4, с.104-105]. В данной концепции он рассматривает два подхода: поведенческий и структурный. В рамках поведенческого подхода значение приобретают культурные практики и психологические установки индивидов в отношении здоровья. Разрыв между темпами заболеваемости и смертности между верхними и нижними социальными слоями здесь объясняется концентрацией в нижнем слое вредных (рискованных) для здоровья способов поведения: курение, неправильное питание, недостаток движения, алкоголизм. Однако критика данного подхода может быть направлена на тот факт, что модель факторов риска вырывает индивидуальное поведение риска из материального, социального, культурного контекста, маркирует такое поведение как отклоняющееся от нормы, являющееся виной индивида, и стигматизирует его как носителя риска. Поведение риска должно интерпретироваться в основе смысловых структур, стоящих за поведением, в котором можно было бы попытаться достичь компромисса между субъективными интересами, потребностями, ресурсами личности и противоречивыми требованиями общества. Еще одним аргументом критики данного подхода является то, что поведение риска не выбирается субъектом, а представляет собой составную часть образа жизни, который вплетен в сеть повседневных обязанностей. К ним можно отнести тяжелые, вызывающие стресс условия работы, приспособление к которым часто провоцирует курение, употребление алкоголя. Медицинская модель профилактики, базирующаяся на данном подходе, ориентирована на стиль жизни, на изменение рискованных способов поведения, в то время как политика в области здравоохранения должна учитывать факторы, ухудшающие здоровье, в том числе психическое, которые детерминируются социальной структурой [5, с.129-134].

Второй подход к объяснению социальной обусловленности нарушений здоровья является комплексным, поскольку анализ причинно-следственной связи социального слоя, социальных условий жизни и здоровья индивида проводится на нескольких уровнях. На высшем уровне анализа (макроуровень) фиксируются измерения социального неравенства, из которого вытекают неравные условия жизни. Средний уровень анализа (мезоуровень) охватывает конкретные жизненные обстоятельства, в которых проявляется действие структурно опосредованных неодинаковых нагрузок и ресурсов. На нижнем уровне (микроуровень) анализируют

ется процесс борьбы индивида с нагрузками и устанавливаются последствия неудавшегося преодоления для индивидуального самочувствия [5, с.134-137].

То, с какими событиями человек сталкивается в жизни, определяется его пространством для действий, степенью контроля над средой и фактором случайности. Пространство для действий относится к границам, устанавливаемым социальным и физическим окружением (экзогенные факторы), а контроль над средой – к возможностям реализации намерений в рамках определенного пространства для действий. Пространство для действий и контроль над средой определяют степень, в которой человек может выбирать и изменять свою среду. Например, материально плохо обеспеченные люди, по сравнению с хорошо обеспеченными, обладают меньшим пространством для действий, а лица с хорошими социальными навыками имеют больший контроль над окружающей средой, чем люди с худшими социальными навыками. Процесс преодоления (копинг) – это то, как человек фактически ведет себя по отношению к событиям или их последствиям с эмоциональной, когнитивной и поведенческой точек зрения. Копинг может быть адекватным (угроза нейтрализуется), неадекватным (могут возникнуть психические проблемы) или же приносящим риск [1, с.97-98].

Еще одна модель социальной причинности нарушений здоровья – это модель стрессовой уязвимости, предложенная Й. Ормелом, Й. Неелеманом, Д. Виерсмой. В ней выделяются четыре главные группы детерминант здоровья: демографические факторы, психобиологические факторы, социальные факторы и жизненные события.

К демографическим детерминантам относятся пол и возраст. Психобиологические факторы определяют способность защищаться (сопротивляемость) и пластичность индивидуума. Например, генотип (генетические факторы), темперамент и социальный интеллект, такие соматические факторы, как физические заболевания, психические расстройства в прошлом.

Под детерминантами среды понимаются уязвимость или способность, связанные со средой. К ним относятся социальный статус (образование, доход, профессия), условия проживания, этничность, семейное положение, социальная поддержка, обстоятельства, связанные с работой, социально-культурные факторы.

К группе жизненных событий относятся такие стрессовые события, как потеря партнера, развод, рождение ребенка или возникновение проблем со здоровьем, хронические проблемы, например, стрессовые обстоятельства на работе, хронические проблемы со здоровьем. Детерминанты этой группы могут быть, в зависимости от характера их связи с психическим нездоровьем, усиливающими уязвимость или поддерживающими ее [1, с.98, 100].

В период с 2006 по 2008 год нами проводилось социологическое исследование методом полуструктурированного экспертного интервью. Цель исследования – анализ влияния социальных условий жизни на состояние психического благополучия индивидов и развитие пограничных психических состояний. Пограничные психические состояния разделяют состояние психического здоровья (нормы) с основными психическими заболеваниями, сопровождающимися тяжелыми психопатологическими расстройствами. Пограничные состояния характеризуются наличием критического отношения человека к своему состоянию, отсутствием личностных изменений и нарастающего слабоумия. Полуструктурированный вид интервью обуславливает качественный характер исследования. Качественная методология предполагает нахождение в центре всего исследования индивида, организации или специфической социальной практики. В нашем случае в центре исследовательского внимания находились эксперты, то есть специалисты, имеющие опыт общения с людьми с пограничными психическими состояниями в силу своей профессиональной деятельности. Для качественных исследований свойственны малые выборки, сниженные требования, по сравнению с количественными исследованиями, к числу информантов. Главными критериями достаточности и корректности отбора информантов служат такие требования, как требование о том, чтобы собранные материалы соответствовали по своему содержанию целям исследования, а также

количество и качество данных материалов должно быть достаточным, чтобы возможно было сделать содержательные выводы, подтвердить исследовательские гипотезы [2, с.41, 45].

Выборку в данном исследовании составили следующие эксперты г. Саратова и г. Энгельса: врачи-психиатры ММУ Городского психоневрологического диспансера (4 человека), специалисты по психотерапии (2 человека), специалисты в области психологии (3 человека), представители социальных служб г. Саратова и г. Энгельса (6 человек). Таким образом, было получено 15 экспертных интервью. Интервьюирование экспертов, занятых в социальной сфере, необходимо для анализа проблематики пограничных психических состояний и их взаимосвязи с социальными условиями жизни не под традиционным медицинским углом, а с социальной точки зрения. В процессе проведения исследования обнаружилось, что специалисты социальных служб с неохотой соглашались дать интервью на заданную тематику. Свою позицию они мотивировали тем, что когда у них возникает подозрение о наличии у клиента нарушения психического здоровья, пусть и слабо выраженного, они стараются направить его к медицинским специалистам. Один из респондентов так прокомментировал свою позицию: *«У нас принцип «не навреди» и лучше подстраховаться и направить таких клиентов с пограничными состояниями куда следует...лучше помочь организму на начальных стадиях, чем потом будут большие проблемы. Мы видим, когда надо человека перенаправить, по мимике, по жестам, и он сам об этом говорит нам, по физиологии, по эмоциональному состоянию. Самое главное – направить, потому что многие не знают, куда надо обратиться за помощью»* (педагог-психолог социальной службы, жен.). Те специалисты по социальной работе, кто отказывался давать интервью, объясняли это тем, что они не считают себя компетентными в вопросах пограничных психических состояний. Они признавались, что порой им самим трудно отличить норму от патологии, сложно обнаружить пограничное психическое состояние, и их контакт с такими клиентами ограничивается всего лишь выслушиванием и передачей их другим специалистам. Вопрос, какое состояние является нормой, а какое – нет, часто возникал в процессе интервьюирования. Один из респондентов по этому поводу высказался следующим образом: *«У нас у всех очень много пограничных состояний, мы все с тревогами и страхами. Норму от не нормы сложно отличить. То, что мы социально адаптированы, значит, что мы еще нормальные, но норма очень разная. Даже к психологу я считаю обращаться – это нормально, а уже к медикаментам – нет. Хотя кто из нас не пил валерианки»* (жен., педагог-психолог, 50 лет, стаж работы – 20 лет).

Гид интервью включает в себя несколько тематических блоков. Сначала выясняется, имели ли место в профессиональной практике респондента случаи обращения клиентов с пограничными психическими состояниями, частота таких обращений. Затем следует блок вопросов о взаимосвязи пограничных психических состояний и социальных условий жизни человека, социальных факторах, которые провоцируют возникновение таких состояний; присутствуют вопросы о том, какие службы и специалисты должны быть задействованы в профилактике психического благополучия. В заключение респонденты дают оценку современным условиям жизни как фактору психического благополучия и прогнозы относительно динамики таких состояний в будущем.

Анализ полученных в ходе интервью данных позволяет сделать следующие выводы. Среди форм пограничных психических состояний, наиболее часто встречающихся у жителей г. Саратова, на первом месте стоят неврозы, депрессии, затем идут социально-стрессовые расстройства, панические, тревожные расстройства, булимия, анорексия, психопатии. Специалисты социальных служб, работающие с детьми, заметили увеличение числа детей в своей практике со страхами и высоким уровнем тревожности.

Большинство респондентов на вопрос о том, наблюдается ли в настоящее время рост числа людей с пограничными психическими состояниями, ответили утвердительно. Респонденты, которые не увидели заметного роста числа пограничных психических состояний по сравнению с предыдущими годами, связали это с разными причинами. Один из экс-

пертов так прокомментировал свою позицию: «...В последние годы они, видимо, больше идут к психотерапевтам... Не обращаются и по другой причине – причине социального пресса, боясь потерять работу, эти люди, конечно, опасаются к нам идти и приходят часто уже в крайне болезненном состоянии фактически уже не столько за помощью амбулаторной, сколько за стационарной помощью» (врач-психиатр, муж., 61 год, стаж – 30 лет). Он же предположил, что такая тенденция связана с развитием частной психиатрической и психотерапевтической практик, а также с социальными опасениями, касающимися стигматизации при обращении за помощью к специалистам психиатрических и психотерапевтических сервисов. Респондент выразился следующим образом: «... Нас немножко сторонятся, нас, психиатров, по причине социальных предрассудков, какого-то социального клейма, как его называют, из-за каких-то опасений люди боятся. Удивляешься, когда здесь кто-то появляется, совершенно, так сказать, самостоятельно» (врач-психиатр, муж., 61 год, стаж – 30 лет). Кроме того, один из респондентов, отметивших рост числа обращений клиентов с пограничными психическими состояниями, высказал предположение о том, что это связано либо с абсолютным увеличением числа таких людей, либо с тем, что их социальная служба становится более востребованной.

Вопрос о социальном портрете типичного клиента с пограничными психическими состояниями заставил задуматься абсолютно всех респондентов, всем потребовалось время, чтобы как-то дифференцировать по определенным группам своих клиентов. Некоторые респонденты отказались классифицировать таких клиентов, объяснив это тем, что им трудно привести статистику – кто чаще обращается. Однако можно выявить некоторые тенденции в структуре клиентов, находящихся в пограничных психических состояниях.

Тот факт, что женщины чаще становятся клиентами различных служб, отметили практически все респонденты. Один респондент, врач-психотерапевт привела данные отчета: если первичные приемы за день – по 24 человека, то из них только трое мужчин, остальные – женщины. По ее мнению, мужчины редко обращаются за помощью, потому что «они считают, что лечить нервы – это женщины должны. Если в семье ссорятся – то вот ты и лечись, и тогда в семье будет мир и порядок, хотя очень многие мужчины страдают теми же самыми болезнями» (врач-психотерапевт, жен., 73 года, стаж – 53 года). На мужчин оказывают давление социальные стереотипы. Им для соответствия образу «нормального» и «настоящего» мужчины необходимо быть сильными, выносливыми, решать свои эмоциональные, психологические и другого рода проблемы самостоятельно. А поход к психотерапевту, психологу, специалисту социальной службы за профессиональной помощью в данные стереотипы не вписывается, хотя мужчины страдают пограничными психическими нарушениями здоровья в той же мере, что и женщины.

Если говорить о женщинах с пограничными психическими состояниями, то, по наблюдениям респондентов, это женщины среднего возраста, семейное положение таких клиенток – они состоят в браке, но с этим браком что-то не то, присутствуют внутрисемейные проблемы. Относительно сферы занятости таких клиентов один из респондентов выразился следующим образом: «Сейчас в нашей стране осталось очень мало профессий. В основном к нам приходят люди, которые где-то чем-то торгуют, ну как весь Саратов у нас, или где-то работают – это учителя, работники детских садов, торговли. Раньше с заводов очень многие ходили, сейчас заводов нет, с заводов не ходят. Сложно назвать какие-то профессии, потому что у нас в основном все люди торгуют» (врач-психиатр, муж., 48 лет, стаж работы – 23 года).

На вопрос об уровне дохода клиентов с пограничными психическими состояниями респонденты не дали однозначных ответов, возможно, в силу того, что трудно определить этот уровень при общении с клиентами. Однако большинство респондентов сошлись во мнении о том, что в основном к ним за помощью обращаются клиенты с невысокими доходами, среднего или даже ниже среднего уровня. Один из респондентов сказал, что у людей с высо-

ким уровнем достатка *«другие», свои проблемы, но им их решить, видимо, проще»* (врач-психиатр, муж., 48 лет, стаж работы – 23 года). Таким образом, то, что клиентами различных городских служб становятся люди с невысокими доходами и из социально незащищенных групп, возможно, объясняется тем, что более обеспеченные граждане могут воспользоваться платными услугами частных центров. Специалисты, работающие с детьми и подростками, отмечают, что дети с пограничными психическими состояниями – это *«дети чаще всего, но не факт – из семей с прожиточным минимумом ниже среднего. Дети, родители которых занимаются нетворческим трудом, челноки, стоящие на базарах женщины, которые с утра до вечера вкалывают. Такие дети предоставлены самим себе. Среди таких детей много тех, кто бродяжничают и ворует, у своих же родителей. Недолюбленные дети»* (жен., директор социальной службы, 51 год, стаж – 28 лет).

Важным в структуре гайда интервью является блок вопросов, посвященный исследованию влияния качества жизни индивида на состояние его психического здоровья и социальных факторов, провоцирующих развитие пограничных психических состояний. Данные вопросы позволяют проверить гипотезу о том, что современные социальные условия жизни провоцируют развитие пограничных психических состояний.

Крупным планом выступает при оценке экспертами социальных факторов, воздействующих на психическое здоровье, то, что основной причиной пограничных состояний психического здоровья в настоящее время является неуверенность людей в завтрашнем дне. Данная неуверенность обусловлена современными социальными условиями жизни, которые характеризуются экспертами как нестабильные, противоречивые, стрессовые. Эксперты акцентируют внимание на том, что базовыми потребностями человека являются все-таки материальные потребности и потребность в безопасности, а когда нет ощущения стабильности, качество жизни низкое, то повышаются тревожность и невротизация человека. В качестве основной причины, прямо или косвенно стоящей за возникновением пограничных психических состояний, практически все респонденты называют материальную проблему, проблему денег, низкой заработной платы: *«Вот если на молодежь и на пожилых посмотреть, и средний возраст тоже посмотреть, в основном проблема какая – деньги, все мало, мало, им надо много, но даже те, которые имеют много денег, даже те, которые обеспечены, это часто тоже наши пациенты»* (врач-психотерапевт, жен., 73 года, стаж – 53 года). Специалисты, работающие с детьми, отмечают, что для психического благополучия ребенка важны условия проживания, бытовые условия, стабильная эмоциональная обстановка в семье: *«К сожалению, очень много детей, мамы которых одинокие, вынуждены зарабатывать на ребенка, и большую часть времени ребенок предоставлен сам себе. Здесь играют роль большие материальные факторы, потому что четко можно понять, что если ребенок приходит на консультацию с какими-либо эмоциональными нарушениями, то он точно из такой семьи. Если бы материально все было хорошо, то было бы и морально хорошо»* (педагог-психолог, жен., 35 лет).

Однако наряду с социально-экономическими факторами респонденты подчеркивали роль семейных отношений, отношений в коллективе как фактора психического благополучия индивида: *«Я могу сказать, что люди, которые звонят нам по поводу каких-то тяжелых материальных ситуаций, нехватки жилья, денег и чего-то, их мало. Их можно посчитать по пальцам. В основном нам звонят люди, которые не удовлетворены своим душевным состоянием, личной жизнью, или отношениями с родственниками»* (психиатр телефона доверия, жен., 30 лет, стаж работы – 5 лет).

В качестве еще одного ключевого стрессового фактора большинство респондентов выделяет проблему, связанную с занятостью, работой. Они отмечают, что пограничные психические состояния возникают из-за постоянного напряжения, вызванного тем, что человеку необходимо соответствовать высоким требованиям на рабочем месте, предъявляемым работодателями. Такое напряжение происходит по причине ежедневных опасе-

ний, неуверенности в стабильности занятости, отсутствия постоянной работы. Это утверждение можно подкрепить цитатой из одного интервью: *«Сегодня человек работает, и есть такое ощущение, что завтра он уже работать не будет, у него семья, дети, родители на его шее, и он чувствует, что работу он потеряет, или может и не потерять, то есть вот такое ощущение присутствует, тревожное ожидание»* (врач-психиатр, муж., 48 лет, стаж работы – 23 года). Некоторые специалисты акцентируют внимание на том, что мужчинам в сложившихся непростых условиях приходится труднее, потому что, опять же, в силу существующих стереотипов, на мужчин возлагается ответственность за материальное благополучие семьи и родных: *«Шесть – восемь тысяч если получает мужчина, то он тогда никому не нужен, поэтому многие молодые люди не торопятся жениться, потому что они несостоятельны в денежном плане»* (врач-психотерапевт, жен., 42 года, стаж работы – 10 лет).

В ходе исследования обнаружилось, что многие эксперты в качестве одного из наиболее травмирующих психику факторов обозначили нравственное и духовное состояние социума, информационное пространство, в котором приходится жить современному человеку. Конкретным социальным стрессором, отрицательно влияющим на психическое благополучие, являются средства массовой информации, а в основном – телевидение. Средства массовой информации транслируют насилие, агрессию, негативную информацию, которую следует очень дозированно и выборочно преподносить аудитории. Вот как иллюстрируют респонденты свое отношение к СМИ: *«Социальным стрессором является телевидение. Это вообще самый сильный социальный стрессор, и что там только вытворяется... Если сравнить наше поколение, то люди жили все-таки в положительном информационном пространстве. У нас была каждый день битва за урожай, какое светлое будущее нас ждет. Сейчас все наоборот. Все ужасно, будет еще хуже, вот маньяки, наркоманы, тут убийцы, насилие»* (педагог-психолог, жен., 50 лет, стаж работы – 20 лет). *«Если вам каждый день, с утра до вечера начинают вдальбивать всякие криминальные новости по всем каналам, какую-нибудь расчлененку, убийства, изнасилования малолетних и так далее, тут уж поневоле нервированным становишься... Они просто окружили, деваться некуда, все там беспросветно, ничего хорошего нет... Начиная с шести вечера начинаются фильмы про милицию, про нашу. Это все не ведет к психическому здоровью, так скажем»* (врач-психиатр, муж., 48 лет, стаж работы – 23 года).

Кроме того, средства массовой информации способствуют пропаганде определенного образа жизни, размыванию границ социально одобряемого и неодобряемого поведения, моральных устоев общества. Один из респондентов, психиатр телефона доверия заметила интересную тенденцию, которая появилась в последнее время: поступают звонки от матерей и жен молодых мужчин, трудоспособного возраста, здоровых, но нигде длительное время не работающих и не желающих трудоустроиться. Как она выразилась, *«Это массовая пропаганда такого вот шикарного образа жизни – посмотрите рекламу – ты круче всех, ты этого достоин и так далее. Вот они ее насмотрелись, ума у них своего нет, поэтому естественно, что они в поисках какой-то очень высокооплачиваемой работы вообще не работают, перестают искать какую-либо работу, и заявляют всем своим родственникам, знакомым и друзьям, что чем работать за пять тысяч, я лучше дома буду сидеть. То есть днем они спят, ночью они развлекаются и нигде не работают. Там нет никакого заболевания, там есть самая настоящая безалаберность. Вот это тоже, я не знаю как его назвать – невроз – не невроз, явление нашего времени»* (психиатр телефона доверия, жен., 30 лет, стаж работы – 5 лет). Таким образом, пропаганда «легких денег», красивого образа жизни, того, что правильно ничего не делать и все иметь, приводит к тому, что молодые люди не получают установок на достижение цели, на развитие и от этого страдают люди из их ближайшего окружения.

В заключительной части интервью мы просили респондентов ответить на главный вопрос – в каком направлении влияют современные условия жизни на состояние психического благополучия человека – поддерживают его или провоцируют возникновение пограничных психических состояний, а также сделать прогноз относительно увеличения или уменьшения в будущем таких состояний. Практически все респонденты сошлись во мнении, что высокий темп современной жизни, агрессивная среда, в которой приходится выживать человеку, условия возрастающего социального неравенства никак не поддерживают психическое благополучие: *«Современные условия жизни на данный момент никак не поддерживают психическое здоровье. Не успевает правительство за ростом цен, за моральным состоянием семей. У людей настолько социальный статус разделен, есть и совсем богатые, и люди, живущие за гранью нищеты. Когда люди живут в разрушенном секторе и видят дворцы, которые строят рядом, это сложно - сохранить психическое здоровье»* (педагог-психолог, жен., 35 лет). Прогнозы относительно числа людей с пограничными психическими состояниями выглядят следующим образом: часть респондентов считает, что в будущем распространенность пограничных психических состояний останется на прежнем уровне, другая часть – что в дальнейшем такие состояния будут только увеличиваться. Есть и совсем пессимистичные взгляды на проблему: *«...Страна рушится, так скажем, а она рушится, она стоит на краю гибели, пропасти. Потом еще вот что. Эта постоянная ложь с экрана телевизора о том, что у нас все хорошо, что у нас прекрасно, что мы движемся семимильными шагами, что у нас нет никакой инфляции, люди же слушают вот эти глупости, идут в магазин, а каждый день цены растут, и никакого здоровья психического от этого быть просто не может. Потому что это вранье, постоянное вранье. Вранье и криминал. А будет еще хуже, потому что света в конце тоннеля нет. Скоро нужны будут только психиатры, вся Россия сойдет с ума»* (врач-психиатр, муж., 48 лет, стаж работы – 23 года).

Обобщая полученные в ходе исследования данные, можно сделать следующие выводы. В настоящее время наблюдается рост числа клиентов различных служб и сервисов г. Саратова с пограничными психическими состояниями. Исходя из экспертных оценок, данную тенденцию можно связать с условиями современной жизни в социуме и наличием таких социальных стрессоров, негативно сказывающихся на психическом благополучии индивида, как социальная нестабильность, увеличение социального неравенства, низкая заработная плата, агрессивное информационное пространство, незащищенность определенных слоев населения. Таким образом, можно сделать заключение о том, что условия проживания отрицательно влияют на психическое благополучие индивида и провоцируют возникновение и развитие пограничных психических состояний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ормел Й. Детерминанты психического нездоровья: их учет в научных исследованиях и в политике в сфере психического здоровья / Й. Ормел, Й. Неелеман, Д. Виерсма // Социальная и клиническая психиатрия. 2003. № 4. С. 95-100.
2. Романов П.В. Исследования в социальной работе: оценка, анализ, экспертиза: учеб. пособие / П.В. Романов, Е.Р. Ярская-Смирнова. Саратов: СГТУ, 2004. 258 с.
3. Римашевская Н.М. Различия в состоянии здоровья / Н.М. Римашевская, О.А. Кислицына // Народонаселение. 2005. № 4. С. 23-30.
4. Социальная политика и социальная работа: гендерный подход: учеб. пособие / О. Бойко, Н. Ловцова, П. Романов и др.; под ред. Е. Ярской-Смирновой. Саратов: СГТУ, 2003. 205 с.
5. Штайнкамп Г. Смерть, болезнь и социальное неравенство / Г. Штайнкамп // Журнал социологии и социальной антропологии. 1999. Т. 2. № 1. С. 129-134.

Кос Алина Витальевна –
аспирант кафедры «Социальная антропология
и социальная работа»
Саратовского государственного
технического университета

Kos Alina Vitalyevna –
Post-graduate student
of the Department
of «Social Anthropology and Social Work»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 08.12.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 316.3:008

О. В. Лысикова

**СОВРЕМЕННЫЕ ТУРИСТСКИЕ ПРАКТИКИ РОССИЯН
(ПО МАТЕРИАЛАМ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)**

Анализируются современные туристские практики россиян, характеризующиеся высокой степенью социальной и культурной дифференциации.

Туристская практика, туризм, средний класс, культурные предпочтения, имидж туриста.

O.V. Lysikova

**MODERN RUSSIANS' PRACTICES IN TOURISM
(ARTICLE IS BASED ON MATERIALS OF SOCIOLOGICAL RESEARCHES)**

The article presents the modern Russians' practices in tourism characterized by high level of social and cultural differentiation.

Tourist practice, tourism, middle class, cultural preferences, tourists' image.

В результате социально-экономических и политических трансформаций в нашей стране с конца 1980-х годов туризм утратил социальную ориентированность и приобрел коммерческий характер. Большая открытость внешней политики и падение «железного занавеса» активизировали выездной туризм, а включение России в мировое туристское пространство послужило интенсификации развития отечественного туризма, появлению новых форм и видов, их качественного и культурного разнообразия. Туризм сегодня является актуальной и востребованной практикой социально активных, культурно и пространственно мобильных людей. Туристские практики россиян стали социально дифференцированными исходя из факторов дохода, принадлежности к социальным группам, профессиональным сообществам. Туристские практики являются важным компонентом жизнедеятельности современного человека, стремящегося не только работать и зарабатывать, но отдыхать и путешествовать разнообразно и комфортно. Они характеризуются широким спектром ценностей, мотиваций, предпочтений, стилей туристского потребления, имеют высокую степень дифференциации от социального до гламурного туризма. В туристской практике проявляется социально-экономический статус и культурный облик человека. Если люди не путешествуют, то они теряют свой статус. С одной

стороны, туризм позволяет человеку самоактуализироваться, насыщаясь впечатлениями, осуществляя коммуникации с большим внешним миром. С другой стороны, особенности индивидуальной туристской практики формируются исходя из внешних условий, среды обитания, статуса, моды, под воздействием общественного мнения, когда происходит активное транслирование, конвертирование окружающим собственным впечатлениям, ценностей, потребностей из большого внешнего мира в мир узко событийный - повседневный. Туризм представляет собой в значительной степени самопрезентативную практику, насыщаясь смыслами показательных практик демонстративного престижного потребления.

Содержание туристской практики является ведущим фактором, определяющим мотивацию, предпочтения туриста, специфику потребления туруслуг, что фиксируется в объективных и субъективных показателях при данных общих социальных условиях туристской деятельности. Чем шире мотивационное поле, тем выше степень туристской инициативы и активности, включенности личности в туристскую практику, разнообразнее палитра культурных интересов и предпочтений в путешествии. Современная социокультурная туристская практика является индивидуальной туристской стратегией самореализации. Объективными факторами ее осуществления являются доступность приобретения туруслуг, разнообразие предложений на туррынке, тенденции туристской моды. К субъективным факторам отнесем уровень дохода, индивидуальные предпочтения, личный туристский опыт. Технологии организации путешествий современных туристов разнообразны: при посредничестве турфирм, с помощью Интернета, самостоятельно, то есть в рамках самостоятельного туризма.

Степень изучения современных туристских практик россиян не может считаться достаточной, поскольку динамичное социокультурное развитие туризма опережает его осмысление, анализ и прогнозирование. Комплексное решение научной проблемы обуславливает селективное применение положений ряда теорий и концепций:

- научные дефиниции туризма и туриста (Д. Бурстин, Д. Маккеннелл, З. Бауман, Дж. Урри);
- туризм как особая форма социальности (А. Шюц, Л. Г. Ионин);
- туризм как компонент социальной политики (М.Б. Биржаков, И.В. Зорин, В.А. Квартальнов);
- концепция практик (П. Бурдье, Э. Гидденс, М. Хайдеггер, В. О. Волков);
- самоидентификация туриста как средство реализации жизненной стратегии (В.И. Ильин, А.Ю. Согомонов);
- практики потребления и мода в туризме (Т. Веблен, Г. Зиммель, В.И. Ильин, А.Б. Гофман, Т.И. Черняева);
- туризм как практика среднего класса (В.В. Радаев, А.Б. Фенько).

Исследовательские задачи состоят в анализе туризма как распространенной практики представителей российского среднего класса, в рассмотрении культурных предпочтений и практик самопрезентаций российских туристов как компонентов туристской культуры и предпосылки создания и трансляции имиджа России за рубежом.

В ходе исследования был предпринят вторичный анализ данных социологических опросов населения, проведенных социологическими центрами: ИС РАН (Городской средний класс в современной России. Имущественные характеристики и стандарты потребления, 2006 г.), ВЦИОМ (экспресс 1998-5, 23.04.1998-28.04.1998, N=1600; экспресс 2002-5, 24.05.2002-27.05.2002, N=1600), ФОМ (Где и как хотели бы отдыхать россияне? 23.06.2005. Поездки за границу. 18-19.06.2005; N=1300 в регионах, N=600 в Москве. Поездки за границу. Апрель, 2008 г.), Комкон (опросы 2007 г.), а также анализ материалов туристских Интернет-форумов.

Туризм и путешествия в современной России теоретически доступны всем, но на практике - в разной степени для различных категорий населения. Главными факторами осуществления туристской практики является наличие свободных финансовых и временных ресурсов. Туристская практика как совокупность социальных действий туриста в процессе пу-

тешества и в туристской дестинации формирует стиль и образ жизни человека путешествующего. Туристские практики влияют на самих туристов. Их качественное содержание (гносеологическое, рекреационное, эмоциональное, досуговое, интеллектуальное насыщение) зависит от финансовых возможностей, мотивационной структуры, коллективных и индивидуальных культурных норм, ценностей, образцов поведения, что составляет культуру туристского потребления.

Социально-экономические и политические трансформации 1990-х годов привели к переходу от социального туризма к коммерческому, от преимущественно внутреннего к доминирующему выездному, в результате чего уменьшился внутренний турпоток, качественно и количественно вырос выездной туризм. Совокупность внешних и внутренних факторов отразилась на культуре туристского потребления, ее стилевой неоднородности как проявление социальной дифференциации.

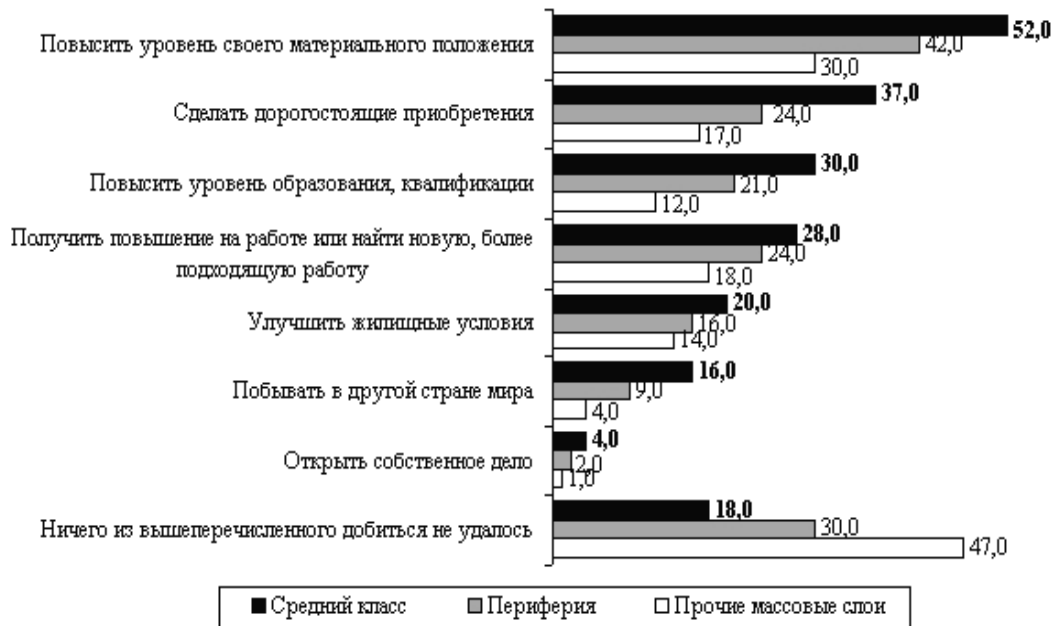
С конца 1980-х годов у населения нашей страны появилась возможность относительного маневрирования в своих расходах [1, с. 45]. Медленно, но неизменно сокращается количество граждан, которые проводят свои отпуска дома [2]: 2003 г. – 61%; 2005 г. – 56%; 2006 г. – 59%; 2007 г. – 57%. Вместе с тем, несмотря на политические и социально-экономические изменения последних двух десятилетий, благоприятствующие выездному туризму, большинство россиян так и не воспользовались возможностями отправиться в поездку за границу. По данным опроса ФОМ 2005 г., большинство россиян полагают, что возможностью поехать на курорт или в экскурсионный тур обладают только богатые люди. Применительно к отдыху за рубежом эту точку зрения разделяют 84% респондентов, а к отдыху в России – 77%. Только 13% респондентов заявили, что люди их круга и социального положения могут себе позволить съездить отдохнуть за рубеж, 24% – в России. Отдых в своей стране, связанный с дальней поездкой, представляется россиянам лишь немногим более доступным, чем отдых за рубежом. Многие участники опроса в любом случае не хотели бы отдыхать вдали от родного дома, даже если бы финансовое положение им это позволило. От гипотетической возможности зарубежной поездки отказались 31% респондентов, отдыха в России – 20%. Такое решение разделяют как люди пожилого возраста, так и молодежь. По мнению социолога ФОМ Е. Вовк, «возможность поехать на отдых (в особенности – за рубежом) блокируется не только финансовыми обстоятельствами, но и культурными установками и привычками россиян» [3]. Согласно опросу населения от 30 июня – 1 июля 2007 г. (100 населенных пунктов, 44 субъекта РФ, N=1500), каждый двадцатый респондент считает, что россияне обычно уезжают за рубеж, чтобы «мир посмотреть», «познать другую жизнь», «посмотреть, как люди живут в других странах» [4, с.6].

В последние годы особую актуальность в научном дискурсе приобрела проблематика среднего класса в России, получившая освещение в многочисленных исследованиях. В социологических опросах активно освещаются мнения о том, кто из россиян сегодня может себе позволить отдых за рубежом. В исследовании компании Комкон 2007 г. была предпринята попытка выяснить, где работают и живут представители среднего класса, как тратят деньги и отдыхают. В ходе исследования было отобрано 1000 москвичей - представителей среднего класса посредством трехэтапной процедуры - опроса по телефону, личной беседы, анкетирования. Критерии отбора информантов были следующие: трудоспособный возраст 18-55 лет; доход на каждого члена семьи от 500\$; служебное положение - менеджер, предприниматель, высококвалифицированный специалист, руководитель; наличие не менее пяти предметов из списка - цветной телевизор, видеомэгафон, видеокамера, два (или более) автомобиля, фотоаппарат, персональный компьютер, электродрель, фритюрница, радиочасы, вторая квартира (или загородный коттедж). В ходе исследования было установлено, что представители среднего класса в столице составляют 15%, т.е. каждый седьмой москвич. Характерные черты - прагматизм, карьерные амбиции, высокие потребительские запросы, повышенное внимание к собственному здоровью и полноценному отдыху, в равной степени рекреационному

и активному. Одной из целей сбережений являются накопления на развлечения и поездки: 39,9% мужчин, 49,8% женщин. Директор по коммуникациям компании Комкон М. Вакатова считает, что Москва является «городом трудоголиков, которые расплачиваются за высокий уровень жизни своим здоровьем. Все больше жителей столицы становятся карьеристами, т.е. не просто «работают», а стремятся расти, продвигаться по службе, добиваться более высокого положения и дохода» [5].

В исследовании Института социологии РАН, проведенном в Москве в 2006 г., представлены имущественные характеристики и стандарты потребления городского среднего класса. Основным критерием при выявлении среднего класса является показатель среднего ежемесячного дохода, который составил 14453 рубля [6]. Важнейшей функцией среднего класса в развитом обществе является распространение инновационных практик, таких, например, как компьютерные, информационные, отчасти туристские, поскольку имущественная обеспеченность среднего класса не только выше жизненного уровня других слоев населения, она подразумевает и качественные отличия жизнедеятельности. В ответах на вопрос: «Что бы Вы в первую очередь сделали или приобрели для себя или для своей семьи, если бы у Вас вдруг появилась соответствующая сумма денег?» голоса представителей среднего класса распределились следующим образом: квартиру – 41%; автомобиль – 34%; турпоездку, поездку на курорт – 33%; коттедж для круглогодичного проживания – 31%; сделали бы ремонт в квартире, доме – 17%; мебель – 8%; платное лечение – 8%; платное образование для себя или семьи – 7%; дачный домик для сезонного проживания – 7%; погасили бы долги – 5%; компьютер – 4%; одежду – 3%; холодильник, стиральную машину, пылесос – 2%; кухонный комбайн, микроволновку – 2%; цветной телевизор – 2%; ничего – хотелось бы просто иметь побольше денег – 5% [6].

Обращает на себя внимание желание 33% респондентов отправиться в турпоездку, что занимает третью позицию после приобретения квартиры и автомобиля. По данным опроса, желание поехать за рубеж среди представителей среднего класса оказалось выше, чем в других социальных слоях, что связано не только с дороговизной туристских услуг, но и с престижностью их потребления. В 2006 г. по сравнению с 2003 г. выросло количество представителей среднего класса - потребителей туруслуг, такая динамика свидетельствует о росте престижного потребления в ущерб своему человеческому капиталу (образование, здоровье), что связано с тенденцией «недовостребованности» последнего российской экономикой. В ответах на вопрос: «Чего удалось добиться за последние три года?» голоса представителей различных слоев населения в процентном отношении распределились следующим образом:



Таким образом, в другой стране мира в 2003-2005 гг. побывало 16% представителей среднего класса, 9% - «периферии», 4% - другие массовые слои [6].

Компанией «Служба Континентов» в декабре 2005 г. – феврале 2006 г. было проведено исследование, основанное на телефонном опросе москвичей, выборка составила 1114 респондентов. Как выяснилось в ходе исследования, 57% опрошенных вообще никогда не были за рубежом; 26% респондентов посещают дальнее зарубежье не менее одного раза в год [7, с. 40].

Б.С. Гладарев и Ж.М. Цинман проследили эволюцию потребительского поведения представителей среднего класса Санкт-Петербурга за последние двадцать лет. Их внимание было сфокусировано на изменении индивидуальных потребительских стратегий в условиях рыночной экономики, в том числе в сфере досуга представителей среднего класса. Авторы приходят к выводу о взаимосвязи микроуровня индивидуальных потребительских стилей с макроуровнем общероссийской социально-экономической трансформации [7, с.40].

Как свидетельствуют данные опроса ФОМ в апреле 2008 г. [8], заграничные путешествия не стали для россиян привычной практикой: за последние два-три года побывали в странах СНГ и Балтии 6%, в странах дальнего зарубежья – 4% респондентов. Только 1% опрошенных побывали и там, и там. Москвичи в последние годы выезжали в страны дальнего и ближнего зарубежья значительно чаще остальных россиян (17 и 12% соответственно). Обычно россияне едут за границу, чтобы отдохнуть или набраться впечатлений. В командировки и деловые поездки за рубеж отправляются 1% респондентов. Позволить себе зарубежную поездку люди не могут чаще всего из-за финансовых проблем, на что сослались 58% респондентов, отвечая на открытый вопрос: что обычно мешает таким людям, как они, ездить за границу? 27% респондентов заявили, что они не стали бы отдыхать за рубежом, даже располагая для этого финансовыми средствами. Каковы же причины такого решения? 7% респондентов заявили, что не любят и не хотят путешествовать, 5% участников опроса отметили, что и в России немало мест для отдыха, 5% сослались на почтенный возраст, 4% - на слабое здоровье. Поехали бы за границу, в какую-нибудь страну дальнего зарубежья при наличии финансовых средств 63% опрошенных и 10% респондентов затруднились ответить, поехали бы они за границу или нет. Воспользоваться услугой, которую предоставляют многие туристические фирмы совместно с банками по приобретению турпутевки в кредит, готовы 12% респондентов. Чаще других допускают такую возможность жители мегаполисов - 23%, молодежь 18-35 лет – 19%, люди с высшим образованием - 19%. Исключают возможность покупки путевки в кредит 82% участников опроса.

В общей сложности количество людей, считающих отдых за границей доступным для себя, за три года с июня 2005 г. по май 2008 г., незначительно возросло: на 2% - с 13% в июне 2005 г. до 15% в апреле 2008 г. Доля категорично заявляющих, что отдых за рубежом им не по средствам, несколько сократилась: на 4% - с 84% в июне 2005 г. до 80% в апреле 2008 г.

Итак, как свидетельствуют социологические опросы последних лет, туризм стал распространенной практикой среднего класса. Главным сдерживающим фактором для поездки за границу является стоимость тура, т.е. экономическая составляющая, в меньшей степени - политическая ситуация в туристском регионе, вероятность террористических актов, антропогенных и природных катастроф.

В последние годы наметилась тенденция роста внутреннего туризма, темпы которого опережают выездной. Количество россиян, отдающих предпочтение внутреннему туризму, за прошедшие несколько лет выросло на 30%, причем большинство выбирает активный отдых [9, с.24]. Туристы путешествуют по России по следующим причинам:

- россиянам с низкими доходами не хватает средств на отдых и путешествия за рубеж;
- у россиян со средними и высокими доходами после многократных международных поездок возник интерес к отечественным достопримечательностям и отдыху на российских курортах, несмотря на слаборазвитую инфраструктуру и невысокий уровень сервиса;
- существует фактор преемственности туристского опыта между поколениями.

Основными туристическими центрами страны являются Москва, Санкт-Петербург, Сочи, Краснодарский край, Кавказские Минеральные Воды, города «Золотого кольца России». В ближайшие годы приобретет дополнительное развитие экологический и экстремальный туризм, центрами которого становятся Байкал, Камчатская область, Хакасия, Саяногорск [9, с.5]. Краснодарский край традиционно является центром летнего отдыха россиян, поток отдыхающих туда не ослабевает, несмотря на повышение транспортных тарифов и сокращение финансирования санаторно-курортного лечения граждан из средств фондов соцстраха.

Как полагает социолог ФОМ Е. Вовк, «в массовом сознании бытует представление, что выезд за рубеж – это возможность «посмотреть мир», а загорать-купаться-лечиться можно и на российских курортах, при этом не испытывая психологического дискомфорта, сопутствующего, по мнению многих респондентов, пребыванию за границей. Судя по полученным данным, некоторые россияне полагают, что условия для экскурсионных и познавательных поездок в нашей стране хуже, чем за рубежом» [3].

Индивидуальная стратегия современного туриста соизмерима с общей жизненной траекторией, с одной стороны, тщательно планируемой, а с другой, - сложно предсказуемой: «Теперь мы переходим из эры заранее заданных «референтных групп» в эпоху «универсального сравнения», в которой цель усилий человека по строительству своей жизни безнадежно неопределенна, не задана заранее и может подвергнуться многочисленным и глубоким изменениям прежде, чем эти усилия достигнут своего подлинного завершения: то есть завершения жизни человека» [10, с.13]. Сегодня в полной мере можно согласиться с мнением американского социолога Д. Маккеннелла, высказанным в середине 1970-х годов о туризме как проявлении социального статуса, образа и стиля жизни человека [11]. Мы разделяем мнение В.И. Ильина о том, что «причина действий людей лежит в их потребностях и интересах», которые осознаются «в процессе прямого или косвенного взаимодействия с окружающими его людьми, современниками и даже предками. Продукты осознания наполняют составляемую им карту мира, с помощью которой он и прокладывает свой жизненный маршрут, стремясь к вещам «полезным», «приятным», «престижным»...» [12, с.196] В настоящее время отпуск, проведенный за границей, становится характерной чертой российского среднего класса.

Современным способом транслирования своих знаний и впечатлений о поездке широкой аудитории являются туристские Интернет-форумы. Виртуальные сообщества путешественников – это своеобразные виртуальные салоны, в которых формируются культурные

установки туристов. Основным стимулом к публичным высказываниям на Интернет-форумах, по мнению А.Б. Фенько, является «конструирование позитивной идентичности», поскольку рассказы туристов больше характеризуют самих авторов, нежели места их путешествий [13, с.128].

На одном из туристских Интернет-форумов развернулась дискуссия об имидже российских туристов на отдыхе за рубежом: участниками был отмечен низкий уровень культуры многих российских туристов [14].

Приведем несколько мнений с форума, датируемых весной 2007 г.

*«У каждого народа свои привычки, которые никто не хочет менять, особенно на отдыхе. У итальянцев есть привычка громко и эмоционально разговаривать за столом в общей столовой. Пьяные немцы намного хуже себя ведут, чем русские!.. В одном я уверена, мы более воспитаны и образованы, чем хваленые европейцы!» (И1)**

«Другое дело, когда человек в самолете или в автобусе буянит, несмотря на спящих детей и неоднократные просьбы вести себя тише... Образование - дело одно, воспитание - другое. Может, иностранцы с нас пример берут? И мы затеряемся среди общего бедлама?» (И2).

«Сложилось впечатление, что русские люди очень недружелюбны... очень раздражают приставания на улицах, но просто улыбнуться и сказать "нет" абсолютно нетрудно... Надо все-таки учиться потихоньку элементарной вежливости» (И3).

«Не знаю, можно ли считать приличным поведение российских туристов в бассейне, где плавают дети? Или может это такая привычка у народа... И, к сожалению, не знают богатенькие россияне, что образование у них в стране лучше, чем в Европе, а то не отправляли бы туда своих детей учиться» (И4).

«Хуже чем финские туристы нет на всем белом свете, сталкивалась в Эстонии и Египте» (И5).

Обсуждение на форуме складывается в рамках двух тем: 1) определяющее значение образования, воспитания, уровня индивидуальной культуры в коллективном поведении российских туристов на отдыхе за рубежом; 2) сравнение поведения российских туристов с поведением туристов из Италии, Германии, Финляндии и др.

В Швейцарских Альпах призывают туристов не рвать цветы с учетом национальных стереотипов. Надпись на французском языке в переводе на русский звучит так: «Наслаждайтесь цветами, но не обрывайте их!», на английском: «Пожалуйста, не рвите цветы!», на немецком: «Цветы не рвать!» [15, с.69].

Руководитель одного из саратовских турагентств поделилась своими наблюдениями относительно характерного рода занятия многих россиян на альпийском курорте, завершив свой рассказ словами: «Зачем было ехать так далеко лишь для того, чтобы не успевать прорезветь?»

Турист из Саратова поделился своими летними впечатлениями об отдыхе в Турции: в ресторане он оказался по соседству с туристами из Германии, которые, поняв, что сидят за одним столиком с человеком из России, пересели за другой.

Осознанная и бессознательная презентация собственного имиджа туристом вне дома и офиса, вдали от привычной повседневной обстановки находится в рамках дискурса о праве человека «оставаться отличным от других и по собственному желанию выбирать модели счастья и соответствующего образа жизни» [11, с.37].

А.Б. Фенько в 2003-2004 гг. было проведено комплексное исследование, основанное на анализе содержания рассказов туристов, представленных на Интернет-форумах «Айда.ру», «www.otzyv.ru», «Сто дорог», что позволило выявить актуальные темы для обсужде-

* Здесь и далее буквенно-цифровое обозначение отсылает к порядковому номеру туриста, поделившегося своим мнением на Интернет-форуме.

ния: 1) отношение к россиянам за границей; 2) демонстрация туристами социального статуса; 3) влияние местных обычаев на поведение туристов; 4) «правильный» отдых и эталонные впечатления [14, с.130]. Многие туристы – участники Интернет-форумов осуждают безрасчётное поведение своих соотечественников за границей и стараются внушить окружающим необходимость соблюдения поведенческих норм. Вместе с тем участники Интернет-форумов защищают российских туристов не в частных конкретных случаях, а как сообщество, тем самым укрепляя позитивную групповую идентичность.







В 2007 г. британские агентства по бронированию номеров через Интернет провели опрос, в котором участвовали 15 тысяч управляющих гостиницами в странах ЕС. Как было выяснено, российские туристы не фигурируют в «чёрном списке» европейских менеджеров. Постепенно в Европе изживается стереотип непредсказуемости и «дикости» российских туристов. Наиболее воспитанными были названы туристы из Японии и Швейцарии [16].

Ю.Н. Голубчиков полагает, что «однажды сложившуюся отрицательную репутацию преодолеть трудно. Раз уж мы попали в число стран, неблагоприятных для туризма, то надо из этого делать выводы и искать свои выгоды» [17, с.503]. География туристских потоков свидетельствует, что люди в большинстве своем путешествуют внутри своего историко-географического поля. Следовательно, вариантом решения привлечения иностранных туристов в страну является переориентация туристских потоков бывшего постсоветского пространства на внутренний российский рынок туризма, а вместе с ними и потоков финансовых.

Примечательно, что, по данным опроса ФОМ, 31% респондентов разделяют мнение о необязательности знания иностранного языка для поездок за границу, однако 59% считают, что хотя бы один иностранный язык знать необходимо. Суждения по этому вопросу сильно различаются в зависимости от уровня дохода респондентов: наименее обеспеченные участники опроса чаще говорят о необходимости знания иностранного языка для поездок за границу, люди с относительно высокими доходами высказываются о необязательном знании иностранного языка [5]. Представляется крайне актуальной тема о том, что «наш человек за рубежом как «посол страны», как носитель образа (имиджа) России» [18, с.54]. Поэтому имиджевое продвижение России на мировом туристском рынке начинается с восприятия туристов-россиян за рубежом на отдыхе и в деловых поездках как сотрудниками сферы туризма и гостеприимства, так и туристами из других стран и местными жителями туристских дестинаций.

Фактор мотивации является определяющим в выборе вида туризма, и современный турист относится к этому внимательно и вдумчиво. На Интернет-форуме был предложен вопрос: какой отдых для вас предпочтителен?

В опросе приняли участие 2173 человека, респонденты могли выбрать несколько вариантов ответов, голоса распределились следующим образом [19]:

– комбинированный	175		31,7%
– пляжный	141		25,54%
– активный, экстремальный	69		12,5%
– экскурсионный	65		11,78%
– оздоровительный	57		10,33%
– лечебный	45		8,15%

Среди прочих со значительным преимуществом преобладают комбинированный и пляжный виды туризма, причем обоснование выбора сопровождается вескими аргументами респондентов.

«Все-таки из отпуска нужно привозить свежие впечатления. Комбинированный отдых для этого самый подходящий. Понезжиться на пляже, конечно, неплохо, но впечатлений такой отдых не оставит. Лучшие, когда всего в меру» (И3).

«А представьте людей в корпоративном офисе, они в поту носят как ненормальные. Вот потом и валяются на пляже высунув язык» (И6).







А.П. Осауленко была предложена типология ценностных ориентаций современных российских туристов [20, с.12]:

- самая многочисленная группа видит в туризме возможность увидеть мир, расширить свой кругозор, романтического отдыха, ухода от действительности;
- несколько меньше численность тех, кого больше привлекают путешествия со «своей» компанией, «дикий» отдых или организованные путешествия по России;
- третью группу составляют люди, ориентированные на восстановление здоровья, главным образом на российских курортах;
- четвертая, самая малочисленная группа включает любителей экстремального спорта и религиозных паломников.

Следовательно, мотивированное решение совершить туристическую поездку исходит из стремления самореализоваться в путешествии и комфортно отдохнуть.

Современный туризм предполагает посредничество турфирм для организации туристской поездки с изменением статуса человека, преобразующегося в туриста. Следующий вопрос на форуме звучал так: что мешает вам путешествовать без помощи турфирм?

В опросе приняли участие 2204 человека, респонденты могли выбрать несколько вариантов ответов, голоса распределились следующим образом [19]:

– проблемы с оформлением документов	407		32,46%
– абсолютно ничего не мешает	322		25,68%
– нет опыта путешествий без турфирм	233		18,58%
– незнание иностранного языка	205		16,35%
– недостаток комфорта и сервиса	59		4,70%
– недостаточно информации о стране	28		2,23%

«Неорганизованный туризм – самостоятельные (самодельные) путешествия туристов, как правило, организуются без помощи турфирм. В этом случае оплата туруслуг осуществляется туристами по мере необходимости в их получении» (И6).

«На мой взгляд, лучше всего путешествовать без помощи турфирм, конечно придется потратить определенное время на оформление документов, но потом вы сможете отдыхать так, как захотите, а не по программе» (И7).

«Я как-то пробовала, получается очень дорого, переплата в 2-3 раза. Никто не мешает взять тур, выбрать то, что подходит, слава богу, предложений море. А что касается собственной программы, так здесь вам никто помешать не может» (И3).

«Ну, смотря чего вы хотите - сейчас Интернет дает возможность самому все спланировать и забронировать и, при этом, немного сэкономить, да и свобода ж полнейшая - всегда все можешь сам переиграть» (И8).

Следовательно, туристов больше всего настораживают проблемы с оформлением виз, проездных документов, страховок. Турфирма рассматривается большинством не столько в качестве посредника, сколько помощником и гарантом в обеспечении комфорта, спокойствия, экономии средств. В то же время значительное число участников опроса признались в наличии языкового барьера. Многие высказались за возможность самостоятельного планирования и организации своего путешествия, будучи уверенными в своих возможностях и информированности.

Подводя итог, следует отметить, что современные туристские практики россиян характеризуются широким разнообразием мотиваций, предпочтений, ценностей туристского потребления, они имеют высокую степень дифференциации. Как свидетельствуют социологические опросы последних лет, туризм стал распространенной практикой российского среднего класса, проведенный за границей отпуск становится его характерной чертой. Важным сдерживающим фактором для поездки за границу является стоимость тура, т. е. экономическая составляющая, в меньшей степени - геополитическая ситуация, вероятность террористических актов, антропогенных и природных катастроф в принимающей туристской де-

стизации. Индивидуальная стратегия современных туристов соизмерима с общей жизненной траекторией, с одной стороны, тщательно планируемой, а с другой, - сложно предсказуемой. Туризм является проявлением социального статуса, образа и стиля жизни современного человека. На наш взгляд, конкурентные преимущества внутреннего российского туризма состоят не в качестве сервиса и новейшей инфраструктуре (аквапарки, развлекательные центры, горнолыжные комплексы и курорты), а в традиционном разнообразии природных и культурных достопримечательностей, профессиональном транслировании знаний о них посредством инновационных технологий как для потенциальных российских туристов, так и иностранных. Важным компонентом имиджевого продвижения России на мировом туристском рынке является восприятие туристов-россиян за рубежом на отдыхе и в деловых поездках сотрудниками сферы туризма и гостеприимства, туристами из других стран, местными жителями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинов В.А. Доходное место российского гражданина / В.А. Литвинов // Человек. 2007. № 2. С. 45-49.
2. Яковлева Е. Лето для домоседа / Е. Яковлева // Российская газета. 17.07.2007; Нет денег, чтобы отдохнуть: данные ВЦИОМ // Комсомольская правда. 18.16.2007.
3. Где и как хотели бы отдыхать россияне? Опрос ФОМ. 23.06.2005. http://bd.fom.ru/map/projects/dominant/dom0525/domt0525_4
4. Шмерлина И. Отъезд за границу сегодня: трудности интерпретации / И. Шмерлина // Социальная реальность. 2008. № 4. С. 5-18.
5. Опросы Комкон. <http://www.comcon-2.com/default.asp?artID=1405>
6. Опросы ИС РАН. Городской средний класс в современной России. Имущественные характеристики и стандарты потребления. http://www.isras.ru/analytical_report/MiddleClass_6.html
7. «Портрет» российского туриста по данным социологического опроса // Туризм. 2006. № 5. С. 40-41.
8. Шумакова Е. Поездки за границу / Е. Шумакова // Опросы ФОМ. www.fom.ru
9. Голубчиков Ю. Туристское измерение России / Ю. Голубчиков, Ю. Супруненко // Туризм. 2007. № 8. С. 24-25.
10. Бауман З. Текучая современность / З. Бауман; пер. с англ. под ред. Ю.В. Асочакова. СПб.: Питер, 2008. 240 с.
11. MacCanell D. The Tourist: A New Theory of the Leisure Class / D. MacCanell. Berkley: University of California Press, 1976.
12. Ильин В.И. Потребление как дискурс / В.И. Ильин. СПб.: Интерсоцис, 2008. 446 с.
13. Фенько А.Б. Туризм как показатель социального статуса / А.Б. Фенько // Социс. 2007. № 2. С. 125-131.
14. Интернет-форум туристов. http://www.votpusk.ru/forum/forum_posts.asp?TID=2403&PN=1
15. Викентьев И.Л. Приемы рекламы и public relations. Программы-консультанты / И.Л. Викентьев. СПб.: Издат. дом «Бизнес-пресса», 2007. 406 с.
16. Русских за границей уже не считают дикими // РИА Новости. 24.05.2007.
17. Голубчиков Ю.Н. Режиссура имиджа России как фактор развития национального туризма / Ю.Н. Голубчиков // Человеческая жизнь: ценности повседневности в социокультурных программах и практиках: материалы X науч.-практ. конф. Гуманитарного университета: в 2 т. Екатеринбург, 2007. Т. 2. С. 503-506.

18. Тер-Минасова С.Г. Языковые проблемы международного туризма / С.Г. Тер-Минасова // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: труды Междунар. науч.-практ. конф. М.: МГУ, 2006. С. 48-54.

19. Интернет-форум туристов. <http://happyrobinzon.forum24.ru>

20. Осауленко А.П. Туризм: социально-институциональные основы развития / А.П. Осауленко. Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 2002. 160 с.

Лысикова Ольга Валерьевна –
кандидат исторических наук, доцент,
заведующая кафедрой
«Менеджмент туристического бизнеса»
Саратовского государственного
технического университета

Lysikova Olga Valeryevna –
Candidate of Historical Sciences,
Assistant Professor, Head of the Department
of «Management of Tourist Industry»
of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 22.12.08, принята к опубликованию 11.03.09

УДК 316.42: 504.03

Д.В. Орлов

КОММУНИКАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РОЛЕВОЙ СУБКУЛЬТУРЫ

Неформальные молодежные объединения на данный момент представляют собой особую форму объективной социальной реальности. Ролевое движение является малоизученным многомерным феноменом, обладающим уникальной спецификой коммуникативных практик и социальной компетентностью.

Коммуникация, практики, субкультура, социальная компетентность.

D.V. Orlov

COMMUNICATIVE FEATURES OF ROLE SUBCULTURE

The informal youth groups at the moment are a specific form of the objective social reality. Live role play gamers movement is insufficiently explored multidimensional phenomenon that has the unique specify of the communication habits and social competence.

Communication, practice, subculture, social competence.

Современное российское общество не является однородным, будучи объединением разнообразных групп и совокупностью социальных слоев. Связующим звеном между различными группами, составляющими единство, выступает коммуникация как обуславливающий фактор функционирования социальных сетей, исторически заложенный в основу любых частных или общественных процессов. Многомерность общества напрямую сопоставима с усложнением коммуникативных процессов многообразием каналов коммуникации и спосо-

бами самовыражения, предоставленными в распоряжение человеку технологическим прогрессом в области информационных технологий. Наиболее чувствительной к изменениям в социальной реальности всегда оказывается молодежь, как одна из наименее защищенных в социальном плане и наиболее мобильная возрастная группа населения. Молодежные субкультуры, неформальные движения и организации являются самобытными моделями общества, которые обладают потенциалом к развитию. В данной статье приводится анализ особенностей коммуникативных практик ролевой субкультуры. Материалами для анализа послужили текстовые ресурсы субкультуры ролевиков, находящиеся в открытом доступе в сети Интернет, полевые наблюдения и интервью с участниками субкультуры.

Для описания отдельных малых групп, объединенных не ситуацией, а некой общей идеологией, в социологии традиционно используется понятие «субкультура». К отличительным признакам субкультур относят принятые в группе ценностные ориентации, предпочтительные незанятые официальной культурой каналы коммуникации, использование «своих» источников информации, жаргон, фольклор. Таким образом, в качестве общего признака субкультуры подразумевают использование специфического, отличающегося не востребованностью доминирующей культурой способа передачи, хранения, маркированности и кодирования информации. Эти же особенности и позволяют различать субкультуры между собой. Восприятие ролевого движения только как субкультуры, как фрагмента совокупной культуры общества не является достаточным для анализа ее внутреннего устройства. В контексте коммуникативных процессов более применимым является представление о культуре организации, подразумевающей паттерн коллективных базовых представлений, обретаемых группой при разрешении проблем адаптации к изменениям внешней среды и внутренней интеграции. Критерием ценности такого паттерна является эффективность, при условии которой паттерн транслируется посредством коммуникационных практик новым членам группы в качестве правильной системы восприятия и образа действий [1, с.32]. Следуя общей логике, мы можем утверждать, что ядром ролевой субкультуры является динамическая совокупность образов-описаний наиболее значимых символов и ситуаций, создающаяся и видоизменяющаяся в процессе коммуникации.

Традиционное рассмотрение молодежных субкультур ведется чаще всего с точки зрения их проблемности, аномии, деликвентности и противостояния официальной, то есть доминирующей культуре. За молодежными субкультурами закрепляется статус экстерналиных (от лат. *externus* – чужой) в зависимости от того, насколько их ценности противоречат «культурным». Можно утверждать, что ролевое движение экстерналино по отношению к доминирующей культуре, являясь неформальным молодежным объединением со сформированной локальной коммуникативной системой взаимодействий. Но также ролевое движение экстерналино по отношению к другим неформальным молодежным субкультурам, по признаку своей социально-педагогической специфики [2]. В качестве примера высокого уровня социальной компетентности, не имеющей аналогов среди неформальных объединений, можно привести высокий уровень рефлексии ролевиков, толерантность как к «своим», так и «чужим», а в качестве примеров высокоорганизованных практик можно привести как локальные, так и всероссийские ролевые игры; фестивали – конвенты с неограниченным количеством участников.

Для описания совокупности общественных связей социологи используют представления о вертикальных и горизонтальных сетях взаимодействия. Неформальные молодежные объединения представляют собой горизонтальные сети взаимодействия. Отсутствие значимых различий по возрасту и социальному статусу определяет иерархию, основанную не на формальном статусе подчинения силе или власти. Тем не менее, за счет своей социальной компетентности ролевое движение способно произвольно выстраивать вертикальные сети взаимодействия и относительного соподчинения. Мотивация такого взаимодействия – достижение общих целей, имеющих высокую нематериальную ценность. Личный авторитет

организаторов и добровольность участия способствуют развитию взаимного уважения и равенства в рамках одной субкультуры, представляющей одновременно и референтную группу.

Стоит также отметить фактическую взаимопомощь, существующую в ролевом движении, в рамках которой деньги рассматриваются с позиции несомненного блага и объединяющего действия пожертвования: «Мы не застрахованы от несчастных случайностей, от травм и ранений. И потому мы помогаем друг другу в случае крайней беды» [3]. На практике этот принцип реализуется для ролевиков, попавших в больницу из-за травм, полученных на игре, фестивале или турнире. Известны примеры, когда собранная сумма позволяла оказать пострадавшему существенную помощь в восстановлении здоровья.

В качестве терминологических альтернатив для обозначения и способов рассмотрения субкультур с точки зрения видов коммуникативной социальной реальности каждое из определений предполагает акцент на одной из сторон изучаемого явления, например:

1) ролевое сообщество как общественное движение можно воспринимать с точки зрения социальной активности, то есть интерпретировать коммуникативные практики ролевиков по отношению к массовой культуре или другим субкультурам;

2) с точки зрения локальных сетей анализ особенностей коммуникации позволяет выявить внутреннюю структуру сообществ и типы межличностных связей ролевого сообщества;

3) концепция жизненных стилей предоставляет возможность исследователю на основе позиционируемого субкультурой образа составить представление о том образе поведения и образе жизни, который соответствует и не противоречит принятому в ролевом движении. На материале интервью и фольклорных примерах возможно выявить пределы допустимого и недопустимого поведения, иллюстрирующего идеологические принципы, символическую структуру и атрибутику.

Ролевая субкультура является целевой группой, берущей на себя некоторые социальные функции помимо обеспечения участника дополнительной рефлексивной поддержкой. Осуществляемая ролевиками сложная деятельность подразумевает и обуславливает систему социальной коммуникации, ее элементом является память, носителем которой является группа. Такая мнестическая нагрузка, фиксируя элементы опыта и интерпретаций, является консолидирующим фактором, обеспечивающим устойчивость содержания и формы практик. Собственно групповая память субкультуры и становится противостоящей доминантной культуре общества памятью, которая складывалась вне конкретного индивида.

Групповая память ролевого движения как целевой социальной группы в рамках своей структуры включает непосредственные и опосредованные коммуникативные практики. Непосредственная коммуникация обладает диалогической природой, спонтанностью проявлений, направлена, прежде всего, на передачу информации, а не на ее фиксацию. В качестве примеров можно привести:

1) специальный язык, терминология и символизм которого непонятны «непосвященным»;

2) массив недокументированных знаний, передаваемых непосредственно друг другу участниками субкультуры, например определенные нормы, поддерживающие обособленность группы, включающие свои «можно» и «нельзя», традиции поведения внутри группы и вне ее.

Проявления групповой памяти группы в рамках опосредованной коммуникации – это зафиксированное овеществленное понимание. Возможность фиксации паттернов поведения и символической структуры придает стабильность, необходимую для эмпирического исследования текстов субкультуры, а открытость коммуникативных практик ролевой коммуникации позволяет определить ее тексты как полилоговую коммуникацию [4]. К ней относятся:

1) технологические умения, связанные с выполнением специфических функций. Участие в ролевом движении стимулирует на приобретение дополнительных навыков, обуслов-

ленных расширением спектра общения и деятельности, в том числе: пошив одежды, изготовление соответствующего игре «антуража», Интернет-общение;

2) документальные фонды специальных произведений письменности как собрание текстовых Интернет-ресурсов, представляющие собой доступный источник групповой рефлексии;

3) материальные изделия, собственно продукты деятельности, актуальность которых зависит от степени соответствия требованиям той или иной игры. Например, сшитый в соответствии с требованиями одной из игр костюм или элементы экипировки могут не подойти ни к одной из будущих ролей, но, тем не менее, обладать эмоциональной ценностью и храниться вне практического применения.

Субкультура ролевиков является благодатной почвой для исследования символической структуры, поскольку она изначально проникнута художественным текстом. Ролевые игры происходят по мотивам книг в стиле фэнтези; сущность игр, задавая правила, ориентирует игрока в пространстве игры. Сами же правила носят текстовый характер, обязательный для ознакомления; после игр создаются рассказы – отчеты игрока об игре, анекдоты, байки и так далее. Ролевики активно освоили Интернет, фиксируя и размещая в открытом доступе тексты своих фольклорных произведений. Рассматривая фольклорную активность с точки зрения вида коммуникации, мы имеем дело с полилоговой коммуникацией (в противовес диалоговой), поскольку этот вид коммуникации обращен не только к «своим», но и любому другому пользователю сети.

Специфика Интернет сама по себе определяет и обуславливает изучаемый нами феномен. То есть, для того чтобы анализировать фольклорные тексты субкультуры ролевиков, нам необходимо принимать во внимание природу Интернет-пространства, а не только его содержимое. Свободное информационное пространство со свободным доступом на данный момент является важной частью современной культуры, из технического придатка превратившись в альтернативную реальность. Несмотря на то, что феномены, обусловленные виртуальной реальностью, обладают концептуально иными качествами и возможностями, нежели традиционные, мы можем наблюдать их проективную взаимосвязь с процессами, происходящими в государстве, обществе, культуре. Таким образом, предметом рассмотрения становится трансформированный фольклор (постфольклор) в трансформированном информационном пространстве.

Интернет уже давно освоен ролевыми, являясь одним из наиболее доступных и популярных способов передачи информации. Т.Б. Щепанская выделяет два основных способа обособления информации, характерных для субкультур: использование незанятых официальной культурой каналов коммуникации и специальная маркировка [5]. Рунет, на данный момент, удовлетворяет потребности в нахождении пространства, свободного от чужих правил и стандартов, для установления в ней собственных, находя в Интернет средство к установлению собственных норм, в условиях управляемого и систематизированного коммуникативного средства.

Обобщив представления о различных формах фольклора, мы можем сформулировать представление о современной модификации фольклора как неустойчивом, не обладающем жанровой четкостью, фиксированном в виде текста, создателями которого может являться небольшая узкоспециализированная социальная группа. В свете вышеперечисленных характеристик, изучение постфольклора субкультуры ролевиков в сети Интернет учитывает весь спектр аспектов изучаемого явления. Такое определение специфики «антифольклора» или городского фольклора аналогично определению термина «постфольклор», которое ввел в оборот С. Неклюдов, характеризуя его как область словесности, тексты которой развиваются по фольклорным схемам, но не подходят под формальное определение фольклора.

Обобщая вышесказанное, необходимо сказать, что ролевая субкультура является неформальным молодежным объединением, обладающим высоким потенциалом. Социальная

интегрированность мировоззрения и навыки коммуникативных практик обеспечивают высокую изменчивость формы и стабильность сущностных характеристик ролевой субкультуры. Направленность ролевиков на социально организованное действие и стимулирование к развитию дополнительных навыков позволяет этой целевой группе признаки неформального молодежного объединения обладать чертами организационной культуры, уникальными в своем роде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейн Э.Х. Организационная культура и лидерство / Э.Х. Шейн; пер. с англ. под ред. В.А. Спивака. СПб.: Питер, 2002. 212 с.
2. Куприянов Б. Очерки общественной педагогики: ролевое движение в России / Б. Куприянов, А. Подобин. <http://www.altruism.ru/sengine.cgi/5/31/2/4>
3. Вечерний ролевик // Поможем Хабибу. <http://vechrol.kender.ru>
4. Виртуальный мир Инфосферы: практическое использование человеком / под ред. В.В. Горчакова. Владивосток: ВФ РТА, 1998. 208 с.
5. Щепанская Т.Б. Символика молодежной субкультуры: опыт этнографического исследования системы: 1986-1989 гг. / Т.Б. Щепанская. СПб.: Наука, 1993. 180 с.
6. Лукман Н. Власть / Н. Лукман; пер. с нем. А. Антоновского. М.: Праксис, 2001. 256 с.
7. Неклюдов С.Ю. После фольклора / С.Ю. Неклюдов // Живая старина. 1995. № 1. С. 2-4.

Орлов Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета

Orlov Dmitry Vladimirovich – Post-graduate student of the Department of «Social Anthropology and Social Work» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 26.11.08, принята к опубликованию 25.02.09

УДК 316.334.23

А.В. Ручин

СОЦИАЛЬНЫЙ АСПЕКТ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РОССИЙСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

Рассматривается социальный аспект проекта развития отечественного предпринимательства и определяются уровни понимания его сущности. На основе данных проведенного эмпирического исследования, сфокусированного на особенностях реального взаимодействия государственных служащих и предпринимателей, оценивается эффективность механизма государственной политики развития предпринимательства.

Предпринимательство, взаимодействие «бизнес-власть», государственная политика, управление развитием, социальный проект.

A.V. Ruchin

SOCIAL ASPECT OF MANAGEMENT OF RUSSIAN ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT

This article considers social aspect of the project of development of Russian entrepreneurship and defines levels of understanding of its essence. Efficiency of the mechanism of a state policy of development of business is estimated on the basis of the data of empirical research focused on features of real interaction between civil servants and entrepreneurs.

Entrepreneurship, interaction «business-state authorities», a state policy, development management, the social project.

В период трансформации современной России особенно актуально поддержание благоприятного социального климата – фундамента экономического роста – как во всей стране, так и в отдельных хозяйствующих субъектах. Благоприятный климат – это прежде всего гармоничные отношения между различными социальными группами российского общества. Современная российская внутренняя политика направлена на делегирование функций основного актора социально-экономического развития отечественному бизнесу. Фактически, реализуется проект развития отечественного предпринимательства, направленный на укрепление позиций совершенно новой социальной группы. Федеральные власти оставляют за собой функции создания максимально благоприятных условий для развития предпринимательства и определяют первостепенную задачу – создание экономико-правовых условий, способствующих органическому сочетанию интересов предпринимателей и общества в целом [1, с.37]. В то же время, региональные власти становятся непосредственными исполнителями этого проекта. Цель данной работы – определение основополагающего подхода к эффективному управлению проектом развития отечественного предпринимательства с опорой на исторически сложившееся понимание сущности предпринимательства и существующие стереотипы восприятия предпринимательской деятельности.

В истории исследований предпринимательства существуют достаточно разнообразные определения предпринимательства. Для достижения поставленной в статье цели предлагается, учитывая различные характеристики предпринимательства, установить группы признаков, присущих данному феномену. Появившись в качестве научного термина в начале XVIII века в работах Р. Кантильона, понятие «предприниматель» было связано с действиями в условиях неопределенности, что определило риск как неотъемлемую составляющую предпринимательской деятельности [цит. по 2, с.24]. Определяя предпринимателя как капиталиста-инвестора, присваивающего прибавочную стоимость, К. Маркс исключил предпринимательские способности из состава факторов производства. В работах Маркса мы видим оценку капитализма как источника конфликта: получивший наибольшее развитие в XIX веке раскол общества на два больших класса с противоположными интересами привел к упрощению механизмов развития конфликта и, как следствие, росту противоречий между буржуазией и пролетариатом [3, с.7].

Между тем предпринимательство не тождественно понятию «капитализм», а более того – может быть противопоставлено ему. По М. Веберу, стремление к предпринимательству, «стремление к наживе», к наибольшей денежной выгоде свойственно «all sorts and conditions of men», то есть людям всех типов и сословий всех эпох и стран мира, повсюду, где для этого существовала или существует какая-либо объективная возможность материальной выгоды. И это обстоятельство само по себе ничего общего не имеет с капитализмом.

Основой капитализма является экономический рационализм, который, прежде всего, зависит от предрасположенности людей к определенным видам практически-рационального жизненного поведения [4, с.47]. В. Зомбарт базисом предпринимательской деятельности считал предпринимательский дух – дух хозяйственной жизни, который может быть глубоко различным. Кроме того, усилия, необходимые для совершения эффективных хозяйственных действий, душевные качества предпринимателей так же отличаются в отдельных случаях, как и руководящие идеи и принципы, которыми определяется хозяйственная деятельность [5, с.7].

Одной из главных черт предпринимательства является новаторство. Так, в понимании Й. Шумпетера, «предприниматель – это человек инициативы, внедряющий в производство новые комбинации» [цит. по 6, с.31]. Именно поэтому предпринимательская деятельность является двигателем не только экономического, но и социального развития общества. Прибыль максимизируется за счет производства чего-то нового или нахождения новых способов производства уже существующего. Именно поэтому в настоящее время различают предпринимателей-антрепренеров, определяемых как владельцы-менеджеры в сфере малого бизнеса, и интрапренеров – менеджеров-новаторов в более крупных организациях, которые, согласно данному подходу, также являются предпринимателями тогда, когда принимают творческие и новаторские решения [7].

По мнению П. Друкера, феномен предпринимательской деятельности заключается в использовании в деловой практике наблюдений, полученных на основе глубокой включенности предпринимателя в социально-экономическую ситуацию. В таком понимании предприниматели образно представлены «охотниками за изменениями социальной среды», которые систематически «отыскивают их, реагируют на них и используют как источники для достижения успеха» [8, с.30]. В процессе достижения этой цели предприниматель выступает исследователем, анализируя реальные возможности потенциального клиента, а также потребность в предоставляемой услуге, ее полезность и возможную ценность с точки зрения потребителя. Исследователи определяют предпринимателя как «важную фигуру современного общества, самостоятельно, от своего имени и на свой риск, инициативно организующего и осуществляющего хозяйственную деятельность, направленную на получение прибыли и личного дохода, и способного в конкурентной борьбе эффективно использовать знания о конъюнктуре рынка, новациях в производстве для получения конкурентных преимуществ в целях получения дополнительного дохода» [9, с.126].

В качестве основополагающего признака предпринимательской деятельности выделяется направленность на получение экономического результата. Предприниматель формирует и фиксирует процесс перехода целенаправленности в целеполагание, что предусматривает развертывание перспективы творчества и свободы для субъекта предпринимательской деятельности [10, с.45]. Помимо стремления к максимизации прибыли, предпринимательству присущи такие признаки, как инновационность, самостоятельность, указывающая на волевой источник предпринимательства, а также наличие риска – неотъемлемого компонента предпринимательской деятельности, осуществляемой в условиях неопределенности, когда неизвестен конечный результат и существует вероятность потерь вложенных инвестиций.

По нашему мнению, для достижения цели настоящей работы необходимо выделить несколько уровней понимания сущности предпринимательства. Первый уровень включает в себе широкий смысл понимания предпринимательства: это свойство личности, характеризующее наличие активной позиции по оптимизации деятельности, направленной на достижение поставленных целей. Следующий уровень понимания сущности предпринимательства имеет своим объектом активную инвестиционную деятельность по вложению разнообразных ресурсов, включая и предпринимательские способности. В этом смысле под предпринимательством понимается бизнес-деятельность с целью максимизации прибыли. Третий уровень, узкий смысл понятия «предпринимательство», соответствует сравнительно небольшому масштабу ведения бизнеса. В настоящее время особую роль в распространении понимания

предпринимательства, именно в узком смысле, играет наличие в структуре российского законодательства организационно-правовой формы «предприниматель без образования юридического лица (ПБОЮЛ)» или «индивидуальный предприниматель», как правило, соответствующей небольшим объемам хозяйственной деятельности и упрощенной форме взаимодействия с государством.

Проект развития отечественного предпринимательства с учетом логики шагов, осуществляемых федеральными органами власти, направлен на формирование слоя предпринимателей, ориентированных на соблюдение интересов общества. Кроме того, проект направлен на создание устойчивых связей между элементами общества, распределение сфер полномочий между различными звеньями управленческой деятельности. В конечном итоге, проект подразумевает развитие социальной ответственности бизнеса, заключенной в осознании необходимости использовать в рамках хозяйственной деятельности социально направленный менеджмент. Управление проектом развития предпринимательства включает создание результативной системы взаимодействия всех участников хозяйственной жизни: бизнес – власть, собственники – менеджмент, менеджмент – сотрудники, сотрудники – клиенты. Учет социального аспекта взаимодействия государства, общества и бизнеса является ведущим фактором, определяющим темпы социально-экономического развития.

В современной России, как в государственном, так и частном секторе, все более утверждается мнение о необходимости социальной направленности управленческих решений при реализации властных полномочий. Складывающаяся тенденция определяет переход от либерально-рыночной экономики к социально ориентированному обществу [11, с.51]. Вместе с тем, в рамках стратегии развития российского общества вопрос социальной ориентации процессов, протекающих в частном секторе, остается актуальным. И хотя соблюдение интересов и рост благополучия всех участников выступает в качестве основополагающей цели проводимых реформ, практика социального взаимодействия в рамках предпринимательской деятельности показывает: социальные принципы ведения бизнеса не всегда воспринимаются предпринимателями как эффективные, более того, существуют мнения о социальных программах как бремени организаций, негативно влияющих на финансовую составляющую.

Основным ожидаемым итогом проекта является формирование организационной культуры, максимально направленной на рост благосостояния граждан. Наиболее просто, с точки зрения государственного управления, инициировать создание необходимых параметров взаимодействия во взаимоотношениях «бизнес – власть». Целью взаимодействия государства и бизнеса становится «создание условий для современного цивилизованного рыночно-ориентированного способа ведения хозяйственной деятельности и обеспечения стабильного экономического и социального развития общества, основанного на балансе частных и общественных интересов» [12, с.25]. Для достижения этой цели государственные органы, ответственные за развитие предпринимательства, в рамках политики федерального центра разрабатывают и внедряют инструменты взаимодействия с бизнес-сообществом. Анализ реализации проекта убедительно показывает, что эффективность лоббирования интересов напрямую зависит от масштабов предпринимательской деятельности. Работники федеральных органов власти более позитивно настроены по отношению к бизнесу и менее склонны списывать на него неэффективность сотрудничества [13, с.3]. Более сложен процесс формирования взаимоотношений «бизнес – власть» во взаимодействии с малым предпринимательством, вызванный и большим количеством звеньев в системе управления. Это определяет особую важность повышения качества взаимодействия госслужащих и представителей малого бизнеса.

В рамках изучения особенностей взаимодействия госслужащих и представителей малого бизнеса в феврале – марте 2008 года нами было проведено исследование – серия полуструктурированных интервью (N=14) с представителями налоговых инспекций, СЭС, правоохранительных органов, экологической службы и администраций городов Саратова и Энгельса (Саратовская обл.). С целью сопоставления данных была также организована серия

интервью с предпринимателями (февраль – март 2008, N=10). Одной из задач исследования являлось изучение отношения государственных служащих к предпринимательству. Так, понятие «предприниматель» в среде государственных служащих ассоциируется, в первую очередь, с организационно-правовой формой «индивидуальный предприниматель» и, несмотря на последующие поправки о существовании предпринимателей в разных сферах, о предпринимательстве как свойстве личности, предпринимателях – представителях, как крупного, так и малого бизнеса, все же в ходе бесед мнения и высказывания респондентов смещались в сторону рассуждения о практике взаимодействия с индивидуальными предпринимателями, как правило, сферы торговли и услуг. Таким образом, мы можем наблюдать господство понимания предпринимательства в узком смысле. Вместе с тем первоначальные ассоциации в среде государственных служащих, связанные с предпринимателями и предпринимательством, достаточно близко отражают статистическую информацию [14, с.15], в которой российский бизнес по количеству зарегистрированных единиц представлен в основном индивидуальными предпринимателями, действующими в сфере торговли и услуг.

Удовлетворение потребностей общества в виде предоставляемых товаров, услуг, работ – основной вклад предпринимательства в развитие общества, по мнению государственных служащих: сегодня именно на частном секторе лежит ответственность в производстве и распределении благ. Кроме того, немаловажным вкладом предпринимательства является улучшение облика городов за счет развития материальной базы, ремонта зданий и помещений, благоустройства близлежащих территорий, пополнения бюджетов поступлениями от предпринимателей в виде налогов, сборов и платежей. Примечательно, что в ответах чиновников лишь незначительное внимание уделено одной из важнейших для развития общества функций предпринимательства – обеспечению занятости населения: самозанятости самих предпринимателей и созданию новых рабочих мест на их фирмах. Предприниматели же в своих ответах обращали внимание именно на эту составляющую их деятельности. С точки зрения государственных служащих, преобладание в предпринимательстве торговли, на которую нельзя сделать ставку в модернизации экономики, оказывает существенное влияние на неблагоприятный имидж предпринимательства.

По мнению государственных служащих, успех в бизнесе определяется хорошим знанием законодательства, широкой финансовой базой и наличием семейного опыта ведения бизнеса. В качестве менее значимых факторов успешности называлось следующее: время и место начала предпринимательской деятельности («оказался в нужное время в нужном месте»), правильно выбранная ниша, хорошие взаимоотношения с властью, наличие «связей». Успехи в бизнесе, по мнению чиновников, и высокие доходы стоят преодоления трудностей современной бюрократической системы, которая не настолько сложна, чтобы вызвать значительные трудности. Необходимость взаимодействовать с государством возникает довольно редко по сравнению с текущей хозяйственной деятельностью предпринимателя, а правовая нагрузка на предпринимателей не столь высока. К тому же зачастую трудности возникают из-за неправомерности действий самих предпринимателей. Слабая осведомленность предпринимателей, а еще больше их работников в сфере законодательства приводит к снижению авторитетности конкретных предпринимателей в глазах чиновников. Сами же предприниматели, не принижая значения законодательства, отмечают, что в силу особенностей российских нормативных актов – трудночитаемости и быстрого изменения – зачастую текущие дела не оставляют времени на их освоение, а нанимать дополнительных специалистов не всегда позволяют небольшие бюджеты их фирм. Кроме того, по мнению предпринимателей, некоторые законодательные акты не служат интересам ни общества, ни предпринимателей и направлены лишь на ужесточение контроля, который используется для обогащения проверяющих лиц. В итоге многие нормы теряют свою легитимность у предпринимателей.

Существует ряд негативных черт, приписываемых предпринимателям, которые, по мнению чиновников, не свойственны менталитету работников государственной сферы. Так,

в качестве наиболее устойчивого образа предпринимателя сложился образ нетерпеливого человека, которому надо помочь сделать все сразу и при этом быстро. Чиновники, рисуя этот образ, признают правоту действий предпринимателей (благополучие которых напрямую зависит от их предприимчивости), но в то же время находят такое поведение чуждым устоям государственной службы, где в настоящее время отсутствует действенная система поощрения активности госслужащих. Другой негативной характеристикой предпринимателей является образ эгоистичного человека, готового шагать «по головам» ради поставленной цели. Очевидно, именно такие представления мешают чиновникам идти в ряде случаев на компромиссы в решении проблем предпринимателей. В результате возникает искусственное усложнение простых ситуаций. Помимо этого у чиновников психологически формируется защитная реакция, основанная на предыдущих негативных практиках общения, из-за которой уже трудно даже вежливо встречать клиента, следуя поставленным государством целям. Отмечается негативный факт – при взаимодействии с начинающими предпринимателями в случаях, когда предприниматель кажется госслужащему бесперспективным, наблюдается тенденция снижения и без того слабой мотивации чиновника к помощи такому предпринимателю. Бытует мнение, что в таком случае помощь предпринимателю не только не полезна, но даже опасна, а сложности только помогут охладить пыл человека, еще не готового к условиям рынка, и, возможно, оградят его от потерь.

У государственных служащих наблюдаются более пессимистические прогнозы развития предпринимательства, нежели в среде самих предпринимателей. Почти однозначное мнение чиновников о том, что количество предпринимателей не увеличится, основывается на предположении поглощения малого бизнеса крупными фирмами-монополистами, а также предпринимателями из других, более развитых (в экономическом плане) регионов. Более того, среди чиновников есть группа, которая считает, что мелкого предпринимателя мы вообще можем не увидеть. В среде предпринимателей угрозы со стороны крупного бизнеса воспринимаются в большей степени как движущий фактор: конкуренция заставляет постоянно совершенствоваться, что является неотъемлемой особенностью предпринимательства. Но в условиях, когда в рыночные отношения вмешивается государство, ресурсы малых предпринимателей уступают в борьбе по преодолению административных барьеров. Однако, по мнению чиновников, жесткий контроль бизнеса оправдан, так как выражает заботу о потребителях, об обществе и направлен в первую очередь на повышение качества производимых товаров, работ и услуг, защиту общества от недобросовестных предпринимателей. Поэтому проверки – неотъемлемая часть системы государственного управления предпринимательством, а для снятия существующего напряжения необходимо грамотное объяснение значимости проверок, адекватности законодательства и необходимости его соблюдения.

В качестве инструмента повышения эффективности взаимодействия бизнеса и власти становится актуальным развитие института объединений предпринимателей: союзов и ассоциаций предпринимателей, созданных для содействия в разрешении общих проблем. В условиях развития гражданского общества России объединение предпринимателей позволит упростить процедуры решения проблем, возникающих у предпринимателей. Основным стимулом для вхождения предпринимателя в общественные организации является отождествление им себя с группой остальных предпринимателей, объединенных с целью противодействия общему источнику препятствий, усложняющих ведение предпринимательской деятельности, дискриминирующих права предпринимателей, а также для оптимизации решения иных вопросов хозяйственной деятельности. Предполагается, что такой инструмент позволит стимулировать развитие институтов гражданского общества, добиваться интересов предпринимателей, совершенствовать программы государственной поддержки малого бизнеса. В Саратовской области существует около двух десятков таких организаций. Их основными функциями являются следующие: защита прав и интересов предпринимателей, представление интересов различных групп предпринимателей, консультации по вопросам предпринимательской деятельности, организа-

ция участия в выставках и ярмарках, маркетинговые исследования. Вместе с тем, несмотря на некоторые успехи деятельности данных организаций, можно констатировать факт, что этот механизм до настоящего момента не реализовал свой потенциал.

Исследование показало в целом сравнительно нейтральную оценку малого предпринимательства государственными служащими. По нашему мнению, такая позиция наиболее удобна для исполнения обязанностей в рамках конкретных должностных полномочий, но не обеспечивает полноценную передачу интересов, как бизнеса, так и государства. Тенденция отдаления государственных служащих от предпринимателей, вызванная во многом реализацией административной реформы, приводит к необходимости траты большего времени для установления контактов с властью и усложнению решения вопросов, которые невозможно реализовать без диалога бизнеса и власти. Нейтральное отношение государственных служащих к бизнесу и отсутствие действенной системы вознаграждения препятствуют ускорению темпов развития отечественного предпринимательства.

Данные проведенного исследования подтверждают: продвижению социального проекта предпринимательства, многократно декларируемого верхними эшелонами власти, препятствуют латентные силы, скрытые в двойственной природе управленческого аппарата и недостаточном развитии гражданского общества. В этой связи государственный менеджмент в рамках политики развития предпринимательства должен сместить акценты с декларативных установок, необходимых на предварительном этапе, на последовательную и системную реализацию изложенных задач и отслеживание конкретных результатов. Организационное управление социальным проектом предпринимательства подразумевает использование оптимального набора методов социального управления, системы практических шагов на различных уровнях власти, критериев их оценки, и в целом рассматривается нами как социальная технология.

Обозначенные уровни понимания сущности предпринимательской деятельности определяют этапы формирования предпринимателя в рамках проекта развития отечественного предпринимательства. Важным условием этого процесса выступает высокая степень взаимопонимания и конструктивного взаимодействия власти и бизнеса, базирующегося на сотрудничестве государства и гражданского общества. Основой управления социальным проектом предпринимательства является использование социальных технологий для оптимизации процессов, протекающих в рамках хозяйственной деятельности. Поэтому в качестве основополагающего принципа организационного управления проектом предпринимательства необходимо определить стимулирование осознания необходимости принятия социальных правил игры в рамках предпринимательской деятельности как максимально эффективных. Как показывает практика, социальная направленность действий гармонично встраивается в прагматичные интересы каждого члена взаимодействия в рамках предпринимательской деятельности.

Таким образом, социальный аспект рассмотрения проекта развития предпринимательства обнаруживает, что различные слои российского общества в целом совершенно по-разному оценивают явление предпринимательства. Фактически, в настоящее время у каждой группы свое видение проблемы развития и почти отсутствует понимание предпринимательства первого уровня. Налицо важная проблема, кроющаяся в старом подходе, – недооценка личных качеств предпринимателя как активного участника социально-экономических процессов. Причина такого подхода – в историческом прошлом нашего общества, когда активная жизненная позиция не просто критиковалась, а жестко подавлялась. Преодолеть сложившуюся ситуацию возможно лишь при всемерном и постоянном культивировании нового подхода, основанного на признании безусловно значимой роли активной жизненной позиции вообще и предпринимательской инициативы в частности. Учитывая масштабы проблемы, следует признать длительность процесса, который, без сомнения, будет связан с реорганизацией управления проектом развития предпринимательства. Такое управление должно предусматривать не только принятие новых законов, не только выработку новых инструкций для

чиновников среднего и низшего звена, не только оказание содействия бизнес-сообществу (и даже его самоорганизацию), но и преобразование российского общества в целом. Только в этом случае можно надеяться на социальную гармонию, а следовательно, на благоприятный социальный климат как во всей стране, так и в отдельных хозяйствующих субъектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голенкова З.Т. Российский предприниматель: некоторые аспекты современной жизни / З.Т. Голенкова, Е.Д. Игитханян // Социологические исследования. 2006. № 11. С. 29-37.
2. Акимов О.Ю. Малый и средний бизнес: эволюция понятий, рыночная среда, проблемы развития / О.Ю. Акимов. М.: Финансы и статистика, 2003. 192 с.
3. Маркс К. Манифест Коммунистической партии / К. Маркс, Ф. Энгельс. М.: Политиздат, 1989. 62 с.
4. Вебер М. Избранные произведения / М. Вебер; пер. с нем.; сост., общ. ред. и послесл. Ю.Н. Давыдова; предисл. П.П. Гайденко; коммент. А.Ф. Филиппова. М.: Прогресс, 1990. 804 с.
5. Зомбарт В. Буржуа: Этюды по истории духовного развития современного экономического человека / В. Зомбарт; пер. с нем.; издание подгот. Ю.Н. Давыдов, В.В. Сапов. М.: Наука, 1994. 442 с.
6. Нуреев Р.М. Шумпетерианский предприниматель в теории и на практике / Р.М. Нуреев // Экономический вестник Ростовского государственного университета. 2003. Т. 1. № 4. С. 31-47.
7. Аберкромби Н. Социологический словарь / Н. Аберкромби, С. Хилл, Б.С. Тернер; пер. с англ. И.Г. Ясавеева; под ред. С.А. Ерофеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экономика, 2004. 619 с.
8. Друкер П.Ф. Рынок: как выйти в лидеры: практика и принципы / П.Ф. Друкер. М.: Совместное предприятие «Бук Чембэр Интернэшнл», 1992. 349 с.
9. Иштугин Р.В. К вопросу о формировании системы мер государственного регулирования предпринимательской деятельности / Р.В. Иштугин // Предпринимательство и государство: сб. науч. тр. / М.: Рос. академия предпринимательства, 2005. 215 с.
10. Борисова Т.В. Философский анализ предпринимательской деятельности: Онтологический и социально-антропологический аспект / Т.В. Борисова; под ред. С.Ф. Мартыновича. Самара: Изд-во Самар. гос. пед. ун-а, 2003. 320 с.
11. Нечипоренко О.В. Цена реформ (опыт сравнительного анализа России и Казахстана) / О.В. Нечипоренко // Социологические исследования. 2007. № 9. С. 45-51.
12. Косопкин А.С. Анализ взаимодействия государства и бизнеса в социальной сфере / А.С. Косопкин // Социальная ответственность бизнеса. Корпоративная отчетность – основной фактор взаимодействия бизнеса и общества: сб. статей, лекций и выступлений / под общ. ред. Л.Г. Лаптева. М.: Деловой экспресс, 2004. 310 с.
13. Гражданские служащие и реформа государственного управления. Информационный бюллетень. М.: Фонд «Институт экономики города», 2007. 8 с.
14. Малое предпринимательство в России. 2008: статистический сборник / Росстат. М., 2008. 164 с.

Ручин Алексей Владимирович – аспирант кафедры «Социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета

Ruchin Aleksey Vladimirovich – Post-graduate student of the Department of «Social Anthropology and Social Work» of Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 28.01.09, принята к опубликованию 11.03.09

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Статья, представляемая в редакцию журнала «Вестник СГТУ», должна быть тщательно отредактирована и распечатана в одном экземпляре 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 диске 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),
- ключевые слова.

Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и список литературы, который повторяется на английском языке.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке.

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 рисунка.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул **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. Рукопись статьи рецензируется ведущим ученым в данной области, как правило, доктором наук.

10. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

11. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и диски авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

13. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую на отдельном бумажном носителе и в электронном виде.

14. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Регистрационная карта участника

<u>РЕГИСТРАЦИОННАЯ КАРТА АВТОРА, ПУБЛИКУЮЩЕГОСЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СГТУ»</u>		
Фамилия	Имя	Отчество
Полное название статьи		
Ученая степень	Ученое звание	Должность с указанием кафедры, отдела, лаборатории
Электронная почта	Служебный телефон/факс	Домашний адрес и телефон
Наименование направляющей статью организации		
Отрасль научной статьи		

РУБРИКИ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК СГТУ»

- Проблемы естественных наук
- Машиностроение
- Новые материалы и технологии
- Электроника, радиотехника и приборостроение
- Энергетика и электротехника
- Автоматизация и управление
- Информационные технологии
- Архитектура и строительство
- Экология
- Экономика
- Социальные проблемы современности
- Гуманитарные науки
- Юбилеи